

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

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

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

vorgelegt  
der medizinischen Fakultät  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Robert Köppke  
geboren am 03.03.1993 in Bad Oeynhausen

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

Gutachter:

Frau Prof. Dr. med. Sylva Bartel

Prof. Dr. med. Thomas Hummel

Dresden

11.03.2020

09.11.2020

# Referat

Die folgende Dissertation befasst sich mit der Untersuchung des Einflusses von Luftdruckveränderungen und Störgeräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung. Die Fragestellung, ob ein Einfluss aufgrund einer veränderten physischen Wahrnehmung entsteht oder eher auf psychologisch-kognitiven Faktoren basiert, steht hierbei im Fokus der Untersuchungen.

Zu diesem Zweck wurde eine randomisierte, prospektive Studie an 16 gesunden, männlichen Probanden in der Höhen-Klima-Simulations-Kammer des flugphysiologischen Trainingszentrums der Luftwaffe in Königsbrück durchgeführt. Die Messungen erfolgten bei Normaldruck, bei vermindertem Luftdruck sowie bei lauten Umgebungsgeräuschen und bei Stille. Es wurden verschiedene standardisierte und klinisch erprobte Riech- und Schmecktests durchgeführt und die in verschiedenen Testreihen jeweils erreichten Punktwerte mit Hilfe von mehrfaktoriellen Varianzanalysen verglichen.

Bei den Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass das Störgeräusch in der durchgeführten Studie keinen Einfluss auf die Riechfähigkeit hatte. Die Wahrnehmung von Geschmacksstoffen wurde dahingehend verändert, dass süße Stoffe in lauter Umgebung häufiger und saure Stoffe seltener erkannt wurden. Die Reduzierung des Luftdrucks bewirkte eine Erhöhung der Riechschwelle und eine Verminderung der Gesamtriechfähigkeit bei unverändertem Diskriminations- und Identifikationsvermögen. Auch die durchschnittliche Gesamtpunktzahl des Schmecktests wurde vermindert. Wechselwirkungen die durch gemeinsamen Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen entstehen könnten, wurden nicht nachgewiesen.

Anhand der Ergebnisse kann vermutet werden, dass Einflüsse von Störgeräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung, wie sie von anderen Autoren (Velasco et al. 2014; Burzynska et al. 2019) beschrieben wurden, auf psychologischen Faktoren und nicht auf einer veränderten physischen Wahrnehmung basieren.

Zudem konnte bestätigt werden, dass eine Verminderung des Luftdrucks die Geruchs- und Geschmacksempfindung reduziert. Dies ist u.a. für die Luftfahrtindustrie von großem Interesse, da veränderte Riech- und Schmeckschwellen den Geschmack von Mahlzeiten an Bord beeinflussen und unter Umständen Warnsignale, wie etwa Rauchentwicklungen, verzögert wahrgenommen werden könnten.

---

Köppke, Robert: Einfluss von hypobarem Luftdruck und Störgeräusch auf das Riech- und Schmeckvermögen von Normalpersonen, Halle (Saale), Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Med. Fak., Diss., 71 Seiten, 2020

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	5
1.1 Was ist Geruch? .....	6
1.2 Der Geruchssinn.....	10
1.3 Messmethoden zur Untersuchung des Riechsinn.....	11
1.3.1 Olfaktometrie .....	11
1.3.2 Identifikationstests .....	12
1.3.3 Diskriminationstests.....	13
1.3.4 Evozierte Potentiale.....	14
1.3.5 Bildgebende Verfahren .....	15
1.4 Der Geschmackssinn.....	15
1.4.1 Begriffsdefinition .....	15
1.4.2 Aufbau und Funktion.....	16
1.5 Messmethoden zur Untersuchung des Geschmackssinn.....	18
1.5.1 Chemogustometrie .....	18
1.5.2 Weitere Verfahren zu Untersuchung des Geschmackssinn.....	19
1.6 Stand der Forschung in Bezug auf Schmeck- und Riechsinn.....	20
2 Zielstellung .....	23
3 Material und Methodik .....	24
3.1 Studienvorbereitungen.....	24
3.2 Studienbedingungen.....	25
3.3 Statistische Methoden .....	30
3.3.1 Wahl der Analysemethode.....	31
3.3.2 Voraussetzungen rmANOVA .....	31
4 Ergebnisse .....	33

4.1	Gesamtergebnisse der Riechtests .....	33
4.2	Einzelergebnisse der Geruchstests .....	34
4.3	Gesamtergebnis des Schmecktests.....	37
4.4	Einzelergebnisse der Geschmacksqualitäten .....	38
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	42
5	Diskussion .....	45
5.1	Einfluss von Störgeräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung .....	45
5.2	Wechselwirkungen zwischen Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen...	46
5.3	Einfluss des Luftdrucks auf die Riechfunktion .....	47
5.4	Einfluss des Luftdrucks auf die Schmeckfunktion .....	48
5.5	Überlegungen zum Einfluss von Luftdruck und Geräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung.....	48
5.5.1	Überlegungen zumLuftdruckeinfluss auf den Geruchssinn .....	49
5.5.2	Überlegungen zum Luftdruckeinfluss auf den Geschmackssinn .....	50
5.5.3	Einfluss von Störgeräuschen auf Geruchs- und Geschmackssinn .....	53
5.6	Limitationen und Stärken der eigenen Studie .....	54
6	Zusammenfassung .....	56
7	Literaturverzeichnis .....	60
8	Thesen .....	70
9	Anlagen .....	71
9.1	Prinzip der rmANOVA.....	71
9.2	Filmmodell .....	74
	Selbstständigkeitserklärung mit Unterschrift.....	V
	Erklärung über frühere Promotionsversuche.....	VI
	Lebenslauf.....	VIII
	Danksagung.....	VIII

# Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Zusammenhang zwischen Geruchsstoffkonzentration und Geruchsempfindung.....	8
<b>Abbildung 2:</b>	Prinzip der Olfaktometrie.....	12
<b>Abbildung 3:</b>	Darstellung des Riechschwellentests der „Sniffin´Sticks“ .....	14
<b>Abbildung 4:</b>	Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe .....	16
<b>Abbildung 5:</b>	Chemogustometrie mit Hilfe von Filterpapierstreifen.....	19
<b>Abbildung 6:</b>	Höhen-Klima-Simulations-Kammer des flugphysiologischen Trainingszentrums der Luftwaffe in Königsbrück.....	26
<b>Abbildung 7:</b>	„Sniffin Sticks“ Testbatterie der Burghart Messtechnik GmbH.....	28
<b>Abbildung 8:</b>	Schmecktest nach Landis et al. (2009).....	29
<b>Abbildung 9:</b>	Median, Quartile und Extremwerte des SDI-Werts für alle Probanden und Bedingungen als Boxplot .....	34
<b>Abbildung 10:</b>	Quartile, Median- und Extremwerte der Identifikationstests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot.....	35
<b>Abbildung 11:</b>	Quartile, Median- und Extremwerte der Diskriminationstests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot.....	35
<b>Abbildung 12:</b>	Quartile, Median- und Extremwerte der Riechschwellen für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot.....	36
<b>Abbildung 13:</b>	Quartile, Median- und Extremwerte des Schmecktests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot.....	38
<b>Abbildung 14:</b>	Ergebnisse der Geschmacksqualität „Salzig“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm.....	39
<b>Abbildung 15:</b>	Ergebnisse der Geschmacksqualität „Süß“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm.....	40
<b>Abbildung 16:</b>	Ergebnisse der Geschmacksqualität „Bitter“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm.....	41
<b>Abbildung 17:</b>	Ergebnisse der Geschmacksqualität „Sauer“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm.....	42
<b>Abbildung 18:</b>	Filmmodell zum Transport des Geruchstoffes zum Riechepithel.....	49
<b>Abbildung 19:</b>	Änderung der Ionen-Konzentrationen des unstimulierten Speichels auf dem Weg zum Ausführungsgang .....	51

# Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Geruchsqualitäten aufgrund unterschiedlicher funktioneller Gruppen.....	9
<b>Tabelle 2:</b>	Primärgerüche nach Amoore .....	9
<b>Tabelle 3:</b>	Untersuchungsschema für die verschiedenen Versuchsbedingungen .....	30
<b>Tabelle 4:</b>	Mittelwerte- und Standardabweichungen der Punktzahlen der Riech- und Schmeck-tests für alle Untersuchungsbedingungen.....	43

# 1 Einleitung

Der Geschmacks- und insbesondere der Geruchssinn spielen im Leben eines Menschen eine häufig unbewusste, jedoch wichtige Rolle. So ist der Geruchssinn im Rahmen zwischenmenschlicher Beziehungen von großer Bedeutung. Säuglinge und stillende Mütter sind in der Lage, sich gegenseitig anhand des jeweiligen Körpergeruches zu identifizieren (Porter et al. 1983; Russell 1976). Auch bei der Partnerwahl stellt der Körpergeruch ein wichtiges Entscheidungsmerkmal dar (Havlicek und Roberts 2009). Dies ist ein Grund dafür, warum Menschen seit Jahrhunderten Parfums nutzen, um den eigenen Körpergeruch zu verändern. Es konnte zudem nachgewiesen werden, dass Probanden den Geruch von Menschen, bei denen sich gewisse Gensequenzen (HLA-Typisierungen) von den eigenen unterscheiden, bevorzugen (Jacob et al. 2002). Dieses Verhalten erhöht innerhalb einer Spezies die genetische Diversität und reduziert das Risiko, homozygot für genetische Defekte zu sein (Penn et al. 2002).

Gemeinsam mit dem Geschmackssinn ist der Geruchssinn zentraler Bestandteil der Wahrnehmung und Interpretation von Mahlzeiten. Anhand des Geruchs und des Geschmacks ist der Mensch in der Lage, essbare und verdorbene Speisen zu unterscheiden und deren Qualität zu beurteilen (Temmel et al. 2002). Hierbei werden die sensorischen Empfindungen durch diverse innere und äußere Faktoren beeinflusst (Spence 2015; Kuehn et al. 2008). In Bezug auf innere Einflüsse auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung verweisen Autoren auf den stark emotional verknüpften Charakter von Geruchseindrücken (Herz et al. 1999). So können durch Gerüche Erinnerungen und Assoziationen hervorgerufen werden (Hackländer et al. 2019). Zu den äußeren Faktoren zählt zum Beispiel der Sauerstoffgehalt, dessen Verringerung in der Luft eine Erhöhung der Riechschwelle zur Folge hat (Huppertz et al. 2018). Zu den äußeren Faktoren zählen jedoch auch die Änderung des Luftdruckes sowie Geräusche, die auf einen Menschen einwirken können. Hierzu liegen zahlreiche Studien vor (Seo et al. 2012; Velasco et al. 2014; Kuehn et al. 2008; Woods et al. 2011; Burzynska et al. 2019), jedoch ist die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse bisweilen schwierig, weil die Geruchs- und Geschmacksempfindung von Menschen in Anlehnung an Hangartner (1982) von folgenden zwei Faktoren abhängt:

- der physischen Wahrnehmung (z.B. Reizauslösung an den Rezeptoren) und
- der psychischen Interpretation der Wahrnehmung.

Ein Glas Wein wird z.B. an den Geschmacksknospen als „süß“ oder „sauer“ wahrgenommen und durch den Geruchssinn als fruchtig oder holzig identifiziert. Beeinflusst wird

die physische Wahrnehmung durch die psychische Interpretation, durch die der Wein als wohlschmeckend oder auch intensiv erscheint.

So fokussieren sich die oben genannten Studien auf die Fragestellung, ob generelle Einflüsse auf den Geruchs- bzw. den Geschmackssinn nachzuweisen sind. Es kann jedoch nicht unterschieden werden, ob Umgebungsfaktoren wie Luftdruckunterschiede oder Geräusche stärker die Wahrnehmung oder die Interpretation beeinflussen.

Darüber hinaus wurden die Einflussfaktoren Luftdruck und Störgeräusche in der Regel einzeln untersucht, wodurch ein Rückschluss auf mögliche Wechselwirkungen zwischen den Faktoren nicht möglich ist (Kuehn et al. 2008; Velasco et al. 2014; Westerterp-Plantenga et al. 1999).

Des Weiteren beziehen sich zahlreiche Studien entweder auf die olfaktorische oder die gustatorische Wahrnehmung, jedoch nicht auf beide gemeinsam (Yan und Dando 2015; Velasco et al. 2014; Seo et al. 2012).

Ziel dieser Arbeit ist es somit, den Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung einzeln und gemeinsam zu untersuchen, um auf diese Weise den Kenntnisstand auf diesem Gebiet zu erweitern. Hierbei soll durch geeignete Untersuchungsmethoden die subjektive Interpretation von Geruchs- und Geschmacksstoffen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Bedeutung erlangen diese Untersuchungen in Flugzeugkabinen, weil veränderte Wahrnehmung von Gerüchen hier eventuell sicherheitsrelevant sein können. So könnte die Erkennung von Rauchgeruch durch eine erhöhte Riechschwelle erschwert werden (Rahne et al. 2018).

Zudem spielt die Riechfunktion zusammen mit dem Geschmackssinn auch eine zentrale Rolle in der Wahrnehmung von Mahlzeiten an Bord. So könnte eine verminderte Wahrnehmung bestimmter Stoffe bei der Zubereitung von Lebensmitteln miteinbezogen werden.

### **1.1 Was ist Geruch?**

Mit dem Begriff „Geruch“ wird die Wahrnehmung und die Interpretation von Sinnesreizen des olfaktorischen Systems bei Menschen und Tieren bezeichnet (Hangartner 1982). Diese Reize entstehen in der Regel durch Bindung bestimmter Moleküle an entsprechende Chemorezeptoren in dem Riech-epithel. Durch elektrische Stimulation ist es jedoch auch möglich, die Sinneszellen des Riechsystems direkt anzuregen. Hierdurch

kann eine Geruchswahrnehmung ohne vorherigen Kontakt mit einem Geruchsstoff entstehen (Leopold et al. 2000).

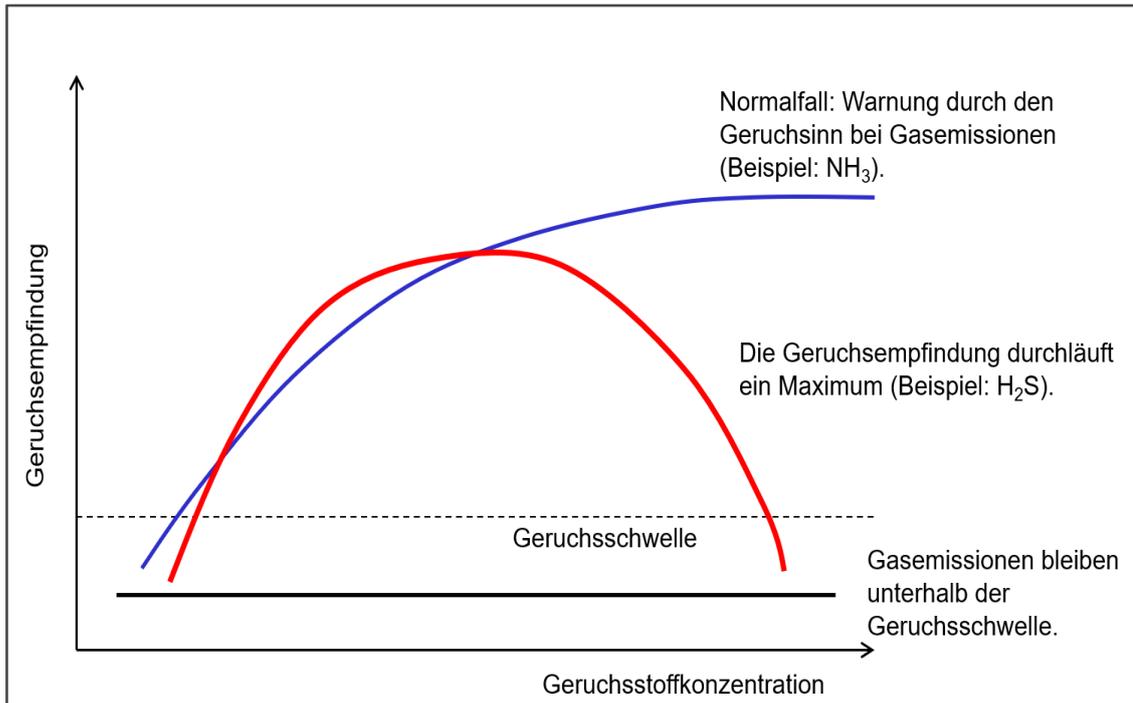
Ein „Geruch“ wird oftmals nicht nur durch einen Einzelstoff, sondern vielfach durch ein Vielstoffgemisch verursacht. Gleichwohl gelten verschiedene Einzelstoffe als extrem geruchsintensiv, wie z.B. Schwefelwasserstoff oder verschiedene Aminosäuren, wie z.B. Skatol. Aktuelle Schätzungen zufolge ist der Mensch in der Lage, bis zu 1 Billion verschiedene Geruchsstoffe wahrzunehmen (Bushdid et al. 2014).

Allen Geruchsstoffen ist gemeinsam, dass sie leichtflüchtig sind. Zudem gibt es typische Eigenschaften, die bei Geruchsstoffen in der Regel vorliegen (Bayrisches Landesamt für Umwelt 2015):

- gute Fett- und Wasserlöslichkeit
- geringes Molekulargewicht
- Vorhandensein von funktionellen Gruppen (z.B. aliphatische, aromatische Kohlenwasserstoffe)

Geruchsstoffe müssen eine Mindestkonzentration aufweisen, um sie in der Nase wahrzunehmen. Diese Mindestkonzentration bestimmt die Wahrnehmungsschwelle. Allerdings ist die Grenze von Mensch zu Mensch und von Stoff zu Stoff sehr unterschiedlich. Um einen allgemein gültigen Geruchsschwellenwert auszuweisen, müssen die Wahrnehmungsgrenzen mehrerer Probanden gemittelt werden.

Wie die **Abbildung 1** am Beispiel von Ammoniak zeigt, nimmt die Geruchswahrnehmung nach Überschreitung der Geruchsschwelle i.d.R. bei steigender Geruchsstoffkonzentration zu.



**Abbildung 1:** Zusammenhang zwischen Geruchsstoffkonzentration und Geruchsempfindung in Anlehnung an (Frechen 1988)

Eine bedeutende Ausnahme bildet jedoch Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S). Mit zunehmender H<sub>2</sub>S-Konzentration wird zunächst die Geruchsschwelle überschritten. Bei weiter steigender Konzentration durchläuft die Geruchswahrnehmung ein Maximum, um anschließend bis unter die Geruchsschwelle wieder abzufallen. In hohen Konzentrationen ist Schwefelwasserstoff nicht mehr wahrnehmbar, da Geruchsrezeptoren gehemmt werden (Frechen 1988). Aus diesem Grund müssen z.B. Kanalarbeiter grundsätzlich ein Gaswarngerät tragen.

Neben der Geruchsintensität stellt die Interpretation von Gerüchen eine weitere Einflussgröße der Geruchsempfindung dar. Ob ein Geruch als angenehm oder unangenehm empfunden wird, unterliegt der individuellen Interpretation. Parfumgeruch und Faulgeruch können durchaus die gleiche Intensität besitzen, jedoch wird Parfum meist als angenehm und Faulgeruch als unangenehm empfunden. Mitentscheidend sind neben der persönlichen Geruchsinterpretation vor allem funktionelle Gruppen am Geruchsmolekül, von denen einige in **Tabelle 1** zusammengestellt sind (Rotard 2002).

**Tabelle 1:** Geruchsqualitäten aufgrund unterschiedlicher funktioneller Gruppen

Geruchsqualität	Funktionelle Gruppe	Stoffgruppe
<b>Angenehm</b>	-OH	Alkohol
	-OR	Ether
	-CHO	Aldehyde
	-(R) C=O	Ketone
	-COOR	Ester
	-CN	Nitrile
	-NO <sub>2</sub>	Nitroverbindungen
<b>Unangenehm</b>	-COOH	Carbonsäuren (z.B. Buttersäure)
	-SH	Thiole (z.B. Mercaptane)
	-SR	Thioether
	-(R) C=S	Thioketon
	-NC	Isonitril
	-NH <sub>2</sub>	Amine
	-Ar-OH	Phenole

Zur weiteren Klassifizierung von Gerüchen gibt es diverse Systeme. Eines der am häufigsten verwendeten wurde von Amoore 1952 eingeführt (Hatt 1996). Hierbei werden Geruchstoffe wie in **Tabelle 2** dargestellt in sieben Hauptgruppen nach Leitdüften eingeordnet.

**Tabelle 2:** Primärgerüche nach Amoore

Blumig	Phenylethyl-methyl-ethyl-carbinol (Rosen)
Ätherisch	Ethylen-dichlorid (Birnen)
Moschusartig	Hydroxypentadecansäurelacton
Kampherartig	Campher (Mottenpulver)
Minzig	Menthon
Faulig	Butylmercaptan (faule Eier)
Stechend	Ameisensäure

Die Wahrnehmung eines „Geruchs“ ist auch von der Dauer der Exposition abhängig. So wird ein Geruch nach längerer Zeit nicht mehr wahrgenommen. Dieses Phänomen wird als Adaptation bezeichnet. Zum Beispiel wird schlechte Raumluft von den anwesenden

Personen nach einiger Zeit nicht mehr registriert. Gleichwohl kann in dieser Atmosphäre frischer Kaffee olfaktorisch erkannt und als anregend empfunden werden.

### 1.2 Der Geruchssinn

Während des Einatmens strömt Luft vom Naseneingang durch beide Nasenhaupthöhlen und gelangt dadurch an die Riechschleimhaut (Regio Olfactoria). Auch beim Ausatmen oder Schlucken strömen Luft und damit in der Luft mitgetragene wasserlösliche Riechstoffe über den Nasenrachenraum an die Regio Olfactoria (Boenninghaus und Lenarz 2007). Bei der Riechschleimhaut handelt es sich um ein etwa 2 cm<sup>2</sup> großes Areal, das sich am Dach beider Nasenhaupthöhlen und im Bereich der oberen Nasenmuscheln befindet und in welchem etwa 10<sup>7</sup> primären Riechzellen angeordnet sind (Schünke et al. 2012). Dies sind bipolare Sinneszellen, deren Zilien spezifische G-protein gekoppelte Rezeptoren tragen, von denen jeder eine unterschiedlich starke Affinität zu bestimmten Geruchsstoffen hat. Eine Besonderheit dieser primären Riechzellen besteht in einer lebenslangen Regeneration aus Basalzellen. Die Regenerationszeit beträgt ca. 60 Tage (Schünke et al. 2012). Um an die Rezeptoren zu gelangen, muss jeder Stoff zunächst einen dünnen Wasserschleimfilm passieren. Daher kann der Mensch nur wasserlösliche Geruchsstoffe wahrnehmen. Jede Riechzelle exprimiert nur eine Art von olfaktorischem Rezeptor, welcher nicht für einen Duftstoff selektiv ist, jedoch für verschiedene Stoffe unterschiedliche Affinitäten aufweist (Araneda et al. 2000; Zhao et al. 1998). Binden sich ausreichend Stoffe an die Rezeptoren der Zelle, wird die Signaltransduktion ausgelöst und ein Signal fortgeleitet. Im Verlauf der Riechbahn lagern sich die Axone von jeweils mehreren hundert Nervenzellen zusammen und bilden die Fila Olfactoria, welche durch die Lamina Cribosa ziehen und anschließend im Bulbus Olfactorius auf das 2. Neuron umgeschaltet werden. Da sich jeder Duftstoff an mehrere Sinneszellen binden kann, entsteht in den Bulbi Olfactorii ein für diesen Stoff spezifisches Erregungsmuster (Uchida et al. 2000). Von den Bulbi Olfactorii verläuft die Riechbahn weiter über die Tracti Olfactorii zu der Amygdala, dem piriformen und dem entorhinalen Kortex, welche zentral an der Verarbeitung von Emotionen und Erinnerungen beteiligt sind (Anderson et al. 2003; Small et al. 2003).

Auffällig ist hierbei, dass ein Großteil der Nervenzellen nicht im Thalamus umgeschaltet wird, sondern direkt zum Kortex gelangt. Hierdurch nimmt das olfaktorische System eine Sonderstellung unter den sensorischen Systemen ein (Schünke et al. 2012). Herz et al. (1999) postulieren, dass dieser Unterschied als mitverantwortlich für den emotionalen Charakter vieler olfaktorischer Wahrnehmungen angesehen werden kann. Hinzu kommt,

dass die Riechbahn neben dem primären olfaktorischen Kortex sehr weit in andere Hirnareale verschaltet ist, wodurch komplexe Verhaltensreaktionen wie Brechreiz oder Speichelfluss ausgelöst werden können (Schünke et al. 2012).

Zusätzlich zur Regio Olfactoria trägt bei vielen Spezies das vomeronasale Organ, eine im Bereich des unteren Nasenseptums befindliche Schleimhauttasche mit Nerven und akzessorischem Bulbus Olfactorius, zur Erkennung von Geruchstoffen bei. Es dient primär zur Erkennung von Pheromonen und der Vermittlung einer spezifischen Reaktion auf diese (Karlson und LUSCHER 1959). Beim Menschen wird die Funktion des vomeronasalen Organs, welches bei ca. 60 Prozent der Bevölkerung vorhanden ist, kontrovers diskutiert (Knecht et al. 2001; Meredith 2001). So wiesen Monti-Bloch und Grosser (1991) eine neuronale Aktivität in diesem Organ nach, während andere Autoren zu konträren Ergebnissen kommen (Knecht et al. 2003; Witt et al. 2002).

### **1.3 Messmethoden zur Untersuchung des Riechsinn**

Grundsätzlich sind bei der Untersuchung des Riechsinn subjektive Testverfahren, die auf der bewussten Wahrnehmung von Gerüchen basieren und die die aktive Mitarbeit des zu Untersuchenden erfordern, von „objektiven“, elektrophysiologischen oder bildgebenden Verfahren zu unterscheiden, welche ohne die Kooperation der Testperson auskommen. Da eine Selbsteinschätzung der olfaktorischen Fähigkeiten als stark schwankend und bisweilen fehlerbehaftet angesehen wird, ist eine systematische Untersuchung zur Bewertung der Riechfähigkeit erforderlich (Landis et al. 2003). Zur Untersuchung der Riechfähigkeit folgende Verfahren eingesetzt:

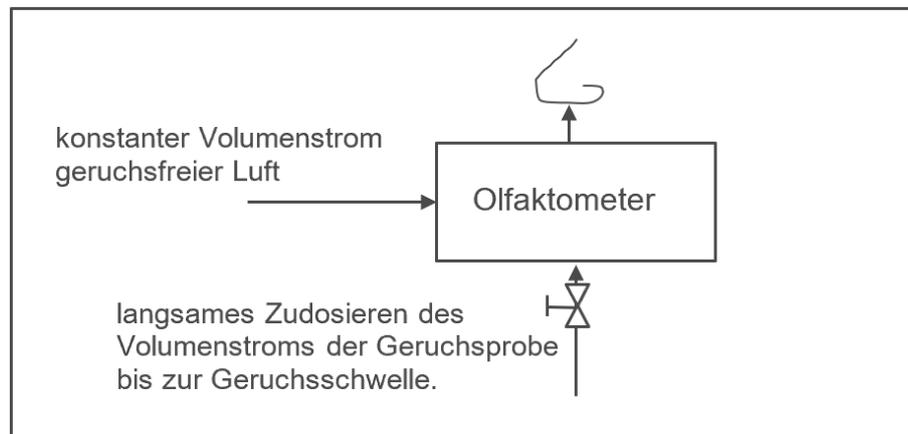
1. Riechschwellentests (z.B. Olfaktometrie)
2. Diskriminationstests
3. Identifikationstest
4. Evozierte Potentiale
5. Bildgebende Verfahren

Hierbei zählen die Verfahren 1-3 zu den subjektiven Verfahren zur Untersuchung des Geruchssinn. Sie basieren darauf, dass der Testperson definierte, meist artifizielle Geruchstoffe präsentiert werden und von dieser wahrzunehmen sind.

#### **1.3.1 Olfaktometrie**

Im Rahmen der Messung von physikalischen und chemischen Eigenschaften von Stoffen wird auch die Geruchsschwelle in Sicherheitsdatenblättern angegeben. Ein häufig

angewendetes Verfahren zur Bestimmung der Wahrnehmungsgrenze (Geruchsschwelle) ist die Olfaktometrie. Wie in **Abbildung 1** schon deutlich wurde, muss eine ausreichend große Konzentration der Geruchsstoffe vorliegen, um durch den Geruchssinn wahrgenommen zu werden. Die Bestimmung mit Hilfe Olfaktometrie erfolgt, indem ein definierter geruchsneutraler Luftstrom durch eine Mischapparatur (Olfaktometer) geleitet wird. Langsam wird diesem Luftstrom ein geruchsbeladener Luftstrom einer Geruchsprobe zudosiert (**Abbildung 2**). Dieser Volumenstrom wird so lange erhöht, bis der Proband den Geruch wahrnimmt (VDI 2015).



**Abbildung 2:** Prinzip der Olfaktometrie

Dieses Verfahren wird primär verwendet, um durchschnittliche Geruchsschwellen für unbekannte Stoffe oder neue Stoffgemische zu bestimmen. Die Untersuchungen müssen wegen der zuvor genannten individuellen Einflussgrößen mit mehreren Probanden durchgeführt und die Ergebnisse gemittelt werden, um eine allgemein gültige Geruchsschwelle näherungsweise festzulegen.

Alternative Verfahren zur Bestimmung der Riechschwelle von Personen für bekannte Geruchsstoffe verwenden anstatt eines kontinuierlichen Luftstroms einzelne in definierten Konzentrationen vorliegende Lösungen. Dies ist auch bei dem in dieser Studie angewandten Verfahren nach Hummel et al. der Fall (Hummel et al. 1997). Die genaue Beschreibung erfolgt im Abschnitt 3.2.

### 1.3.2 Identifikationstests

Die am häufigsten angewendeten Verfahren sind Identifikationstests (Briner und Simmen 1999; Cain et al. 1988; Doty et al. 1984; Hummel et al. 1997; Kobal et al. 1996) bei denen der Testperson eine Riechprobe, zum Beispiel „Rose“, vorgelegt wird. Der Proband muss diesen Geruch wahrnehmen und erkennen. Gegebenenfalls werden mehrere

Antwortmöglichkeiten vorgegeben, aus denen die Person wählen kann. Dieser Testvorgang wird mit mehreren unterschiedlichen Geruchstoffen wiederholt, um eine Aussage über die Riechfähigkeit des Probanden zu gewinnen.

### 1.3.3 Diskriminationstests

Die Testung der Diskriminationsfähigkeit erfordert von dem Probanden, einen bestimmten Geruch zu erkennen, der sich von anderen präsentierten Gerüchen unterscheidet. Hierbei werden in der Regel unterschiedliche Geruchstoffkonzentrationen und Kombinationen verwendet.

Der große Vorteil subjektiver Verfahren besteht in der leichten Durchführbarkeit im klinischen Alltag, weshalb sie sich laut Hummel et al. (2001) sehr gut sowohl als Screeningmethoden für olfaktorische Störungen als auch, dank großer Testbatterien, für eine differenzierte Untersuchung der Riechfunktion eignen.

Nachteilig ist, dass sämtliche oben genannten Tests die Mitarbeit der Testperson erfordern. Daher sind sie nicht für die Untersuchung des Riechsinn bei Neugeborenen, Bewusstlosen, Dementen oder unkooperativen Patienten geeignet. Hinzu kommt, dass insbesondere die Identifikationstests stark von kulturellen Erfahrungen abhängig sind, wodurch ein realistisches Testergebnis nur durch Anpassung der Geruchstoffe an den kulturellen Hintergrund des Probanden möglich ist (Ho et al. 2002).

Unter den zur Verfügung stehenden international anerkannten, häufig validierten Tests, wie z.B. dem UPSIT („**U**niversity of **P**ennsylvania **S**mell **I**dentification **T**est“) (Doty et al. 1984) oder dem CCCRC-Test (Test des „**C**onnecticut **C**hemosensory **C**linical **R**esearch **C**enters“) (Cain et al. 1988), wurden die „Sniffin' Sticks“ (Hummel et al. 1997; Kobal et al. 1996; Kobal et al. 2000) im Rahmen dieser Arbeit zur Untersuchung des Riechsinn verwendet (**Abbildung 3**). Die genaue Erläuterung dieses Verfahrens erfolgt im Abschnitt 3, Material und Methodik.



**Abbildung 3:** Darstellung des Riechschwellentests der „Sniffin´Sticks“

Die im Folgenden kurz vorgestellten objektiven Verfahren sind ebenfalls zur Untersuchung der olfaktorischen Funktion geeignet.

#### **1.3.4 Evozierte Potentiale**

Zu den objektiven Messmethoden zur Bestimmung der Riechfähigkeit zählen mehrere Verfahren, die auf der Ableitung und Analyse von Aktionspotentialen basieren. Wird eine Sinneszelle angeregt, depolarisiert die Zellmembran und ein elektrochemisches Signal wird entlang der Riechbahn innerhalb des Gehirns fortgeleitet. Mit Hilfe von auf der Kopfhaut angebrachter Elektroden werden diese Signale registriert. Hierbei wird gemessen wie viel Zeit zwischen der Stimulation der Riechzelle und der Aktivierung kortikaler Neuronen vergangen ist (Picton 1988). So ist es möglich zu differenzieren, in welchem Abschnitt der Riechbahn eine mögliche Riechstörung auftritt.

Verfahren, die auf der Analyse von evozierten Potentialen bestehen, unterscheiden sich darin, wie die Riechzellen stimuliert werden. Das Elektro-Olfaktogramm wurde in diversen Studien an Tiermodellen verwendet (Ottoson 1955) sowie in einigen Studien am Menschen, um z.B. Auskunft über die Ausdehnung des Riechepithels (Leopold et al. 2000) zu erhalten. Bei diesem Verfahren erfolgt die Stimulation über eine Elektrode, die direkt auf die Riechschleimhaut aufgebracht wird.

Andere Messmethoden verwenden eine chemosensorische Stimulation durch Geruchsstoffe, die in einen kontinuierlichen Luftstrom eingebettet und nasal appliziert werden (Kobal 1981).

Mit Hilfe dieser objektiven Verfahren ist eine Funktionsprüfung der Riechzellen möglich, jedoch spiegeln diese nicht zwangsläufig die bewusste Geruchswahrnehmung wider. So wiesen etwa Hummel et al. (2006) nach, dass auch in Konzentrationsbereichen, in denen ein Proband noch keinen Geruch bewusst wahrnimmt, Aktionspotentiale gemessen werden können.

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Studie sind die hier genannten Verfahren auf Grund ihres hohen Aufwandes sowie der Notwendigkeit einer reizarmen Umgebung nicht geeignet.

### **1.3.5 Bildgebende Verfahren**

Seit kurzer Zeit existieren mehrere bildgebende Verfahren zur Untersuchung des olfaktorischen Systems. Hierbei gibt es primär drei Untersuchungsmethoden: Die funktionelle **Magnetresonanztomografie (fMRI)** (Anderson et al. 2003), die **Positionenemissionstomographie (PET)** (Kareken et al. 2004) und das „**magnetic source imaging**“ (MSI) (Ayabe-Kanamura, S. 1997). Diese Verfahren basieren etwa auf der Messung von Veränderungen des Stoffwechsels bzw. des Blutflusses, die durch neuronale Aktivität ausgelöst werden können. Anders als bei den evozierten Potentialmessungen können elektrophysiologische Abläufe im Gehirn nicht direkt erfasst werden. Diese bildgebenden Methoden werden aktuell z.B. für die Erforschung alters- und geschlechtsspezifischer Unterschiede der Riechfunktion verwendet (Yousem et al. 1999a; Yousem et al. 1999b).

Der grundlegende Vorteil aller objektiven Verfahren besteht darin, die Riechfunktion zu untersuchen, ohne dass eine Mitarbeit des Probanden notwendig ist. Für die hier betrachtete Fragestellung ist jedoch die bewusste Wahrnehmung der Probanden und nicht die unbewusste Reaktion des Körpers auf einen Reiz von Interesse. Aus diesem Grund sind die subjektiven Verfahren für diese Studie geeigneter.

## **1.4 Der Geschmackssinn**

### **1.4.1 Begriffsdefinition**

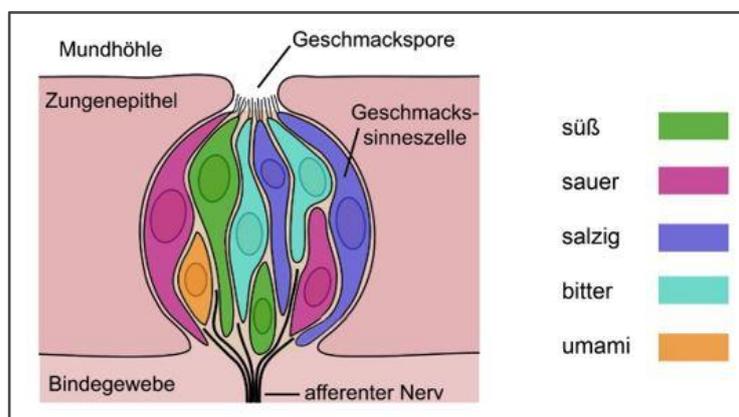
Wird insbesondere im deutschsprachigen Raum von „Geschmack“ „Geschmackssinn“ oder „schmecken“ von Speisen gesprochen, so ist in der Regel eine gemeinsame Interpretation der Sinneseindrücke des olfaktorischen und gustatorischen Sinnes sowie ggf. einer Schmerzempfindung über den Nervus Trigemini (z.B. bei scharfen Speisen) gemeint. So setzt sich etwa der „Geschmack“ einer Himbeere aus der Wahrnehmung „Süß“ und „Sauer“, vermittelt über die Geschmacksknospen auf der Zunge, sowie dem Eindruck des Geruchssinns zusammen, welcher u.U. eine genauere Differenzierung erst

ermöglicht. Diese Verwendung der oben genannten Begriffe ist für eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Sinneseindrücke nicht sinnvoll. Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit folgende Begriffsdefinitionen verwendet:

- Der „Geschmackssinn“ bezeichnet den Sinneseindruck der durch Reizung der Geschmacksknospen der Zunge ausgelöst und über den Nervus glossopharyngeus, den Nervus facialis und den Nervus vagus weitergeleitet und interpretiert wird.
- „Schmecken“ bezeichnet die bewusste Wahrnehmung eines Stoffes durch Reizung des Geschmackssinns.
- Der Begriff „Geschmack“ beschreibt die Interpretation der gesammelten Sinneseindrücke des Geruchssinns, des Geschmackssinns und Teilen des Nervus Trigemini.

### 1.4.2 Aufbau und Funktion

Die Wahrnehmung von Geschmacksstoffen erfolgt an den Geschmacksknospen. Von diesen Knospen befinden sich ca. 4.600 auf der menschlichen Zunge (Schünke et al. 2012). Sie sind in das Epithel der Zungenschleimhaut eingebettet und insbesondere an den Oberflächenvergrößerungen des Epithels, den Wallpapillen (Papillae vallatae), den Pilzpapillen (Papillae fungiformes) und den Blattpapillen (Papillae foliatae) lokalisiert. Zudem finden sich im Rachen und am weichen Gaumen einzelne Geschmacksknospen. Nahe den Knospen befinden sich insbesondere an den Wallpapillen Spüldrüsen, die eine kontinuierliche Reinigung und damit die Wiedererregbarkeit der Rezeptoren ermöglichen. Jede Geschmacksknospe setzt sich aus vielen Rezeptorzellen zusammen, von denen jede die Erkennung von Geschmacksstoffen einer der fünf Qualitäten süß, sauer, salzig, bitter und umami (glutamatartig) ermöglicht (**Abbildung 4**).



**Abbildung 4:** Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe (in Anlehnung an NEUROtiker 2008)

Die Wahrnehmung weiterer Geschmacksqualitäten wird intensiv diskutiert. So wiesen Stewart et al. (2010) nach, dass Probanden Fettsäuren in ansonsten geschmacksneutralen Lösungen erkennen können. Zudem identifizierte Laugurette et al. (2005) einen möglichen Rezeptor zur Erkennung von freien Fettsäuren. Auch die Wahrnehmung weiterer Qualitäten wie alkalisch, metallisch und wasserartig ist Gegenstand aktueller Untersuchungen. Im Gegensatz zu anderen Sinnen handelt es sich bei den Rezeptorzellen des Geschmackssinns nicht um primäre Nervenzellen, sondern um spezialisierte Epithelzellen. Da jede Geschmacksknospe Zellen für die Erkennung mehrerer Geschmacksqualitäten enthält, ist ersichtlich, warum die früher vermutete ausschließlich auf bestimmte Abschnitte der Zunge begrenzte Wahrnehmung einer einzelnen Geschmacksqualität nicht mehr dem aktuellen Stand der Forschung entspricht (Schünke et al. 2012).

Gelangt ein Geschmacksstoff auf die Zunge, wird er zunächst in einem wässrigen Film gelöst und gelangt so an die Schmeckrezeptoren, welche sich an der Zellmembran von Mikrovilli am Ende der sekundären Nervenzellen befinden. Süße und bittere Stoffe binden jeweils an ein heterodimer aus zwei G-Protein gekoppelten Rezeptoren, für den Umami-Geschmack existieren sogar 25 - 30 verschiedene Rezeptoren (Chandrashekar et al. 2006; Behrens und Meyerhof 2006). Durch eine G-Protein vermittelte Signalkaskade wird bei diesen drei Geschmacksqualitäten über Second Messenger eine Depolarisation der Schmeckzelle induziert, welche wiederum eine Glutamatfreisetzung bewirkt. Die genaue Wahrnehmungsweise für salzige und saure Stoffe ist dagegen noch weitgehend ungeklärt.

Nach Erhalt eines Reizes durch einen Geschmacksstoff depolarisieren die Geschmackszellen. Über eine Glutamatausschüttung an den peripheren Fortsätzen von afferenten, pseudounipolaren Neuronen werden die Aktionspotentiale weitergeleitet (Schünke et al. 2012). Diese Neuronen lagern sich entsprechend ihrer Lokalisation zu drei Nerven zusammen:

- Nervus lingualis des Nervus facialis (vordere 2/3 der Zunge)
- Nervus glossopharyngeus (hinteres Drittel der Zunge)
- Nervus vagus (Epiglottis)

Da die gustatorische Wahrnehmung über diese Vielzahl von Nerven aufgenommen wird, ist ein vollständiger Verlust des Schmecksinns (Ageusie) äußerst selten. Die Neuronen leiten die Schmeck-information zur Pars Gustatoria des Nucleus tractus solitarii, wo die Umschaltung auf das zweite Neuron stattfindet. Von dort aus gelangen die Informationen

zu der ipsi- und kontralateralen Seite des Thalamus. Im Thalamus findet die Umschaltung auf das dritte Neuron statt, welches mit dem vierten Neuron im Kortex (Gyrus post-centralis, Inselrinde) in Verbindung steht. Teile des Schmecksinns sind direkt mit den Nuclei salivatorii verbunden, die für den „Speichelreflex“ verantwortlich gemacht werden. Andere Fasern sind mit dem Nervus trigeminus verschaltet, wodurch die Wahrnehmung von scharfen Stoffen dem Schmecksinn angegliedert wird (Schünke et al. 2012).

## 1.5 Messmethoden zur Untersuchung des Geschmacksinns

Analog zur Messung des Geruchssinns werden bei der Untersuchung des Geschmacksinns subjektive Verfahren, die von der bewussten Wahrnehmung des Patienten abhängig sind, von objektiven Verfahren, die ohne Kooperation des Patienten auskommen, unterschieden. Auch hier liegt der Vorteil der objektiven Untersuchungsmethoden in der Möglichkeit, nicht kooperationsfähige Personen zu testen und potentielle Simulanten zu erkennen. Der Vorteil der subjektiven Verfahren liegt auch hier in der einfacheren Durchführbarkeit und der direkten Untersuchung der bewussten Wahrnehmung des Patienten. Des Weiteren kann nach Boeninghaus und Lenarz (2007) eine Klassifizierung an Hand der Art der gustatorischen Stimulation erfolgen. So sind Verfahren, bei denen die Reizung durch Präsentation von Geschmackstoffen von jenen zu unterscheiden, die eine Nervenstimulation durch elektrische Impulse erzielen. Im Folgenden werden die geläufigsten Verfahren zur Untersuchung des Geschmackssinns kurz vorgestellt.

### 1.5.1 Chemogustometrie

Bei der Chemogustometrie (**Abbildung 5**) handelt es sich um ein subjektives Verfahren zur Erfassung der Schmeckwahrnehmung. Hierbei werden dem Probanden mit Hilfe von Pipetten, Wattetupfern oder Filterpapierstreifen Lösungen auf einzelne Areale der Zunge aufgebracht, die jeweils einen Geschmacksstoff (Süß, Sauer, Salzig, etc.) enthalten. Anschließend müssen die Probanden benennen, was für ein Geschmack wahrgenommen wurde. Da bei vielen Verfahren die Lösungen in unterschiedlichen Konzentrationen vorliegen, ist die Bestimmung einer Wahrnehmungsschwelle für jede einzelne Geschmacksqualität möglich. Die Chemogustometrie ist das wohl am häufigsten verwendete Verfahren zur Untersuchung des Geschmackssinns und wird im Rahmen diverser Studien (Epstein et al. 2019) angewendet. Das in dieser Studie durchgeführte Verfahren beinhaltet die Messung des Schmecksinns mit Hilfe von Filterpapierstreifen (Burghart, Wedel, Deutschland), welche mit verschiedenen Geschmacksstoffen getränkt waren

(Landis et al. 2003; Mueller et al. 2003; Landis et al. 2009). Der genaue Testablauf ist im Abschnitt 3, Materialien und Methodik beschrieben.



**Abbildung 5:** Chemogustometrie mit Hilfe von Filterpapierstreifen

### 1.5.2 Weitere Verfahren zu Untersuchung des Geschmackssinns

Anstatt chemischer Reize erfolgt die gustatorische Stimulation bei der Elektrogustometrie durch Elektroden, die an die Zunge einen kontinuierlichen Strom abgeben, wodurch die Geschmacksknospen angeregt werden und es zu einer Geschmackswahrnehmung der Testperson kommt. Auch dieses Verfahren zählt zu den subjektiven, da eine bewusste Wahrnehmung des Probanden notwendig ist. Die Elektrogustometrie findet Anwendung in diversen Studien (Soldatova und Doty 2018; Pavlidis et al. 2017; Chérueil et al. 2017; Tomita und Ikeda 2002). Dennoch handelt es sich hierbei aktuell um ein noch nicht weit verbreitetes Verfahren. Nachteilig für die hier durchgeführte Studie ist, dass einzelne Geschmacksqualitäten kaum getrennt untersucht werden können.

Analog zu den in Abschnitt 1.3.4. vorgestellten olfaktorisch evozierten Potentialen ist es möglich, durch Elektroden auf der Kopfhaut Potentiale nach gustatorischer Stimulation abzuleiten. Dieses Verfahren findet bisher lediglich in wenigen Studien (Mouillot et al. 2019) Anwendung.

## 1.6 Stand der Forschung in Bezug auf Schmeck- und Riech-sinn

Die Wahrnehmung von Geschmack ist multisensorisch und besteht unter anderem aus dem Zusammenspiel von Geruchssinn, Geschmackssinn und in einigen Fällen oral-somatosensorischen Wahrnehmungen (Wallace 2015). Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll zur Erforschung der Frage, wodurch die geschmackliche Wahrnehmung des Menschen beeinflusst wird, den Geruchs- und den Geschmackssinn gemeinsam zu untersuchen. Diverse Studien belegen, dass sowohl das Riechen als auch das Schmecken stark von äußeren Faktoren beeinflusst werden. So wiesen etwa Kuehn et al. (2008) nach, dass die Riechschwelle durch Verminderung der Luftfeuchtigkeit erhöht wird. Auch eine Reduzierung des Sauerstoffpartialdruckes der Luft zeigte denselben Effekt (Huppertz et al. 2018). Zudem wies Spence (2015) auf die zunehmende Forschung auf dem Gebiet der multisensorischen Geschmackswahrnehmung hin und stellte auch visuelle, auditive und trigeminale Beiträge zum Geschmackserleben fest. Insbesondere der Einfluss von Hintergrundgeräuschen auf die Wahrnehmung von Mahlzeiten wird aktuell kontrovers diskutiert (Seo et al. 2012; Velasco et al. 2014), aber auch zu dem Einfluss von Luftdruckunterschieden ergeben sich offene Fragestellungen. So ist bei Betrachtung der Studien, die sich mit dem Einfluss von Luftdruck und Geräuschen auf den Geruchs- und Geschmackssinn, etwa beim Konsumieren von Mahlzeiten an Bord eines Flugzeugs, befassen, ist zu erkennen, dass häufig nur Teilaspekte des Geschmackserlebens erfasst werden.

In Anlehnung an Hangartner (1982) setzt sich die Geruchs- und Geschmacksempfindung des Menschen vereinfacht aus zwei Komponenten zusammen:

$$\text{Sinnesempfindung} = \text{physische Wahrnehmung} + \text{kognitive Interpretation}$$

Übernimmt man diese Einteilung, so ist es möglich, bisherige Studien, die den Einfluss von Luftdruckunterschieden und Geräuschen auf die Riech- und Schmeckfähigkeit erforschen, zu kategorisieren und so vorhandene Lücken im bisherigen Kenntnisstand aufzuzeigen.

Bei Betrachtung bisheriger Studien fällt auf, dass viele Studien einen Einfluss von Geräuschen auf die geschmackliche Wahrnehmung von Speisen nachweisen konnten. Jedoch ist es oft auf Grund des Studiendesigns nicht möglich zu differenzieren, ob der gemessene Effekt auf einer veränderten Wahrnehmung an den Geruchs- bzw. Geschmacksrezeptoren oder einer variierenden kognitiven Interpretation der Sinneseindrücke beruht. Woods et al. (2011) zeigten, dass laute Umgebungen die Knusprigkeit von

Speisen subjektiv erhöhen, die empfundene Süße und Salzigkeit jedoch reduzieren. Hierbei ließen Woods et al. die Probanden die Geschmacksintensität anhand von Skalen bewerten. Burzynska et al. (2019) wiesen nach, dass Probanden einen Rotwein aromatischer und intensiver wahrnehmen, wenn im Hintergrund Geräusche mit niedriger Frequenz gespielt werden. Spence et al. (2019) weist darauf hin, dass im Rahmen von Marketingkampagnen auch das Kaufverhalten von Kunden in Bezug auf Speisen durch entsprechende Hintergrundgeräusche beeinflusst werden kann. Auch konnte gezeigt werden, dass Gerüche als weniger angenehm und weniger süß empfunden werden, wenn im Hintergrund weißes Rauschen präsentiert wird (Velasco et al. 2014). Diese Studien erfassen die subjektive Sinnesempfindung der Probanden und legen den Fokus auf psychologisch ausgelöste Effekte. So auch Zampini und Spence (2010), die zu dem Ergebnis kamen, dass die Art, das Tempo und die Lautstärke von Hintergrundmusik die menschliche Wahrnehmung von Speisen beeinflusst. Da in diesen Studien eine subjektive Einschätzung des Probanden erforderlich ist, ist es nicht möglich zu differenzieren, ob eine veränderte Sinnesempfindung nur durch eine unterschiedliche Wahrnehmung an den Rezeptoren selbst oder auch durch eine Veränderung der kognitiven Interpretation ausgelöst wird. Yan und Dando (2015) simulierten ein echtes Flugzeugkabinengeräusch und bestimmten anhand von unterschiedlich konzentrierten Geschmackslösungen, wie intensiv jede einzelne Geschmacksqualität wahrgenommen wird. Hierbei ließen sie die Probanden die Intensität der Geschmacksstoffe auf einer Skala von eins bis zehn einordnen. Dabei wurde festgestellt, dass „süße“ Stoffe in lauter Umgebung schwächer und Umami intensiver wahrgenommen wird. Bei dieser Vorgehensweise ist nicht gänzlich auszuschließen, dass die psychische Interpretation die Empfindung verschiedener Sinneseindrücke beeinflusst.

Eine Studie, die den Einfluss von Geräuschen auf die Riechfähigkeit weitgehend unabhängig von einer kognitiven Interpretation ermöglicht, wurde von Seo et al. (2012) durchgeführt. Hierbei mussten Probanden mehrere Riechaufgaben erfüllen, je nachdem ob sie die Aufgabe erfolgreich absolvierten oder nicht wurden Punkte vergeben. Anschließend wurden die ermittelten Punktwerte für mehrere Geräuschbedingungen verglichen. Hierbei konnte kein signifikanter Effekt von Umgebungsgeräuschen auf die Riechfähigkeit nachgewiesen werden. Eine Studie, die auf ähnliche Weise den Einfluss von Störgeräuschen auf den Geschmackssinn untersucht, existiert nach aktuellem Kenntnisstand nicht.

Bei Betrachtung bisheriger Studien, die den Einfluss von Luftdruckunterschieden auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung untersuchen, fällt der Blick zunächst Bert (1878), der durch sein Werk „La Pression barometrique“ die Erforschung der Einflusses

von großen Höhen (in denen der Luftdruck vermindert ist) auf den menschlichen Körper begründete. Er berichtete, dass in großer Höhe der Geruchssinn abgeschwächt sei. Dies wurde durch weitere Untersuchungen durch Fleisch (1944) sowie durch Kuehn et al. (2008) bestätigt. Letztere führten Messungen durch, bei denen sich zeigte, dass sich die Riechschwelle in hypobarer Umgebung im Vergleich zum Atmosphärendruck und insbesondere im Vergleich zu hyperbarem Luftdruck erhöht ist (Kuehn et al. 2008). Die überschwellige Diskriminationsfähigkeit wurde hierbei nicht nachweislich beeinflusst. Auch ein Einfluss von vermindertem Luftdruck auf die geschmackliche Wahrnehmung konnte nachgewiesen werden (Westerterp-Plantenga et al. 1999). Hierbei zeigten die Probanden eine Tendenz hin zu zuckerreicheren und salzhaltigeren Mahlzeiten. Zur näheren Untersuchung dieses Einflusses führten Burdack-Freitag et al. (2011) eine Studie durch, bei der den Probanden in einer simulierten Flugzeugkabine Mahlzeiten serviert wurden, die nach Geruch und Ausprägung verschiedener Geschmacksqualitäten bewertet wurden. Zudem wurde die Riech- und Schmeckschwelle für diverse Stoffe untersucht. Diese Messungen erfolgten bei Atmosphärendruck und bei vermindertem Luftdruck; Flugzeuglärm wurde in allen Messungen simuliert. Es zeigte sich, dass sowohl Geruchsschwellen als auch Geschmacksschwellen für mehrere Stoffe bei niedrigerem Luftdruck anstiegen. Insbesondere die Schwellen für Salz, Zucker und Glutamat waren erhöht, saure und bittere Geschmacksstoffe zeigten hingegen keine Veränderung.

Anhand der zuletzt genannten Studie ist es möglich, den Einfluss von Luftdruckunterschieden auf den Geruchs- und Geschmackssinn weitgehend unabhängig von der kognitiven Interpretation zu untersuchen. Die Erforschung des Effekts von Umgebungsgereuschen als weiteren Faktor war jedoch nicht Gegenstand der Untersuchungen von Burdack-Freitag et al. (2011). Aus diesem Grund ist es anhand bisheriger Untersuchungen nicht möglich, potentielle additive Effekte, die sich aus dem gemeinsamen Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen ergeben, nachzuweisen. Dies ist jedoch von besonderem Interesse, da es Hinweise gibt, dass auditive Reize visuelle und auch andere Stimuli überlagern können (Hecht und Reiner 2009).

## 2 Zielstellung

Mit steigenden Fluggastzahlen und der damit verbundenen zunehmenden Anzahl an Board konsumierter Speisen ist der Einfluss von Luftdruckunterschieden und Geräuschen auf die Geschmackswahrnehmung von großem Interesse. Zudem wird die Wahrnehmung von Gerüchen, die auf Gefahren hinweisen (z.B. Rauch) potentiell durch die Flugzeugumgebung beeinflusst.

Der aktuelle Stand der Forschung in Bezug auf den Riech- und Schmecksinn zeigt, dass bisher mehrere Fragestellungen noch nicht oder nur in Teilaspekten erfasst worden sind und ein Bedarf an weiteren Untersuchungen besteht. So ist es seit der Studie von Burdack-Freitag et al. (2011) möglich, einen Einfluss von Luftdruckunterschieden auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung zu beurteilen und hierbei psychologische Faktoren weitgehend auszuschließen. Eine ähnliche Studie zum Einfluss von Störgeräuschen erfolgte bisher jedoch nicht. Untersuchungen zum Einfluss von Geräuschen nutzten entweder Endpunkte, die der subjektiven Einschätzung des Probanden unterliegen (Velasco et al. 2014; Woods et al. 2011) oder fokussierten sich auf die Untersuchung des Geruchs- oder des Geschmackssinns, nicht jedoch auf beide gemeinsam (Seo et al. 2012; Yan und Dando 2015). Studien, die die subjektive Einschätzung des Probanden erfordern, ermöglichen keine Unterscheidung, ob ein Einfluss auf einer veränderten Wahrnehmung oder einer veränderten Interpretation beruht. Daher ist es notwendig, den Einfluss von Störgeräuschen mit Hilfe von Punktwerten und Schwellentests durchzuführen, die eine objektive Einschätzung der Riech- und Schmeckfähigkeit ermöglichen.

Zusätzlich ist es möglich, durch eine Studie, in der sowohl Einflüsse von Luftdruckunterschieden als auch Geräuschen untersucht werden, eventuell verstärkende oder abschwächende Effekte, die durch gemeinsame Einwirkung entstehen, zu untersuchen.

Ziel dieser Arbeit ist es, in einer prospektiven, kontrollierten Studie unabhängig von psychologischen Faktoren den Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung systematisch zu untersuchen. Aus diesem Grund werden in dieser Studie den Probanden anstatt vollständiger Mahlzeiten einzelne definierte Geruchs- und Geschmacksstoffe präsentiert. Hierdurch können Riech- und Schmecksinn unabhängig voneinander untersucht werden. Die Untersuchungen selbst basieren auf klinisch erprobten Verfahren, mit denen sowohl der Geschmackssinn als auch die einzelnen Aspekte des Riechsinn Identifikationsfähigkeit, Diskriminationsfähigkeit und Riechschwelle analysiert werden können. Der Einfluss des Rauschens und des Unterdrucks auf die Endpunkte wird separat durch Anwendung von Unterdruck und einem definierten Rauschen bestimmt.

## 3 Material und Methodik

### 3.1 Studienvorbereitungen

Es wurde eine prospektive, randomisierte, einfachblinde Studie an Normalpersonen geplant.

#### Einschlusskriterien:

- Alter: 18-35 Jahre
- Geschlecht: männlich
- Reintonhörschwelle bei 0,5, 1, 2 und 45kHz  $\leq 15$ dB HL
- Keine bekannten otologischen Erkrankungen
- Keine OPs im Kopfbereich
- Keine bekannten Riech- und Schmeckstörungen

#### Ausschlusskriterien:

- Raucher
- Platzangst
- Bekannte Allergien auf Gerüche
- Aktuelle Einnahme von: Streptomycin, D-Penicillamin, Diltiazem, Nifedipin, Amiptryptilin, Methotrexat, Amphetamine, Alkohol, lokale vasokonstriktive Substanzen, Strychnin, Codein, Lidocain
- starke anatomische Veränderungen der Nase
- fehlende Möglichkeit eines Druckausgleichs

#### Fallzahlschätzung:

- Ermittelt mit gPower
- Ermittelte Stichprobengröße von  $n = 16$  mit einer Dropoutrate von 1
- Rekrutierung von 17 Probanden

Um Einflüsse auf Grund des Geschlechtes innerhalb der Probandengruppe auszuschließen, nahmen keine weiblichen Personen an der Studie teil, zudem wurden ähnliche Altersgruppen ausgewählt. Alle Probanden wurden schriftlich über die Freiwilligkeit ihrer Teilnahme, den Ablauf der Studie sowie potentielle Risiken ausführlich aufgeklärt und darüber in Kenntnis gesetzt, dass ein Austreten aus der Studie jederzeit ohne die Angabe von Gründen möglich ist. Zudem wurde für die Teilnahme eine Aufwandsentschädigung gezahlt. Die Studie wurde von der Ethikkommission der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und in Übereinstimmung mit der Erklärung von Helsinki (World Medical

Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects 2013) positiv bewertet.

Vor Beginn der Messungen wurde bei allen Testpersonen eine allgemeine medizinische Untersuchung durchgeführt, deren Ziel es war, potentielle Herz-Kreislauf- und Lungenerkrankungen zu identifizieren. Hierzu erfolgte eine Anamnese zur Krankheitsgeschichte, der Puls und Blutdruck wurden gemessen, ein EKG wurde geschrieben, und die Sauerstoffsättigung des Blutes wurde bestimmt. Des Weiteren erfolgte eine hals-nasen-ohrenärztliche Untersuchung der Probanden, bei der die Fähigkeit zum Druckausgleich im Mittelohr durch mikroskopisch gestützte Kontrolle des Valsalva-Manövers und durch Tympanometrie überprüft wurde. Zum Ausschluss anatomischer Veränderungen der inneren Nase, wie z.B. einer Septumdeviation sowie einer Rhinosinusitis, erfolgte eine Nasenendoskopie. Um eine gute Hörfähigkeit zu sicherzustellen, wurde bei allen Probanden eine Reinton-Audiometrie durchgeführt. Ausschlusskriterien waren starke anatomische Veränderungen der Nase, ein nicht möglicher Druckausgleich, Rauchen, Klaustrophobie, Allergien gegen Riech- oder Schmeckstoffe sowie die Einnahme von Streptomycin, D-Penicillamin, Diltiazem, Nifedipin, Amitriptylin, Methotrexat, Amphetamine, Alkohol, lokale vasokonstriktive Substanzen, Strychnin, Codein oder Lidocain, da diese Substanzen Einfluss auf die Riech- bzw. Schmeckfähigkeit nehmen können.

### **3.2 Studienbedingungen**

Die Messungen erfolgten in der Höhen-Klima-Simulations-Kammer des flugphysiologischen Trainingszentrums der Luftwaffe in Königsbrück (**Abbildung 6**). Die Simulationskammer besitzt ein Volumen von 59 m<sup>3</sup>. Es wurden pro Proband insgesamt vier Messreihen unter Veränderung der Variablen Luftdruck und Störgeräusch in randomisierter Reihenfolge durchgeführt.



**Abbildung 6:** Höhen-Klima-Simulations-Kammer des flugphysiologischen Trainingszentrums der Luftwaffe in Königsbrück

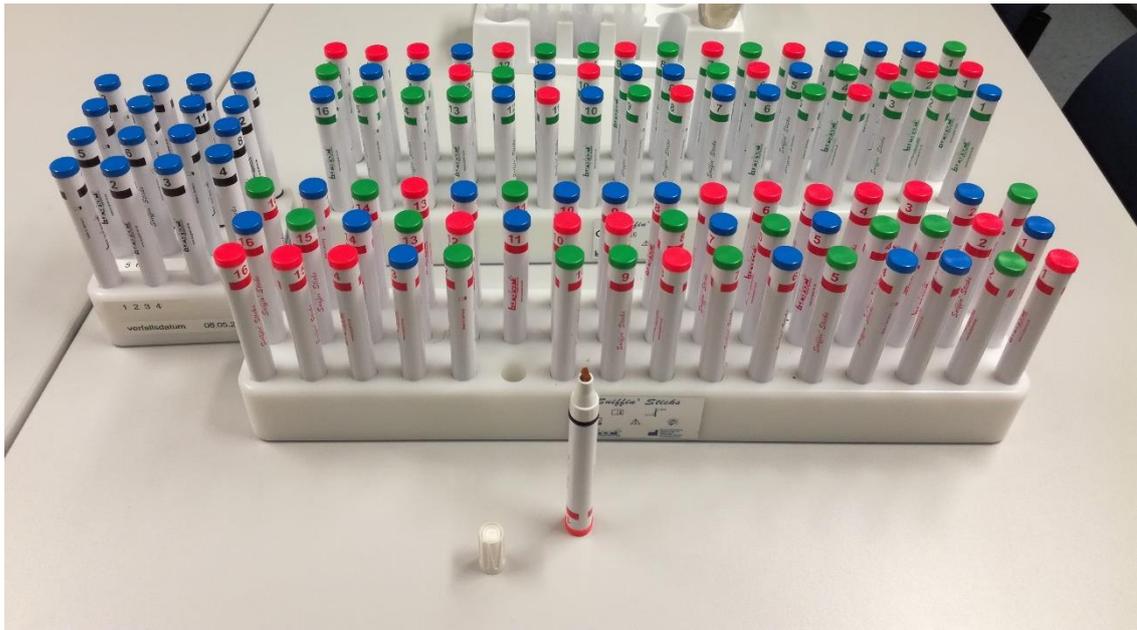
Als *hypobare Anordnung* - also unter verringertem Luftdruck, im Folgenden als *Hypo* abgekürzt – wurde ein Luftdruck von 800 mbar festgelegt, da dies dem Innendruck einer kommerziellen Flugzeugkabine während des Flugs ähnelt. Dies entspricht dem Luftdruck in einer Höhe von 1.944 m ü.NN.. Als *normobare Kontrollbedingung* wurde ein Luftdruck von 950 mbar – im Folgenden als *Normo* abgekürzt - erzeugt, entsprechend einer Höhe von 530 m ü.NN.. Diese normobare Kontrolle wurde als einheitlicher Vergleichswert festgelegt, um Schwankungen des Umgebungsluftdrucks, bedingt durch Wetterveränderungen zu vermeiden.

Zur Erfassung des Einflusses von Störgeräuschen auf den Riech- und Schmecksinn wurden die Probanden einem kontinuierlichen weißen Rauschen ausgesetzt (Bedingung: *Rauschen*), welches von der MATLAB-Software (MathWorks Inc., Natick,) generiert wurde. Dies erfolgte durch die Verwendung von E-A-R-TONE 3A in-ear Kopfhörern (3M, St. Paul, USA) bei einem Schalldruckpegel von 70 dB. Dies entspricht etwa der Lautstärke von Straßenverkehr innerhalb einer Stadt. Auch hierzu wurde eine Kontrollbedingung durchgeführt (Bedingung: *Stille*). Hierbei wurden die Probanden durch E-A-R Ohrstöpsel (3M, St. Paul, MN, USA) und durch SPERIAN over-ear Gehörschützer (Howard Leight, Smithfield, RI, USA) vor Umgebungsgeräuschen abgeschirmt. Der intrinsische A-gewichtete Geräuschpegel der Klimakammer betrug 59 dB SPL (A). Dieser Schalldruck ist geringer als der, der bei einer ruhigen Konversation entsteht und wurde

durch die Kopfhörer um mindestens 28 dB verringert. Die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Sauerstoffkonzentration und die Kohlendioxidkonzentration wurden während aller Messungen konstant gehalten.

Für jede Kombination von Geräusch- und Druckbedingungen wurde die olfaktorische und gustatorische Funktion einschließlich der Einzeltests in einer randomisierten Reihenfolge gemessen. Die Probanden wurden nicht über die aktuellen Versuchsparameter in Kenntnis gesetzt, es handelt sich daher um ein einfach verblindetes Studiendesign. Während der Messungen befanden sich immer zwei Probanden gleichzeitig in der Druckkammer und wurden jeweils von einem Untersucher getestet. Von außerhalb der Kammer erfolgte eine kontinuierliche Überwachung der EKGs sowie der Blutsauerstoffkonzentration durch einen Arzt sowie einen Techniker des flugphysiologischen Instituts der Luftwaffe.

Die Riechfunktion wurde unter Verwendung der Identifikations-, Unterscheidungs- und Schwellensubtests der Testbatterie SDI 'Sniffin Sticks' des Herstellers Burghart Messtechnik GmbH in Wedel ausgewertet (Hummel et al. 1997; Rumeau et al. 2016; Hummel et al. 2007). Diese Testbatterie (**Abbildung 7**) besteht aus Filzstiften, die anstatt eines Farbstoffs verschiedene in einer Lösung aus 4ml 1,2-Propandiol befindliche Duftstoffe in definierten Konzentrationen enthalten. Die Riechstifte haben eine Länge von 14 cm bei einem Innendurchmesser von 1,3 cm. Das Gesamtvolumen beträgt 4 ml. Die Untersuchungen erfolgten entsprechend dem Verfahren, das von Hummel *et al.* beschrieben wurde (Hummel et al. 1997). Nach dem Entfernen der Kappen wurden die Filzstifte für etwa drei Sekunden ca. zwei cm vor den Nasenöffnungen der Teilnehmer platziert, wodurch diese die Duftstoffe wahrnehmen konnten. Die Teilnehmer trugen Augenklappen, um die geforderten Stifte nicht anhand von Farbmarkierungen erkennen zu können. Außerdem trugen die Untersucher geruchlose Baumwollhandschuhe. Im Sinne einer forced-choice Auswahl mussten sich die Probanden für jeweils einen Stift bzw. eine Antwort entscheiden, auch wenn sie den korrekten Stift nicht sicher identifizieren konnten.



**Abbildung 7:** „Sniffin Sticks“ Testbatterie der Burghart Messtechnik GmbH

Zur Messung der Geruchsunterscheidung wurden 16 Dreierreihen von Stiften in einer randomisierten Reihenfolge dargeboten. Die Teilnehmer mussten entscheiden, welche der Stifte eines jeden Triplets einen anderen Geruch im Vergleich zu den anderen beiden Stiften enthielt. Die Summe der korrekten Entscheidungen wurde als Diskriminationswert gemessen, welcher zwischen 0 und 16 liegen konnte.

Der Test zur Identifizierung von Riechstoffen bestand aus einer forced-choice Auswahl von 16 aufeinanderfolgenden Gerüchen. Zu jedem Stift mussten die Probanden aus vier Antwortmöglichkeiten diejenige wählen, die dem Geruch des Stoffes am ehesten entspricht. Die Summe der korrekt identifizierten Stifte wurde als Identifikationswert gemessen, der zwischen 0 und 16 liegen konnte.

Rieschschwellen wurden durch Präsentieren von Stiften mit variierender Verdünnung von n-Butanol gemessen (Hummel et al. 1997). Jeweils ein Stift aus einer Dreierreihe von Stiften enthielt die Lösung, die von den Teilnehmern identifiziert werden musste. Ausgehend von einer stark konzentrierten Lösung wurde die Konzentration reduziert, bis die Probanden den geruchstragenden Stift nicht mehr sicher identifizieren konnten. Dann wurde die Konzentration wieder schrittweise erhöht, bis eine korrekte Erkennung möglich war. Nach sechs Umkehrungen wurde der Mittelwert der letzten vier Umkehrpunkte als olfaktorischer Schwellenwert zwischen 0 (höchste Konzentration: 4 % n-Butanol) und 16 (niedrigste Konzentration: 0,012 % n-Butanol) definiert.

Der kumulative Punktwert (SDI), wurde genauso wie die Punktwerte für Schwellen-, Identifikations- und Diskriminierungstest für jede Kombination von Lärm- und Druckbedingungen getrennt berechnet (Hummel et al. 1997).

Die gustatorische Wahrnehmung wurde auf der Basis von Filterpapierstreifen gemessen wie sie auch von Landis et al. (2009), Mueller et al. (2003) und Ribeiro et al. (2016) verwendet wurden. Die Streifen waren mit Geschmacksstoffen in definierten Konzentrationen getränkt (**Abbildung 8**). Es gab jeweils 4 Konzentrationen zu jeder der 4 Geschmacksqualitäten „Süß“ (Glucose), „Salzig“ (Natriumchlorid), „Sauer“ (Zitronensäure) und „Bitter“ (Chininhydrochlorid). Zudem wurden zwei Teststreifen ohne Geschmackstoff hinzugefügt. Die Streifen wurden in zufälliger Reihenfolge auf der Zunge platziert, wobei die Teilnehmer die Wahl hatten, sich zwischen einer der vier Qualitäten oder „kein Geschmack“ zu entscheiden. Nach jedem Teststreifen mussten die Probanden einen Schluck Wasser trinken, um eine Überlagerung eines Geschmacksstoffs durch den vorangegangenen zu vermeiden. Die Summe der korrekten Antworten wurde als Gesamtergebnis des Schmecktests mit Werten zwischen 0 und 18 eingestuft.



**Abbildung 8:** Schmecktest nach Landis et al. (2009)

**Tabelle 3** zeigt den Ablauf der einzelnen, randomisiert durchgeführten Versuchsbedingungen. R+S bezeichnet hierbei die Versuche zum Thema Riechen und Schmecken. Jeder Proband erhielt randomisiert eine Nummer und wurde entsprechend des in Tabelle 3 aufgeführten Schemas untersucht.

**Tabelle 3:** Untersuchungsschema für die verschiedenen Versuchsbedingungen

Tag 1			Tag 2			Tag 3			Tag 4		
Proband	Luftdruck	Untersuchungen									
# 1+2	Normobar	R+S ohne Schall	# 5+6	Hypobar	R+S mit Schall	# 9+10	Hypobar	R+S ohne Schall	# 13+14	Normobar	R+S mit Schall
		R+S mit Schall			R+S ohne Schall			R+S mit Schall			
# 3+4	Hypobar	R+S ohne Schall	# 7+8	Normobar	R+S mit Schall	# 11+12	Normobar	R+S ohne Schall	# 15+16	Hypobar	R+S mit Schall
		R+S mit Schall			R+S ohne Schall			R+S ohne Schall			
# 1+2	Hypobar	R+S mit Schall	# 5+6	Normobar	R+S ohne Schall	# 9+10	Normobar	R+S mit Schall	# 13+14	Hypobar	R+S ohne Schall
		R+S ohne Schall			R+S mit Schall			R+S ohne Schall			
# 3+4	Normobar	R+S mit Schall	# 7+8	Hypobar	R+S ohne Schall	# 11+12	Hypobar	R+S mit Schall	# 15+16	Normobar	R+S ohne Schall
		R+S ohne Schall			R+S mit Schall			R+S mit Schall			

(R: Riechtests, S: Schmecktest)

### 3.3 Statistische Methoden

Als Ausgangspunkt für die durchgeführte Studie dienen die folgenden Hypothesen:

**Alternativhypothese:** Statischer Luftdruck und Schalldruckpegel beeinflussen unabhängig voneinander die gustatorische Wahrnehmung, das olfaktorische Diskriminations- und Identifikationsvermögen sowie die Riechschwelle.

**Nullhypothese:** Statischer Luftdruck und Schalldruckpegel haben keinen Einfluss auf die gustatorische Wahrnehmung, das olfaktorische Diskriminations- und Identifikationsvermögen sowie die Riechschwelle.

Die Berechnung der benötigten Probandenzahl für die statische Auswertung der Untersuchungen erfolgte durch das Kalkulationsprogramm gPower v.3.1. Die Stichprobengröße basiert auf der Annahme einer Effektgröße von  $d = 0,5$ ; dies entspricht einem mittelgroßen Einfluss von Luftdruck bzw. Störgeräuschen auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung. Die Wahl dieser Effektgröße erfolgte, da eine voraussichtlich kleinere Effektgröße bedeuten würde, dass Geruchs- und Geschmackwahrnehmung durch Luftdruckunterschiede und Störgeräusche nur sehr gering beeinflusst werden, was die praktische Relevanz in Frage stellt. Stellt sich die tatsächliche Effektgröße hingegen als größer heraus, wird sie mit großer Sicherheit erfasst. Darüber hinaus wurden für die Studie

mit  $\alpha = 0,05$  und  $\beta = 0,20$  weitere Festlegungen getroffen. Mit  $\alpha$  ist hierbei die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers 1. Art bezeichnet, also die Wahrscheinlichkeit die Nullhypothese fälschlicherweise abzulehnen.  $\beta$  gibt die Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 2. Art an, also die Wahrscheinlichkeit, die Alternativhypothese fälschlicherweise abzulehnen. Mit Hilfe von gPower ergibt sich eine Stichprobengröße von  $n = 16$ , wobei eine Dropout-Rate von 1 Probanden einzukalkulieren ist. Es waren somit 17 Probanden zu rekrutieren, um die Forschungshypothesen prüfen zu können.

### **3.3.1 Wahl der Analysemethode**

Die statistischen Analysen erfolgten unter Verwendung der Software SPSS 23 (IBM, Ehningen, Deutschland). Die statistische Auswertung erfolgte durch zweiseitige Varianzanalysen mit Messwiederholung (rmANOVAs). Vorteilhaft bei diesem Verfahren ist, dass sowohl der Einfluss der einzelnen unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable als auch der Einfluss möglicher Interaktionen zwischen den unabhängigen Variablen detektiert werden können. Zudem werden bei ANOVAs mit Messwiederholung die gleichen Probanden mehrfach untersucht. Hierdurch ist es möglich, den Einfluss von Luftdruck und Störgeräusch auf eine Einzelperson zu betrachten. Entscheidend ist hierbei der relative Einfluss auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung. Es ist nicht relevant, wie gut oder schlecht die Person im Vergleich zur Gesamtbevölkerung riecht. Es handelt sich somit um ein Verfahren, das die innersubjektiven Unterschiede erfasst; die Differenzen zwischen den Personen sind nicht relevant. Aus diesem Grund kann die Stichprobengröße im Vergleich zu anderen Untersuchungen, bei der beispielsweise die Riechfähigkeit einzelner Gruppen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung ermittelt wird, deutlich kleiner gewählt werden.

### **3.3.2 Voraussetzungen rmANOVA**

Die im folgenden Abschnitt aufgezählten Voraussetzungen beziehen sich auf jene, die von Backhaus et al. (2016) in dem Buch „Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung“ genannt werden.

Die unabhängigen Variablen für die ANOVAs waren: Störgeräusch (*Geräusch, Stille*) und Luftdruck (*Hypo, Normal*). Die verschiedenen Untersuchungsbedingungen werden als Faktorstufen bezeichnet. Hierbei ist es notwendig, dass die Faktorstufen nominalskaliert und mit mindestens jeweils zwei Faktorstufen miteinander korreliert sind, wie zum Beispiel Geräusch und Stille. Die einzelnen abhängigen Variablen (Endpunkte) im Rahmen der Riechtests waren

- der kumulative SDI-Wert (SDI),
- der Identifikationswert,
- der Diskriminationswert und
- die gemessene Riechschwelle.

Bei den Schmecktests galt die Wahrnehmung der Qualitäten (*Süß, Sauer, Salzig, Bitter*) als abhängige Variable (Endpunkt). Da diese Messergebnisse intervallskaliert sind, ist eine weitere Voraussetzung erfüllt.

Für die Auswertung mit Hilfe von ANOVAs ist das Vorhandensein von normalverteilten Datensätzen innerhalb der abhängigen Variablen für jede Faktorstufe erforderlich. Aus diesem Grund wurden die Messergebnisse mit Hilfe des Shapiro-Wilk-Tests auf das Vorhandensein von Normalverteilungen überprüft. Einige Autoren wie etwa Salkind (2010) postulieren, dass die Auswertung mit Hilfe von ANOVAs auch ohne das Vorhandensein von Normalverteilungen ausreichend robust ist. Vor diesem Hintergrund und mit der Annahme, dass bei größerer Stichprobenzahl die Ergebnisse zunehmend normalverteilt sind, wurden auch die Messergebnisse, bei denen der Shapiro-Wilk-Test keine Normalverteilung ergab, in die Auswertung miteingeschlossen.

Eine weitere Voraussetzung für die Datenanalyse von ANOVAs mit Messwiederholung ist das Vorhandensein von Sphärizität, also Varianzgleichheit zwischen den einzelnen zu untersuchenden Gruppen. Dies wurde mit Hilfe des Mauchly-Tests überprüft. Bei Signifikanz des Mauchly-Tests wurden die Freiheitsgrade mithilfe der Greenhouse-Geisser Korrektur reduziert.

## 4 Ergebnisse

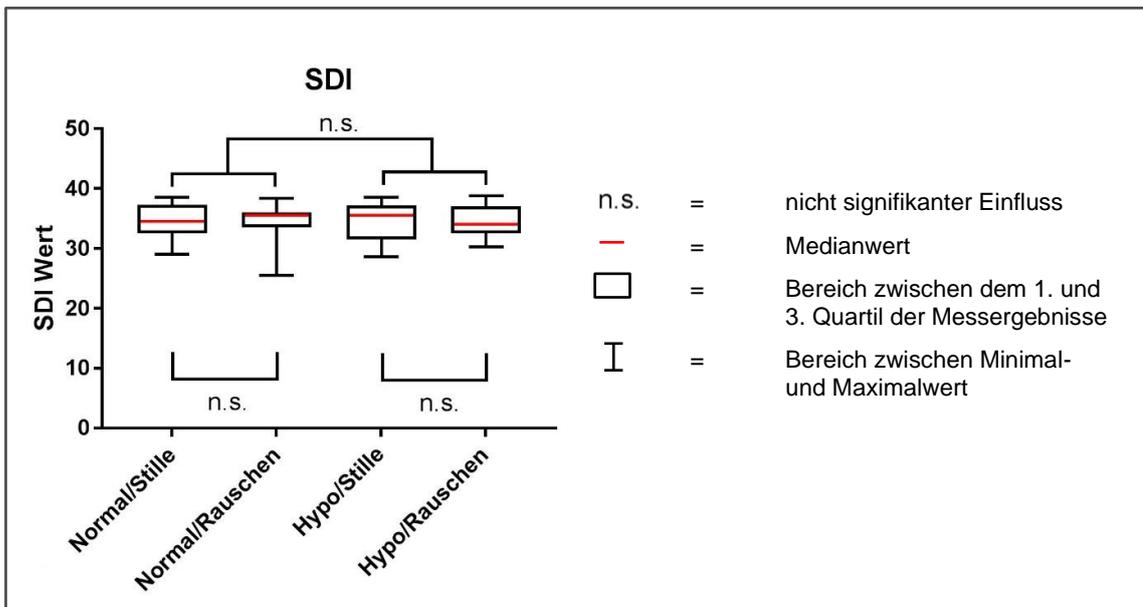
An der Studie nahmen 16 männliche Personen als Probanden im Alter von 19 bis 32 Jahren (Durchschnittsalter 22,6 Jahre) teil. Bei einem Teilnehmer (ID4) konnte die Geruchsschwelle nicht gemessen werden, da selbst die höchste Geruchskonzentration nicht identifiziert wurde. Alle anderen Messungen konnten an allen Teilnehmern durchgeführt werden. Bei allen Teilnehmern lag die Reduzierung der Reinton-Hörfähigkeit für die Luftleitung  $\leq 15$  dB HL für Frequenzen von 125 Hz bis 8000 Hz. Dies deutet auf eine normale Hörfähigkeit aller Probanden hin. Die ärztliche Untersuchung der Nase stellte sich bei allen Teilnehmern als unauffällig heraus. Es wurden keine akute Sinusitis, Polypen oder Verkrümmung der Nasenscheidewand festgestellt. Die durchschnittliche Sauerstoffsättigung betrug 96,3% (SD: 1,8%) bei den *Normal*-Bedingungen und 94,7% (SD: 2,2%) in den *Hypo*-Bedingungen. Die Temperatur ( $20,5$  °C  $\pm$  0,5 °C), die Luftfeuchtigkeit ( $44$  %  $\pm$  2 %), die Sauerstoffkonzentration ( $20,8$  %  $\pm$  0,2 %) und die Kohlendioxidkonzentration ( $0,055$  %  $\pm$  0,015 %) wurden während aller Messungen konstant gehalten.

Im Rahmen des Shapiro-Wilk-Tests zeigte sich, dass die meisten Messreihen, insbesondere die Ergebnisse der Einzelgeruchstests sowie die Gesamtpunktzahl der Riech- und Schmecktest normalverteilt sind

Im Folgenden werden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen mit Hilfe von Boxplots und Streudiagrammen orientierend grafisch dargestellt und durch die zugehörigen Anovas und Post-hoc Vergleiche kontextualisiert. Die Erläuterung der Darstellungsweise erfolgt anhand der Ergebnisse für den SDI-Wert (**Abbildung 12**). Anschließend werden die gemessenen Einflüsse von Luftdruck und Störgeräusch an Hand von Mittelwertvergleichen näher betrachtet.

### 4.1 Gesamtergebnisse der Riechtests

In der **Abbildung 9** sind von links nach rechts sind jeweils die vier verschiedenen Messreihen nebeneinander mit den Variablen Luftdruck (*Normal/Hypo*) und Störgeräusch (*Geräusch/Stille*) aufgetragen als Boxplot aufgetragen. Als signifikant gilt ein Ergebnis bei  $p < 0.05$ .

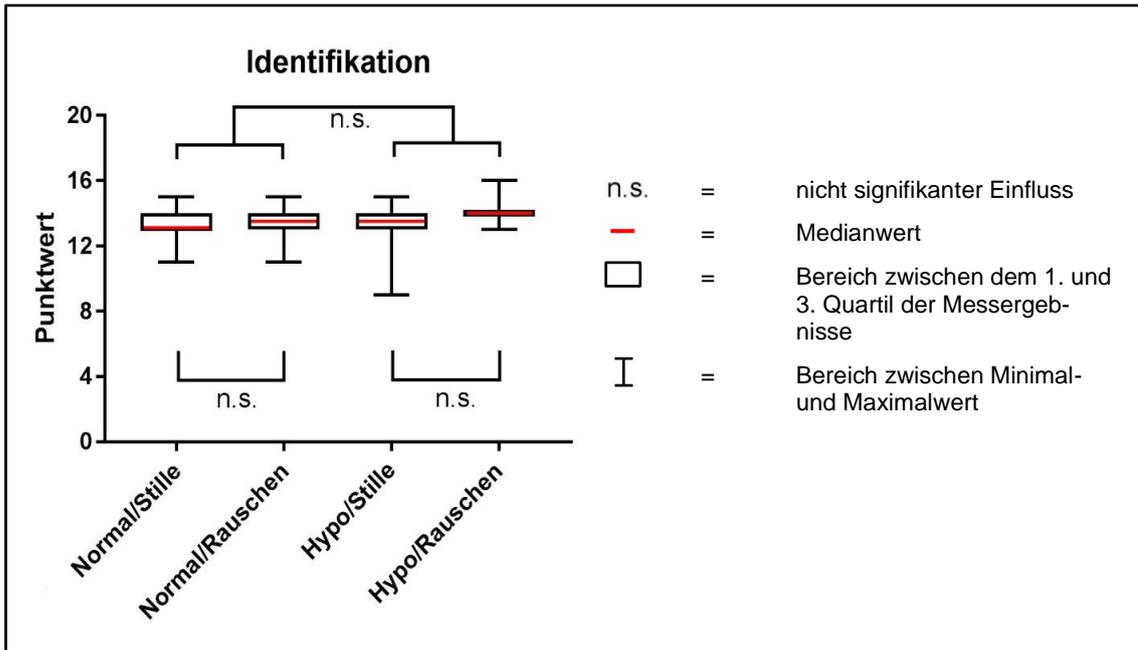


**Abbildung 9:** Median, Quartile und Extremwerte des SDI-Werts für alle Probanden und Bedingungen als Boxplot

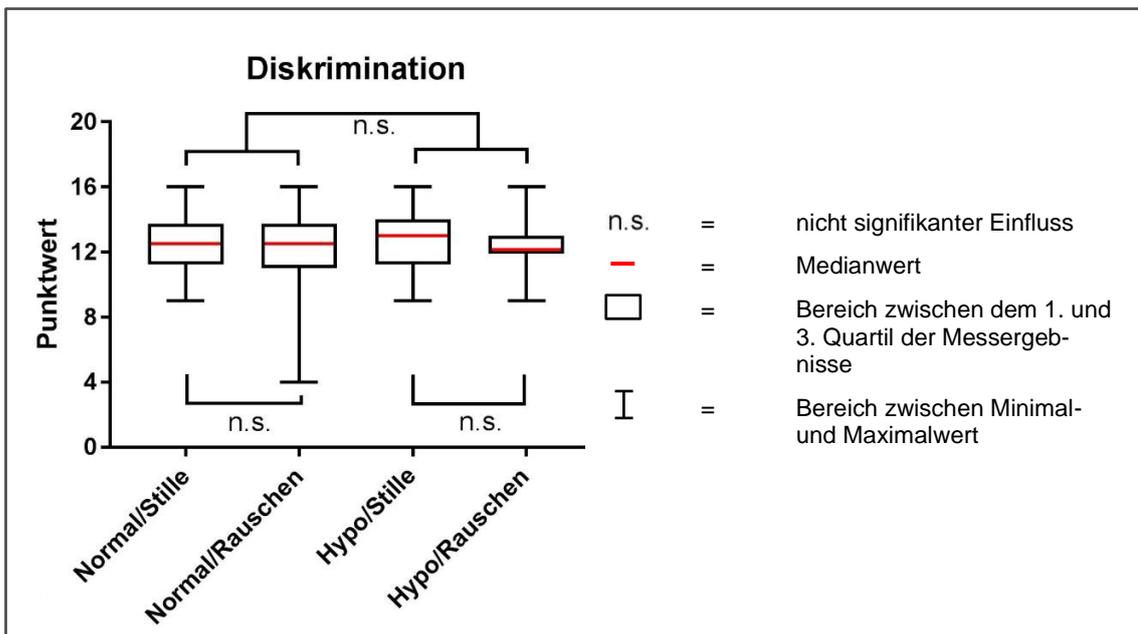
Aus der **Abbildung 9** wird ersichtlich, dass der SDI-Wert als Ausdruck der Gesamtriechfähigkeit weder durch Veränderung des Luftdruckes noch Störgeräusche maßgeblich beeinflusst wurde, da sowohl die Medianlinien als auch die markierten Quartile sehr dicht bei einander liegen. Die hierzu durchgeführten Varianzanalysen zeigten keine signifikante Beeinflussung: Luftdruck ( $F(1,14) = 0,003$ ;  $p = 0,956$ ); Störgeräusch ( $F(1,14) = 0,009$ ;  $p = 0,928$ ). Zudem wurde keine Wechselwirkung zwischen den Faktoren gemessen ( $F(1,14) = 0,019$ ;  $p = 0,891$ )

## 4.2 Einzelergebnisse der Geruchstests

In **Abbildung 10 und 11** sind die Ergebnisse des Identifikationstests und des Diskriminationstests dargestellt. Auch hier ist erkennbar, dass sich sowohl die Mediane als auch die Quartile in allen vier Versuchsbedingungen nur gering unterscheiden. Es zeigte sich, dass die Veränderung des Luftdrucks weder das Diskriminationsvermögen ( $F(1,15) = 0,559$ ;  $p = 0,466$ ) noch das Identifikationsvermögen ( $F(1,15) = 2,143$ ;  $p = 0,164$ ) signifikant beeinflusst hat.



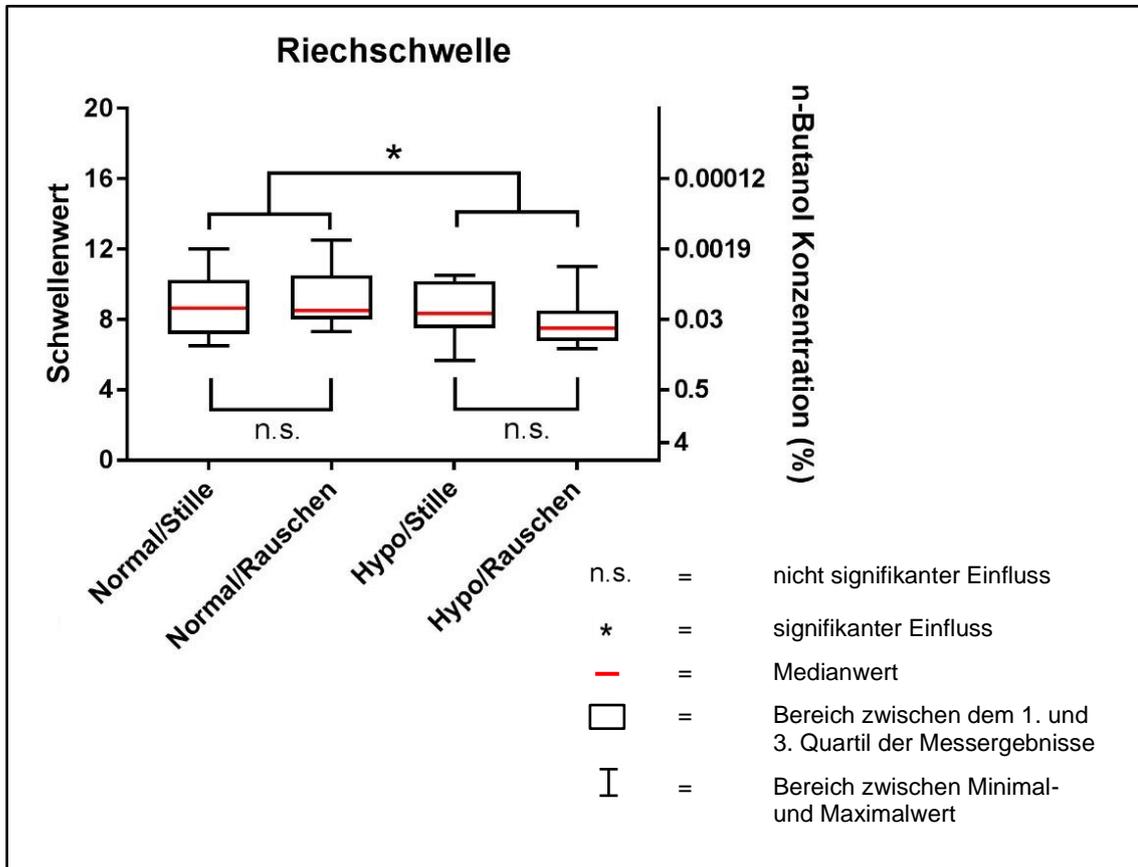
**Abbildung 10:** Quartile, Median- und Extremwerte der Identifikationstests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot



**Abbildung 11:** Quartile, Median- und Extremwerte der Diskriminationstests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot

Ein Einfluss von Störgeräuschen auf die Identifikationsfähigkeit ( $F(1,15) = 3,693$ ;  $p = 0,074$ ) konnte nicht nachgewiesen werden. Auch eine Veränderung der Diskriminationsfähigkeit ( $F(1,15) = 2,049$ ;  $p = 0,173$ ) durch Geräusche zeigte sich nicht. Zudem wurden Wechselwirkungen, die durch einen gemeinsamen Einfluss der Faktoren Luftdruck und

Störgeräusch entstehen könnten, nicht nachgewiesen. Die Ergebnisse der zugehörigen ANOVAS waren hierbei für die Identifikation ( $F(1,15) = 2,622$ ;  $p = 0,126$ ) und die Diskrimination ( $F(1,15) = 0,005$ ;  $p = 0,942$ ) nicht signifikant.



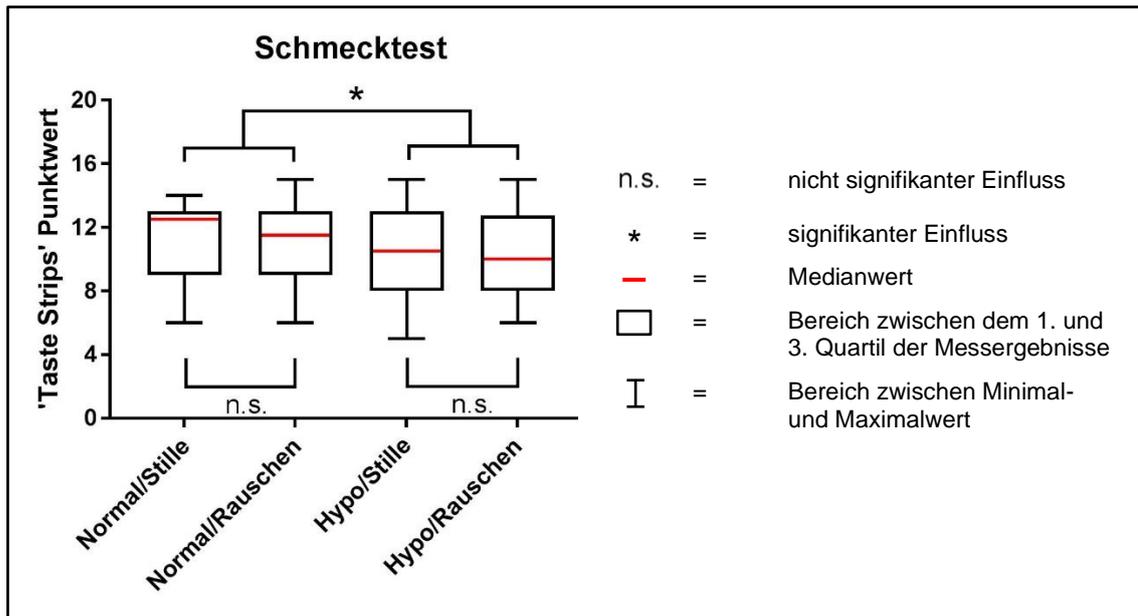
**Abbildung 12:** Quartile, Median- und Extremwerte der Riechschwellen für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot

**Abbildung 12** stellt die Ergebnisse des Riechschwellentests dar, hierbei ist auf der linken Ordinate die Nummer des Stiftes aufgetragen, bei dem die Geruchsschwelle erreicht wurde. Somit handelt es sich um die Nummer des Stiftes mit der niedrigsten Geruchsstoffkonzentration, die von den Probanden gerade noch gerochen werden konnte. Die Skalierung erfolgt linear. Auf der Ordinate rechts ist die zugehörige Stoffkonzentration des verwendeten Stoffes n-Butanol in der Trägerlösung in Prozent aufgetragen. Je höher die Nummer des Stiftes auf der linken Seite ist, desto niedriger ist die verwendete Geruchsstoffkonzentration und in Folge dessen die Riechschwelle. Der Stift mit der Nummer 4 entspricht zum Beispiel einer 0,5 prozentigen Lösung des Geruchstoffes und der Stift mit der Nummer 8 einer 0,03 prozentigen.

In der Abbildung ist erkennbar, dass zum einen die Mediane und Ausreißer der beiden *Hypo*-Bedingungen im Vergleich zu den Normalbedingungen niedriger sind. Dies entspricht einer Erhöhung der Geruchsschwelle, da der Geruchstoff erst bei einer höheren Konzentration (y-Achse rechts) identifiziert wurde. Zudem sind insbesondere bei der *Hypo/Rauschen*-Bedingung die Werte 1. und 3. Quartile ebenfalls deutlich reduziert. Bei Vergleich der Messreihen durch ANOVAS zeigte sich, dass eine Veränderung des Luftdrucks einen signifikanten Einfluss auf die Riechschwelle hatte ( $F(1,14) = 12,9$ ;  $p < 0,01$ ). Post-hoc Vergleiche zeigten einen signifikant verminderten Mittelwert im Schwellentest (8,20) (SD:2,12) ( $p = 0,003$ ) im *Hypo*-Zustand im Vergleich zur *Normal*-Bedingung (8,92) (SD:2,26). Dies entspricht einer Erhöhung der Riechschwelle. Ein signifikanter Einfluss des Störgeräuschs konnte nicht nachgewiesen werden ( $F(1,14) = 0,115$ ;  $p = 0,74$ ). Es wurde keine Wechselwirkung beobachtet ( $F(1,14) = 1,437$ ;  $p = 0,251$ ).

### 4.3 Gesamtergebnis des Schmecktests

**Abbildung 13** stellt die Gesamtergebnisse des Schmecktests als Boxplot dar. Hierbei sind auf der Ordinate die erreichten Gesamtpunktzahlen der Probanden aufgetragen. Die restliche Darstellung und Beschriftung ist identisch zu der der Riechtests. Erkennbar ist, dass die Medianwerte der *Hypo*-Bedingungen im Vergleich zu den *Normal*-Bedingungen vermindert sind. Insbesondere bei Normaldruck und Stille liegt der Medianwert deutlich höher als in den drei anderen Messkonstellationen. Es zeigte sich, dass eine Veränderung des Luftdrucks einen signifikanten Einfluss auf den mittleren Gesamtpunktwert hat ( $F(1,15) = 5,774$ ;  $p = 0,03$ ). Eine Veränderung durch das Störgeräusch konnte hingegen nicht nachgewiesen werden ( $F(1,15) = 0,14$ ;  $p = 0,713$ ). Eine Wechselwirkung zwischen den Faktoren lag nicht vor ( $F(1,15) = 0,0$ ;  $p = 1$ ). Post-hoc-Vergleiche zeigten im *Hypo*-Zustand einen signifikant niedrigeren Mittelwert (10,31) (SD: 3,94) ( $p = 0,03$ ) im Vergleich zur *Normal*-Bedingung (11,13) (SD: 3,81).



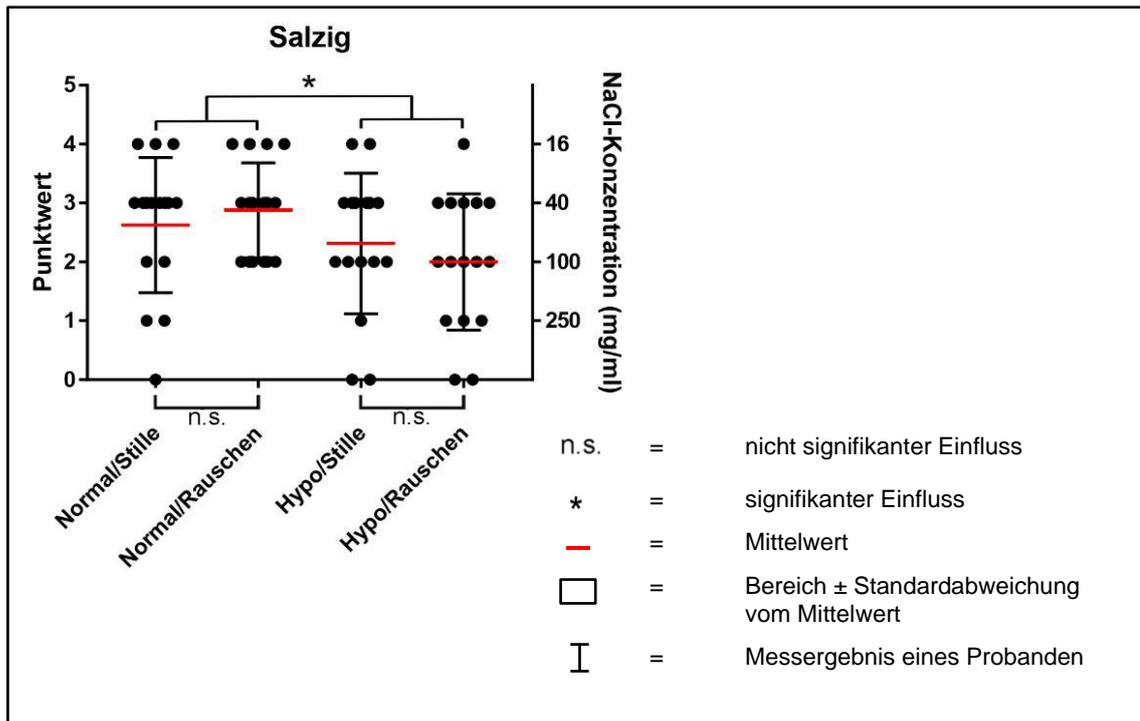
**Abbildung 13:** Quartile, Median- und Extremwerte des Schmecktests für alle Probanden und Testbedingungen als Boxplot

Durch das Hinzufügen der Geschmacksqualität als weiteren Faktor in der ANOVA, mit den Faktorstufen „Süß“, „Sauer“, „Salzig“ und „Bitter“ war es möglich, Unterschiede innerhalb der einzelnen Geschmacksqualitäten nachzuweisen ( $F(3,45) = 7,687$ ;  $p < 0,001$ ). Auch unter Einbeziehung der Qualität und des Geräusches gemeinsam konnte ein signifikanter Einfluss festgestellt werden ( $F(3,45) = 3,182$ ;  $p = 0,033$ ). Ein Einfluss von Luftdruck und Qualität gemeinsam konnte nicht nachgewiesen werden ( $F(3,45) = 2,79$ ;  $p = 0,051$ ). Genauso war eine Wechselwirkung zwischen Geräusch, Luftdruck und Qualität nicht zu identifizieren ( $F(3,45) = 1,295$ ;  $p = 0,28$ )

Zur weiteren Differenzierung der Ergebnisse und um herauszufinden, wie der gemessene Einfluss des Störgeräusches genau ausgefallen ist, wurde eine Analyse der einzelnen Geschmacksqualitäten mit paarweisen Vergleichen durchgeführt.

#### 4.4 Einzelergebnisse der Geschmacksqualitäten

Die Messergebnisse der einzelnen Geschmacksqualitäten werden in Form von Streudiagrammen dargestellt. Analog zu den vorherigen Ergebnissen gelten gemessene Einflüsse bei  $p < 0,05$  als signifikant. Zu beachten ist, dass im Gegensatz zu der vorherigen Darstellungsweise der Mittelwert und die Standardabweichung anstatt des Medians und der Extremwerte abgebildet sind.



**Abbildung 14:** Ergebnisse der Geschmacksqualität „Salzig“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm

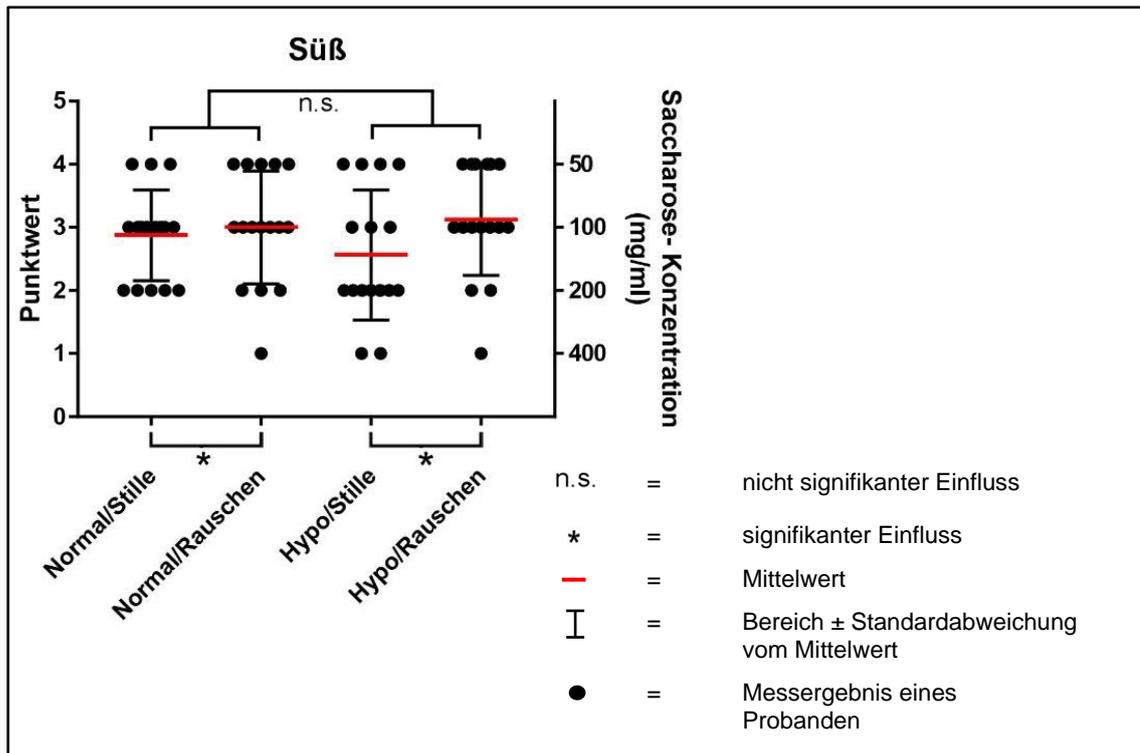
In **Abbildung 14** sind die Einzelergebnisse des Schmecktests für den salzigen Geschmacksstoff dargestellt. Es ist erkennbar, dass im Unterdruckbereich (*Hypo/Rauschen* und *Hypo/Stille*) mehr Probanden keine bzw. wenige Punkte erreicht haben (Identifikation von salzigen Geschmacksstoffen erst bei höheren Konzentrationen). Bei Normaldruck erhöht sich die Anzahl der korrekt identifizierten Filterpapierstreifen. So haben mehr Probanden 4 Punkte erreicht und die Zahl der falschen Antworten war deutlich reduziert.

Die Auswertung der durchschnittlichen Anzahl richtig erkannter Teststreifen ergab, dass eine Veränderung des Luftdrucks einen signifikanten Einfluss hatte ( $F(1,15) = 11,9$ ;  $p = 0,004$ ). Post-Hoc Vergleiche zeigten hierbei, dass bei den *Hypo*-Bedingungen im Mittel weniger Punkte erreicht wurden (2,16) (SD: 1,66) im Vergleich zu den *Normal*-Bedingungen (2,75) (SD: 1,40).

Ein Effekt durch das Störgeräusch ergab sich nicht ( $F(1,15) = 0,02$ ;  $p = 0,889$ ). Es wurden keine Wechselwirkungen nachgewiesen ( $F(1,15) = 1,408$ ;  $p = 0,254$ ).

**Abbildung 15** zeigt die Einzelergebnisse für den süßen Geschmacksstoff. Es ist erkennbar, dass der Luftdruck keinen deutlichen Einfluss auf die erreichten Punktwerte hatte. So unterscheidet sich der Mittelwert der Bedingung *Hypo/Rauschen* (3,13) (SD: 0,89)

nur geringfügig von dem bei *Normal/Rauschen* (3,00) (SD: 0,89). Bei dem Vergleich von *Hypo/Stille* und *Normal/Stille* umgekehrt. Dies spiegelt sich auch der Vergleich der zugehörigen Mittelwerte wider. Jedoch fällt auf, dass die Probanden in lauter Umgebung (*Hypo/Rauschen* und *Normal/Rauschen*) deutlich weniger falsche Antworten gaben als in ruhiger Umgebung (*Hypo/Stille* und *Normal/Stille*). Dies deutet auf einen Einfluss des Störgeräusches hin.



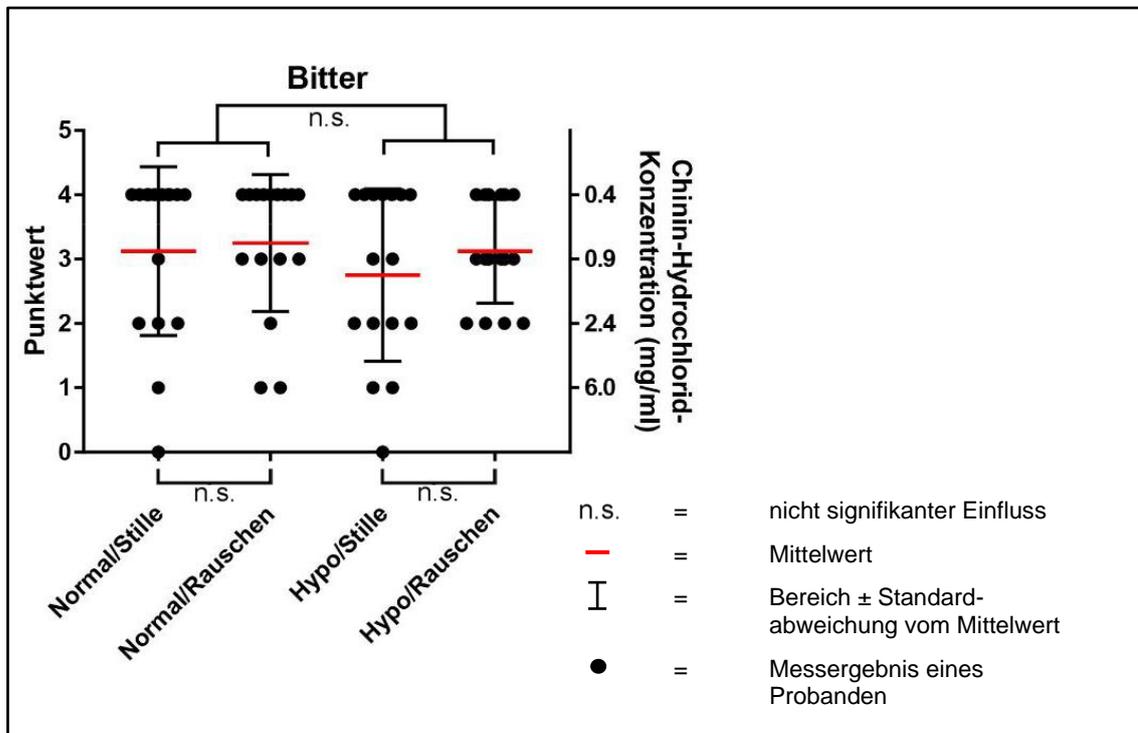
**Abbildung 15:** Ergebnisse der Geschmacksqualität „Süß“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm

Im Rahmen der Varianzanalyse ergab sich, dass das Störgeräusch einen signifikanten Effekt auf die durchschnittlich erreichte Punktzahl hatte ( $F(1,15) = 7,348$ ;  $p = 0,016$ ). Post-Hoc Vergleiche ergaben, dass die Mittelwerte der *Stille*-Bedingungen (2,72) (SD: 1,26) im Vergleich zu den *Rauschen*-Bedingungen (3,06) (SD: 1,26) ( $p=0,016$ ) vermindert waren.

Durch Veränderung des Luftdruckes ergab sich kein Einfluss ( $F(1,15) = 0,376$ ;  $p = 0,549$ ). Eine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Variablen wurde nicht nachgewiesen ( $F(1,15) = 7,348$ ;  $p = 0,016$ ).

**Abbildung 16** stellt die Einzelergebnisse für die Geschmacksqualität „Bitter“ dar. Bei den Untersuchungen mit Normal-Bedingungen haben mehr Probanden als bei den

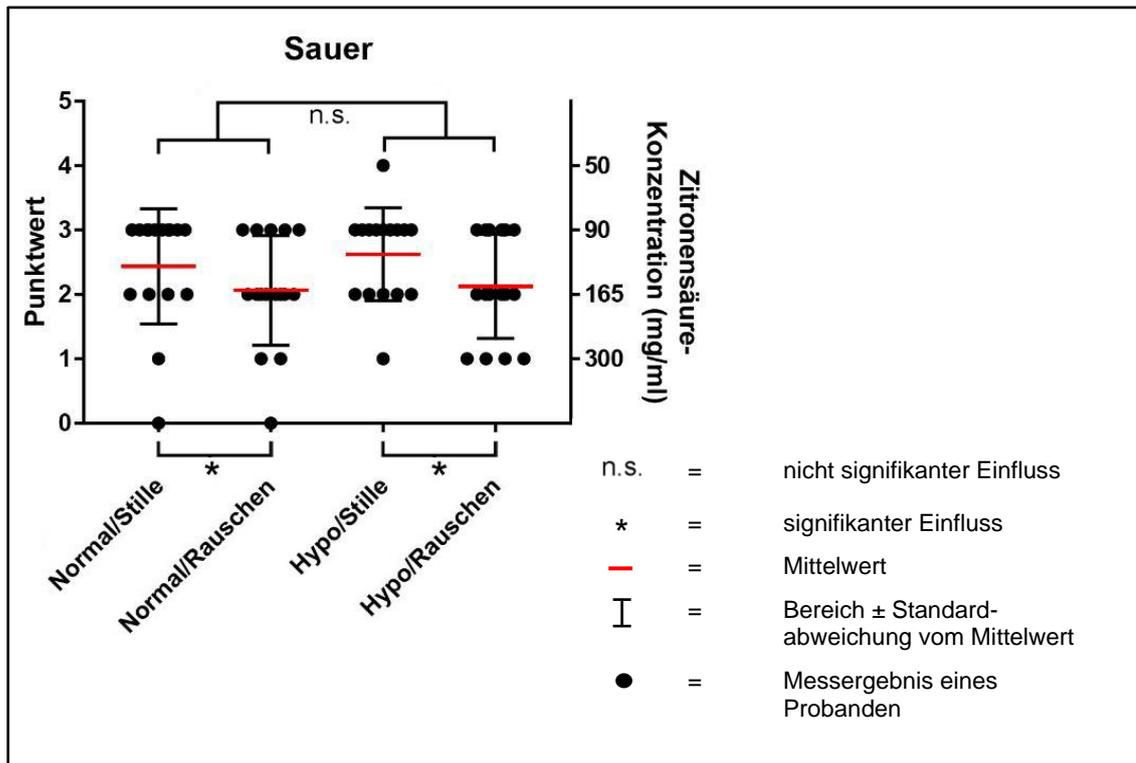
Hypo-Bedingungen die maximale Punktzahl erreicht. Die Untersuchungen über den Einfluss des Störgeräusches zeigen, dass unter stillen Bedingungen zwar mehr Probanden 4 Punkte erzielt haben, jedoch auch mehr Probanden geringere Punktzahlen (0 bzw. 1 Punkt) erreichten. Somit ergibt sich insgesamt ein uneinheitliches Bild.



**Abbildung 16:** Ergebnisse der Geschmacksqualität „Bitter“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm

Bei der Auswertung der Mittelwerte konnte weder durch Luftdruckunterschiede ( $F(1,15) = 1,364$ ;  $p = 0,261$ ) noch das Störgeräusch ( $F(1,15) = 1,25$ ;  $p = 0,281$ ) ein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden. Es wurden keine Wechselwirkungen gemessen ( $F(1,15) = 0,556$ ;  $p = 0,468$ ).

**Abbildung 17** zeigt die Einzelergebnisse für den sauren Geschmacksstoff. In dieser ist erkennbar, dass in den geräuscharmen Testumgebungen (*Hypo/Stille* und *Normal/Stille*) deutlich mehr Probanden hohe Punktzahlen erreichten als in lauter Umgebung (*Hypo/Rauschen* und *Normal/Rauschen*). Ebenso verringerte sich die Anzahl der Probanden, die nur auf einen Punkt kamen.



**Abbildung 17:** Ergebnisse der Geschmacksqualität „Sauer“ mit Mittelwerten und Standardabweichung als Streudiagramm

Die Varianzanalyse ergab, dass das Störgeräusch einen signifikanten Effekt auf die durchschnittlich erreichte Punktzahl hatte ( $F(1,15) = 6,622$ ;  $p = 0,021$ ). Die Post-Hoc Vergleiche zeigen, dass die Mittelwerte der *Stille*-Bedingungen (2,53) (SD: 1,15) im Vergleich zu denen der *Rauschen*-Bedingungen (2,10) (SD: 1,17) erhöht waren ( $p = 0,021$ ). Durch Veränderung des Luftdruckes ergab sich kein Einfluss ( $F(1,15) = 0,556$ ;  $p = 0,468$ ). Eine Wechselwirkung zwischen den einzelnen Variablen wurde nicht nachgewiesen ( $F(1,15) = 0,135$ ;  $p = 0,718$ ).

## 4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

In **Tabelle 4** sind die durchschnittlich erreichten Punktwerte der Probanden für die Riech- (SDI-Wert) und die Schmecktests (Gesamtpunktzahl) für die unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen zusammengefasst. Zudem sind die Punktwerte für die Einzeluntersuchungen dargestellt. In Klammern ist die jeweils zugehörige Standardabweichung aufgetragen. Mit Hilfe dieser Tabelle werden im Folgenden die wesentlichen Ergebnisse der Studie kurz zusammengefasst.

**Tabelle 4:** Mittelwerte- und Standardabweichungen der Punktzahlen der Riech- und Schmeck-tests für alle Untersuchungsbedingungen

	Normaldruck ( <i>Normal</i> )			Unterdruck ( <i>Hypo</i> )			Stille- Gesamt	Rauschen- Gesamt	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Stille	Rauschen	Gesamt	Stille	Rauschen	Gesamt			
Untersuchung	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	Mittelwerte (SD)	
<b>Riechtests</b>									
1	Identifikationstest	13,31 (1,14)	13,44 (1,03)	13,38 (1,54)	13,31 (1,53)	14,06 (0,77)	13,69 (1,72)	13,31 (1,91)	13,75 (1,29)
2	Diskriminationstest	12,50 (1,79)	12,06 (2,62)	12,28 (3,17)	12,81 (1,87)	12,31 (1,49)	12,56 (2,39)	12,66 (2,59)	12,19 (3,02)
3	Riechschwellentest	8,81 (1,72)	9,03 (1,46)	8,92 (2,26)	8,39 (1,48)	8,00 (1,51)	8,20 (2,12)	8,60 (2,27)	8,52 (2,10)
4	SDI-Wert	34,34 (2,81)	34,23 (3,16)	34,29 (4,23)	34,25 (3,21)	34,27 (2,56)	34,26 (4,10)	34,30 (4,26)	34,25 (4,06)
<b>Schmecktest</b>									
5	Süß	2,88 (0,72)	3,00 (0,89)	2,94 (1,15)	2,56 (1,03)	3,13 (0,89)	2,84 (1,36)	2,72 (1,26)	3,06 (1,26)
6	Sauer	2,44 (0,89)	2,06 (0,85)	2,25 (1,23)	2,63 (0,72)	2,13 (0,81)	2,38 (1,08)	2,53 (1,15)	2,10 (1,17)
7	Salzig	2,63 (1,15)	2,88 (0,81)	2,75 (1,40)	2,31 (1,20)	2,00 (1,16)	2,16 (1,66)	2,47 (1,66)	2,44 (1,41)
8	Bitter	3,13 (1,31)	3,25 (1,07)	3,19 (1,69)	2,75 (1,34)	3,13 (0,81)	2,94 (1,57)	2,94 (1,88)	3,19 (1,34)
9	Gesamtpunktzahl Schmecktest	11,06 (2,74)	11,19 (2,64)	11,13 (3,81)	10,25 (2,98)	10,38 (2,58)	10,31 (3,94)	10,66 (4,05)	10,78 (3,69)

- Ein Einfluss des Störgeräusches mit gegensätzlichem Effekt wurde im Rahmen dieser Untersuchungen für die Geschmacksstoffe „Süß“ und „Sauer“ festgestellt. Während die Probanden in lauter Umgebung den sauren Stoff seltener (2,1 SD: 2,10) (Zeile 6, Spalte 8) als in den *Stille*-Bedingungen (2,53 SD: 1,15) (Zeile 6, Spalte 7) korrekt wahrnehmen konnten, wurde der süße Stoff häufiger erkannt: 3,06 (SD: 1,26) (Zeile 6, Spalte 8) statt 2,72 (SD: 1,26) (Zeile 5, Spalte 7). Bei dem sauren Stoff entspricht dies einer Abnahme von 16,67 %, bei dem Stoff „Süß“ einer Zunahme von 12,5 %. Die Geschmacksqualitäten „Bitter“ und „Salzig“ wurden durch das Störgeräusch nicht signifikant beeinflusst. Daher veränderte sich auch die Gesamtpunktzahl des Schmecktest in lauter Umgebung nicht nachweislich.
- Weder der SDI-Wert, noch die Identifikations- und Diskriminationsfähigkeit sowie die Riechschwelle der Probanden ist durch das Störgeräusch signifikant beeinflusst worden (Zeilen 1-4, Spalten 7-8).
- Wie die ANOVAS gezeigt haben, wurden weder für die Geruchs- noch für die Geschmackswahrnehmung signifikante Wechselwirkungen durch gemeinsamen Einfluss von Luftdruckverminderung und der Präsentation des Störgeräusches gemessen.
- Die mittlere Punktzahl des Riechschwellentests (Zeile 3, Spalte 3) verminderte sich durch Reduzierung des Luftdrucks (Zeile 3, Spalte 6) von 8,92 (SD: 2,26)

- auf 8,20 (SD: 2,12) (Zeile 3, Spalte 6). Dies entspricht einer Erhöhung der Riechschwelle um 8,75 %.
5. Die mittleren SDI-Werte als Ausdruck der Gesamtriechfähigkeit, sowie Punktwerte für die Identifikations- und Diskriminationstests wurden jedoch durch Veränderung des Luftdruckes nicht maßgeblich beeinflusst (Zeilen 1, 2 und 4, Spalten 3 und 6).
  6. Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl des Schmecktests unter *Normal*-Bedingungen (Zeile 9, Spalte 3) wurde durch Reduzierung des Atmosphärendrucks (Zeile 9, Spalte 6) signifikant von 11,13 (SD: 3,81) auf 10,31 (SD: 3,94) reduziert. Dies entspricht einer Abnahme von 7,37 %.
  7. Bei Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Geschmacksqualitäten zeigte sich, dass eine Beeinflussung durch den Luftdruck nur für den Geschmacksstoff „Salzig“ nachzuweisen war. Hierbei verminderte sich die durchschnittlich erreichte Punktzahl von 2,75 (SD: 1,16) bei *Normal*-Bedingungen (Zeile 7, Spalte 3) auf 2,16 (SD:1,66) bei Unterdruckbedingungen (Zeile 7, Spalte 6). Dies entspricht einer Abnahme um 21,44 %.

Im nachfolgenden **Kapitel 5** werden diese Ergebnisse im Einzelnen diskutiert und mit den Ergebnissen anderer Autoren verglichen.

## 5 Diskussion

Für die nachfolgende Interpretation und Diskussion werden die Ergebnisse dieser Studie mit denen anderer Autoren verglichen. Dabei ist herauszustellen, dass im Rahmen der eigenen Messungen Riech- und Geschmacksveränderungen in Abhängigkeit von Luftdruckveränderungen und Störgeräuschen parallel untersucht wurden. Wie die vorliegenden Untersuchungsergebnisse anderer Autoren zeigen, wurde im Vergleich dazu nur ein Parameter, entweder Luftdruck oder Geräusche, verändert. Vor diesem Hintergrund lassen sich nur die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Einzelergebnisse mit denen anderer Autoren vergleichen.

Darüber hinaus ist festzustellen, dass die Wechselwirkungen zwischen Luftdruckänderung und Geräusch im Rahmen dieser Studie erstmals untersucht wurden.

Zudem wurde in dieser Arbeit versucht, die subjektiven Einflüsse auf die Ergebnisse so weit wie möglich auszuschließen, indem die Tests so aufgebaut waren, dass nur die Fähigkeit zur Wahrnehmung bzw. Unterscheidung von Stoffen geprüft wurde. Nicht gefragt wurde, wie intensiv ein Geschmacks- oder Geruchstoff empfunden wurde oder ob dieser angenehm oder unangenehm war. Im Gegensatz dazu wurde, wie in Kapitel 1.6 detailliert dargestellt ist, bei vielen Arbeiten die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung einerseits und die Interpretation der Wahrnehmung andererseits durch Wahl anderer Versuchsbedingungen nicht getrennt erforscht. Dies gilt insbesondere für die Untersuchungen, die den Einfluss des Störgeräusches auf die Geschmackswahrnehmung analysiert. Dieser Aspekt ist bei dem Vergleich mit anderen Untersuchungsergebnissen zu berücksichtigen.

Die folgende Diskussion orientiert sich an der Reihenfolge der in Kapitel 4.5 zusammengefassten Ergebnisse.

### 5.1 Einfluss von Störgeräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung

Die eigenen Untersuchungsergebnisse zeigten unterschiedliche Wirkungen eines Störgeräusches auf die Geruchs- oder Geschmackswahrnehmung. Während die Riechfunktion, abgebildet durch den SDI-Wert, den Schwellen-, den Identifikations- und Diskriminationstest keine signifikanten Veränderungen zeigte, wurde jedoch die Wahrnehmung einzelner Geschmacksqualitäten gegensätzlich beeinflusst. In lauten Umgebungen wurde der süße Geschmacksstoff häufiger - im Mittel 3,06 (SD: 1,26) statt 2,72

(SD: 1,26) mal - und der saure Stoff seltener - 2,1 (SD: 2,10) statt 2,53 (SD: 1,15) - im Vergleich zu den *Stille*-Bedingungen korrekt identifiziert.

Die Beeinflussung des Geruchs- und Geschmackssinns durch Geräusche wird in der Literatur kontrovers diskutiert, allerdings wurden beide Sinneseindrücke soweit bekannt getrennt betrachtet. Yan und Dando (2015) stellten fest, dass süße Geschmackslösungen in lauter Umgebung als weniger intensiv wahrgenommen werden, während die Wahrnehmung von sauren, salzigen und bitteren Stoffen unverändert bleibt. Somit unterscheiden sich die eigenen Ergebnisse von denen von Yan und Dando. Zu beachten ist hierbei, dass in der Studie der genannten Autoren die Probanden die Intensität von verschiedenen Lösungen auf einer vorgegebenen Skala bewerten mussten. Somit basieren die Ergebnisse auf den subjektiven Einschätzungen der Probanden, wodurch eine psychisch-kognitive Beeinflussung der Wahrnehmung möglich ist.

Bei Betrachtung des Einflusses von Störgeräuschen auf den Geruchssinn hat Velasco et al. (2014) einen Einfluss von weißem Rauschen auf die Geruchsempfindung festgestellt. Demgegenüber stehen die Ergebnisse von Seo et al. (2012), die keine Auswirkung von Geräuschen auf die Geruchswahrnehmung zeigen. Die eigenen Ergebnisse werden somit von Seo et al. bestätigt. Dieser scheinbare Widerspruch zwischen den Untersuchungsergebnissen kann damit erklärt werden, dass Velasco et al. für seine Untersuchungen eine Fragestellung gewählt hat, die sowohl die Wahrnehmung als auch die Interpretation von Gerüchen umfasst. Letzteres drückt sich bei seinen Untersuchungen dadurch aus, dass Probanden befragt wurden, wie intensiv ein bestimmter Geruchstoff wahrgenommen und als angenehm oder unangenehm empfunden wurde. So wurden z.B. Gerüche als weniger angenehm und weniger süßlich bewertet. Analog zu den eigenen Untersuchungen wurden bei Seo et al. (2012) verschiedene Riechtests durchgeführt, bei denen im Fokus stand, ob ein Geruch erkannt wird oder nicht.

## **5.2 Wechselwirkungen zwischen Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen**

Die statistische Auswertung durch ANOVAS ergab, dass weder in den Geruchstests noch in dem Schmecktest ein signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen *Normal/Stille* und *Hypo/Rauschen* besteht, der nicht durch den Einfluss einer der beiden Faktoren Luftdruck und Störgeräusch alleine erklärt werden kann. Gleichwohl ist bekannt, dass andere Reize durchaus Einfluss auf die Wahrnehmung von Geschmack und Geruch haben können. So wiesen etwa Ohla et al. (2012) nach, dass durch visuelle

Reize Teile des Gehirns aktiviert werden können, die primär dem Geschmackssinn zuzuordnen sind. Auch wiesen Hecht und Reiner (2009) nach, dass auditive Stimuli andere Sinneseindrücke überlagern können. Anhand der Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie lässt sich jedoch schließen, dass sich Störgeräusche und Luftdruckveränderungen in ihrer Wirkung auf die physische Wahrnehmung von Geruch- und Geschmacksstoffen nicht gegenseitig beeinflusst haben. Es ist nicht auszuschließen, dass durch auditive Reize in Kombination mit Luftdruckveränderungen durchaus wechselseitige Einflüsse auf die kognitive Interpretation bestehen können. Dies wurde jedoch durch den Studienaufbau bewusst nicht erfasst, um eine potentielle Beeinflussung direkt auf die Veränderung der physischen Wahrnehmung zurückführen zu können.

### **5.3 Einfluss des Luftdrucks auf die Riechfunktion**

Durch Reduzierung des Luftdrucks reduzierte sich die durchschnittliche Punktzahl im Riechschwellentest von 8,92 (SD: 2,26) auf 8,20 (SD: 2,12). Dies bedeutet, dass die Riechschwelle selbst erhöht wurde. Dieses Ergebnis bestätigt auch die Erkenntnisse anderer Arbeiten. So entsprach die Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle für n-Butanol den Ergebnissen, wie sie Kuehn et al. (2008) und Burdack-Freitag et al. (2011) feststellten. Zu beachten ist, dass in dieser Studie die Geruchsschwelle nur von n-Butanol bestimmt wurde. Im Alltag setzen sich Gerüche häufig aus Kombinationen diverser Geruchsstoffe zusammen und es ist nicht auszuschließen, dass sich die Geruchsschwelle für andere Stoffe in unterschiedlichem Maße ändert. Burdack-Freitag et al. (2011) berichteten jedoch von einer Erhöhung der Geruchsschwelle für diverse Geruchsstoffe bei Reduzierung des Atmosphärendrucks.

Im Vergleich dazu fällt die Veränderung der SDI-Werte, des Diskriminationstest und des Identifikationstests durch Luftdruckabsenkung nicht signifikant aus. Für alle Bedingungen zeigten sich die SDI-Werte innerhalb der normativen Bereiche für die jeweilige Alters- und Geschlechtsgruppe, die von Hummel et al. (2007) definiert wurden. Da sich der SDI-Wert als Summe der Punktzahlen aus Diskriminations-, Identifikations- und Schwellentest ergibt, die jeweils nur zu einem Drittel in die Gesamtpunktzahl eingehen, fällt im Vergleich zur Verminderung der Punktzahlen im Schwellentest (8,75 %) die Absenkung des SDI-Wertes um 0,1 % gering aus.

In der in dieser Studie durchgeführten Messung hatte zwar eine Reduzierung des Atmosphärendrucks eine signifikante Erhöhung der Geruchsschwelle zur Folge, jedoch konnte keine Veränderung der Identifikations- oder Diskriminationsfähigkeit von Gerüchen festgestellt werden. Eine denkbare Erklärung hierfür ist, dass bei diesen beiden

Testverfahren die Geruchstoffkonzentrationen bei den eingestellten Druckverhältnissen vermutlich immer über den Riechschwellenwerten lagen. Die gleiche Überlegung wird auch von Kuehn et al. (2008) für seine Untersuchungen geäußert, da er beobachtete, dass bei seinen Ergebnissen kein Einfluss des Luftdrucks auf die überschwellige Geruchsunterscheidung festzustellen war.

#### **5.4 Einfluss des Luftdrucks auf die Schmeckfunktion**

Aus der Reduzierung des Atmosphärendrucks resultierte eine geringe, aber signifikante Reduzierung der Gesamtpunktzahl des Schmecktests von 11,13 (SD: 3,81) auf 10,31 (SD: 3,94). Bei Analyse der Punktwerte der einzelnen Geschmacksqualitäten stellte sich heraus, dass diese Reduzierung auf einer Verminderung der erreichten Punktzahl der Geschmacksqualität „Salzig“ von 2,75 (SD: 1,16) bei *Normal*-Bedingungen (Zeile 7, Spalte 3) auf 2,16 (SD:1,66) bei Unterdruckbedingungen (Zeile 7, Spalte 6), basierte. Die anderen Qualitäten (*Süß*, *Sauer* und *Bitter*) wurden nicht beeinflusst.

Da die einzelnen Geschmacksqualitäten jeweils in verschiedenen Konzentrationen präsentiert wurden, kann die durchgeführte Untersuchung auch als grober Schwellentest für die einzelnen Qualitäten interpretiert werden. Um dies hervorzuheben, wurden dem Schmecktest, der nach den Vorgaben von Landis et al. (2009) durchgeführt wurde, zwei weitere Papierstreifen ohne Geschmacksstoff hinzugefügt. Daher sind unsere resultierenden Punktwerte niedriger als die normativen Werte, die von Landis et al. (2009) definiert wurden. In Übereinstimmung mit Burdack-Freitag et al. (2011) waren die höheren Schmeckschwellen für salzhaltige Produkte ursächlich für die Reduzierung der Punktzahl des Schmecktests. Burdack-Freitag et al. (2011) berichtete darüber hinaus von erhöhten Schwellen für süße Geschmacksstoffe. Dies konnte jedoch an Hand der eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Die Schwellen für „Sauer“ und „Bitter“ sind nicht signifikant beeinflusst worden, was auch mit den Ergebnissen von Burdack-Freitag et al. (2011) übereinstimmt.

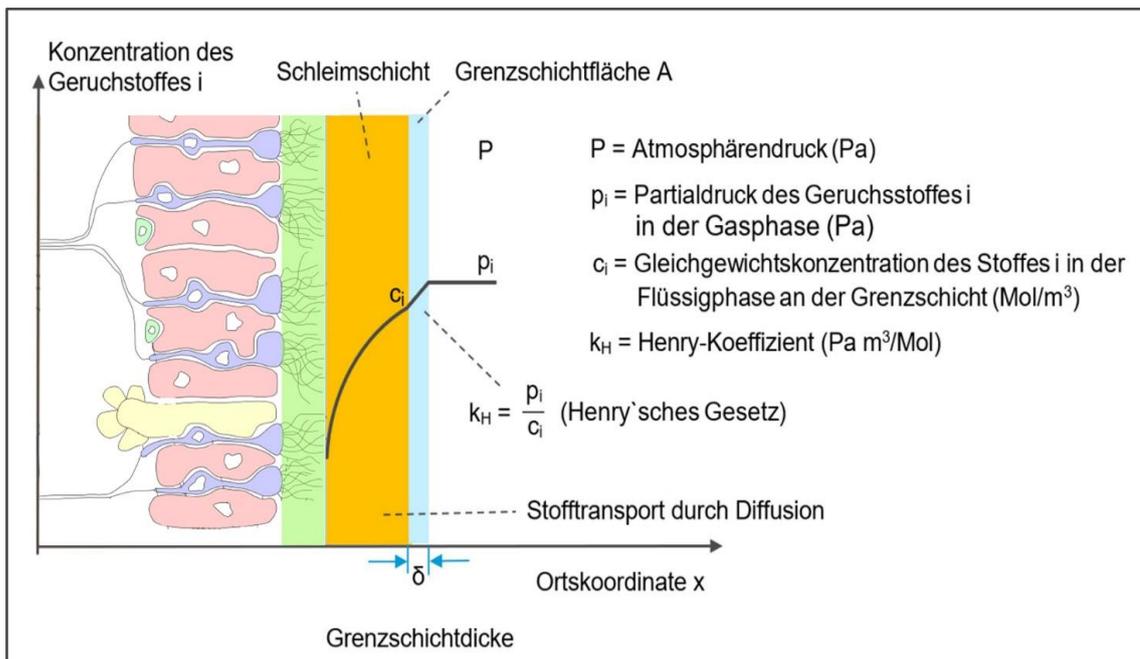
#### **5.5 Überlegungen zum Einfluss von Luftdruck und Geräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung**

Nach Darstellung und Einordnung der eigenen Ergebnisse in den gegenwärtigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse bleibt noch die Frage zu beantworten, welche Ursachen für die ermittelten Ergebnisse verantwortlich sein könnten. Für die Beantwortung

dieser Frage werden Überlegungen angestellt, die Hinweise auf mögliche Zusammenhänge geben, wobei eine eindeutige Beweisführung auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse nicht möglich ist.

### 5.5.1 Überlegungen zum Luftdruckeinfluss auf den Geruchssinn

Die Abhängigkeit der Geruchswahrnehmung vom Luftdruck lässt sich mit Hilfe des Filmmodells beschreiben, das in **Abbildung 18** schematisch dargestellt ist. Danach liegt bei einem Atmosphärendruck  $P$  eine Geruchsstoffkonzentration gemessen als Partialdruck  $p_i$ , in der Gasphase vor. An der Phasengrenzfläche  $A$  steht der Partialdruck  $p_i$  des Geruchstoffes mit der Konzentration  $c_i$  des Geruchstoffes  $i$  in der flüssigen Phase an der Grenzschicht im Gleichgewicht. Dieses Gleichgewicht kann mit dem Henry'schen Gesetz beschrieben werden. Anschließend muss der Geruchsstoff  $i$  durch die Schleimschicht zum Riechepithel diffundieren, wodurch die Konzentration des Stoffes  $i$  mit zunehmendem Diffusionsweg laufend abnimmt.



**Abbildung 18:** Filmmodell zum Transport des Geruchstoffes zum Riechepithel (Schema des Riechepithels (links) in Anlehnung an Sigler 2006)

Wird der Luftdruck  $P$  in der Raumluft vermindert, verringert sich auch der Partialdruck des Geruchstoffes  $i$  in der Gasphase. Die erneute Einstellung des Gleichgewichts an der Phasengrenzfläche bei konstantem Henry-Koeffizienten bewirkt eine Verminderung der Konzentration  $c_i$  des Geruchstoffes in der Flüssigphase. Als Folge gelangt nur eine

kleinere Geruchstoffmenge zum Riechepithel. Somit steigt die Riechwelle mit Absenkung des Luftdrucks. Die vollständige mathematische Herleitung des Zusammenhangs von Luftdruck und Geruchswahrnehmung ist in **Anhang 9.2** detailliert dargestellt.

Auch Burdack-Freitag et al. (2011) gehen bei ihrer Betrachtung von der Löslichkeit von Duftstoffen an dem Schleim-Wasser-Film des Riechepithels aus und erklären so den Zusammenhang von Luftdruck und Geruchswahrnehmung.

Der oben beschriebenen verminderten Löslichkeit an der Regio olfactoria durch Druckabsenkung steht jedoch eine vermehrte Geruchstofffreisetzung aus den Riechstiften entgegen. Auch diese kann mit Hilfe des Henry-Gesetzes erklärt werden, jedoch ist davon auszugehen, dass nur ein Teil der zusätzlich freigesetzten Riechstoffe in die Nase gelangen, während sich der übrige Teil in der Raumluft der Kammer verteilt. Aus diesem Grund ist anzunehmen, dass die verminderte Absorption an der Nasenschleimhaut einen stärkeren Einfluss auf die Geruchswahrnehmung hat als die vermehrte Freisetzung aus den Riechstiften.

Für die praktische Anwendung dieser Erkenntnis folgt hieraus, dass aus sicherheitstechnischen Aspekten die Installation von Rauchdetektoren in Flugzeugen eine noch höhere Relevanz besitzt, da eine Erkennung von Brandgeruch durch den Menschen höchstwahrscheinlich bei Druckabsenkung (Kabinendruck) oder plötzlich einsetzendem Druckverlust erschwert ist.

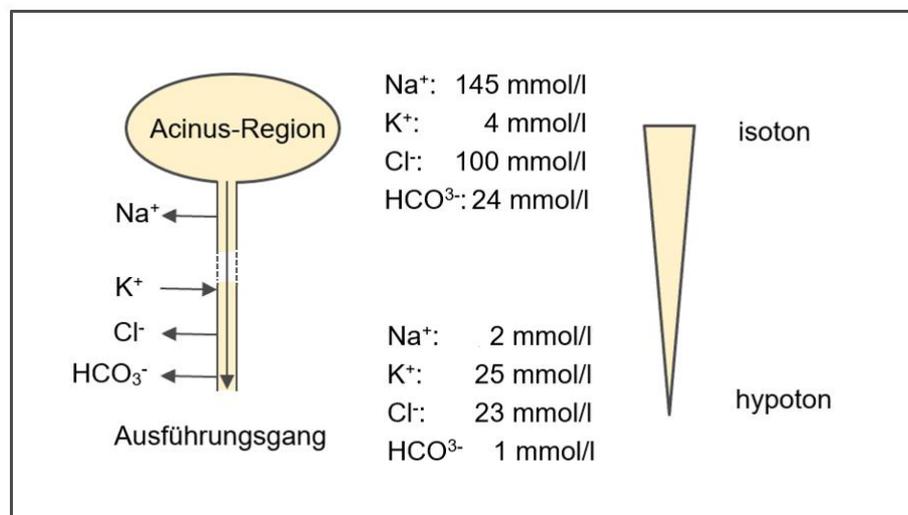
### **5.5.2 Überlegungen zum Luftdruckeinfluss auf den Geschmackssinn**

Im Gegensatz zu dem Geruchssinn kann die Erklärung des Einflusses von Luftdruckunterschieden auf den Geschmackssinn vermutlich nicht anhand der Löslichkeit des jeweiligen Stoffes erfolgen, da Geschmacksstoffe im Gegensatz zu Geruchsstoffen nicht zwangsläufig durch eine hohe Volatilität gekennzeichnet sind. Des Weiteren werden Geschmacksstoffe nicht als Gasgemisch auf die Zunge transportiert, sondern gelangen durch direkten Kontakt in den Speichel. Aus diesem Grund sind andere Ursachen für eine Beeinflussung des Geschmackssinns verstärkt in Betracht zu ziehen. Burdack-Freitag et al. (2011) vermuten, dass eine verminderte Sauerstoffsättigung im Blut in großer Höhe einen veränderten Säure-Base-Metabolismus, eine Hyperglykämie sowie einen veränderten Lipidstoffwechsel zur Folge haben, was wiederum Ursache für eine reduzierte Rezeptoraktivität sein könnte.

Für die eigenen Untersuchungen wurde die Sauerstoffkonzentration in der Luft nahezu konstant gehalten ( $20,8 \% \pm 0,2 \%$ ). Darüber hinaus wurde die Sauerstoffsättigung im Blut der Probanden für alle Versuchseinstellungen gemessen. Die durchschnittliche

Sauerstoffsättigung im Blut der Probanden lag bei 96.3% (SD: 1.8%) unter *Normal*-Bedingungen und bei 94.7% (SD: 2.2%) unter *Hypo*-Bedingungen. Darüber hinaus blieben während der Untersuchungen die Temperatur ( $20,5\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$ ) und die Luftfeuchtigkeit ( $44\% \pm 2\%$ ) unverändert. Die eigenen Ergebnisse zeigen, dass bei Absenkung des Luftdrucks eine geringe, aber signifikante Verminderung der Geschmackswahrnehmung eintritt, wobei auch eine wenngleich geringe Verminderung der durchschnittlichen Sauerstoffsättigung im Blut der Probanden feststellbar war. Ob hierdurch tatsächlich ein veränderter Säure-Base-Metabolismus, eine Hyperglykämie und ein veränderter Lipidstoffwechsel ausgelöst werden, konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen nicht geprüft werden.

Um sich der Frage zu nähern, weshalb insbesondere der Geschmacksstoff „Salzig“ bei verändertem Luftdruck anders wahrgenommen wird, erscheint es sinnvoll, die Zusammenhänge der Speichelproduktion näher zu betrachten, da der Speichel u.a. einen maßgeblichen Einfluss auf die Geschmackswahrnehmung (Edgar et al. 2004) hat. In den Acinuszellen wird der primäre Speichel produziert, der sich durch eine hohe Ionenkonzentration auszeichnet. Bis zum Ausführungsgang verringert sich jedoch die Konzentration an Natrium-, Chlorid- und Bikarbonat-Ionen erheblich, wobei die Kaliumkonzentration jedoch steigt (vgl. **Abbildung 19**).



**Abbildung 19:** Änderung der Ionen-Konzentrationen des unstimulierten Speichels auf dem Weg zum Ausführungsgang

Der insgesamt deutliche Salzzug ermöglicht es erst, schwache Salzkonzentrationen zu schmecken (Klimek 2014). Salzkonzentrationen, wie sie im primären Speichel auftreten, würden vermutlich dazu führen, dass der Geschmacksstoff „Salzig“ nicht mehr wahrgenommen werden kann.

Weil in den eigenen Untersuchungen ein Anstieg der Schmeckschwelle für „Salzig“ bei hypobaren Bedingungen festgestellt wurde, kann angenommen werden, dass sich möglicherweise die Salzkonzentration im Speichel erhöht hat. Die Ursache hierfür ist derzeit noch nicht systematisch erforscht worden. Denkbar ist eine Veränderung der Speichelzusammensetzung infolge von veränderten Stoffwechselprozessen ausgelöst durch eine Druckabsenkung in der Umgebung. Für diese Überlegung spricht, dass sich keine Veränderungen bei den Schmeckschwellen für die Stoffe „Bitter“ und „Süß“ eingestellt haben. Im Speichel sollten physiologisch weder Zucker noch bittere Stoffe vorhanden sein, so dass Veränderungen in der Speichelzusammensetzung diese Geschmacksstoffe nicht betreffen. Daher wurden die Schmeckschwellen für diese Stoffe aufgrund der Luftdruckabsenkung auch nicht verändert.

Darüber hinaus zeichnet sich der Speichel durch die folgenden drei Puffersysteme aus:

- Bikarbonat-Puffersystem ( $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ )
- Phosphat-Puffersystem ( $\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4$ )
- Proteinpuffer

In der Mundhöhle erfolgt die Neutralisation von Säuren überwiegend durch den Bikarbonatpuffer (Klimek 2014). Auf Grund dieser Puffersysteme werden Schwankungen in der  $\text{H}^+$ -Ionenkonzentration weitgehend ausgeglichen. Dies könnte ein Grund dafür sein, dass bei Verminderung des Luftdrucks keine Veränderungen der Schmeckschwelle für den Geschmacksstoff „Sauer“ eingetreten ist.

Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass eine denkbare Ursache für den Anstieg der Schmeckschwelle für „Salzig“ Folge eines Anstiegs der Ionenkonzentration im Speichel sein könnte. Dieser Anstieg ist möglicherweise auf eine Veränderung der Speichelproduktion zurück zu führen, die wiederum durch eine Druckabsenkung ausgelöst wird.

### **5.5.3 Überlegungen zu dem Einfluss von Störgeräuschen auf Geruchs- und Geschmackssinn**

Im Rahmen der eigenen Messungen konnte kein einheitlicher Einfluss von Störgeräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung festgestellt werden. Andere Autoren (Spence 2012; Zampini und Spence (2012) berichten hingegen davon, dass intermodale Effekte zwischen Hör- und Geschmackswahrnehmung existieren. So stellten Woods et al. (2011) fest, dass bei ihren Messungen Speisen bei Hintergrundgeräuschen als weniger salzig und weniger süß empfunden wurden. Burzynska et al. (2019) wiesen zudem nach, dass gewisse Weinsorten als aromatischer und intensiver beschrieben werden, wenn im Hintergrund ein niedrigfrequenter Ton gespielt wird.

Diese scheinbar entgegengesetzten Untersuchungsergebnisse müssen sich jedoch nicht widersprechen, wenn berücksichtigt wird, dass andere Autoren Speisen präsentiert haben, während für die eigenen Untersuchungen künstliche Stoffe in Form von Riechstiften und Schmeckteststreifen verwendet wurden. Es kann vermutet werden, dass bei Speisen neben den akustischen Signalen auch der visuelle Eindruck einen Einfluss hat auf die Geruchs- und Geschmacksempfindung hat.

Darüber hinaus wurde in den eigenen Untersuchungsergebnissen versucht, den Einfluss einer veränderten Interpretation auf die Geruchs- und Geschmacksempfindung zu vermindern. Im Gegensatz zu den bislang publizierten Untersuchungen, bei denen meist die Veränderung von Intensitäten im Fokus stand, wurde in den eigenen Untersuchungen vorwiegend getestet, ob ein Geruchs- oder Geschmacksstoff überhaupt wahrnehmbar war. In Folge dessen, sollten auch auf Grund der Fragestellung subjektive Einflüsse auf die Geruchs- und Geschmacksempfindung in den eigenen Ergebnissen geringer ausfallen.

Vor diesem Hintergrund kann vermutet werden, dass Einflüsse von Geräuschen auf die Geruchs- und Geschmacksempfindung auf kortikaler Ebene entstehen und stark von psychoakustischen Merkmalen des Klanges abhängig sind. Diese Erklärung wird auch von Velasco et al. (2014) vorgeschlagen.

Die Hypothese von Yan und Dando (2015), dass eine Verknüpfung von auditiven Reizen und der Geschmackswahrnehmung aus der mechanischen Stimulation der Chorda tympani resultiert, die direkt über das Trommelfell des Mittelohres fortgeleitet wird, kann nicht mit dieser Studie validiert werden. Die Erforschung dieser Hypothese könnte Ziel weiterer klinischer Studien sein.

## 5.6 Limitationen und Stärken der eigenen Studie

Wesentliche Stärken dieser Studie liegen in der Möglichkeit, auf Grund des Studiendesigns, das nicht auf der subjektiven Einschätzung des Probanden, sondern auf konkret gemessenen Punkt- und Schwellenwerten basiert, den Einfluss von psychisch-kognitiven Faktoren weitgehend auszuschließen und gemessene Einflüsse auf eine veränderte Wahrnehmung zurückzuführen.

Darüber hinaus konnten in dieser Studie Wechselwirkungen, die durch das Zusammenspiel der Faktoren Luftdruck und Störgeräusch entstehen könnten, auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung untersucht werden.

Zudem wurden die Umgebungsbedingungen, wie z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sauerstoffkonzentration konstant gehalten und Vitalparameter wie die Sauerstoffsättigung und die Pulsfrequenz überwacht, dies erfolgte deshalb, um parallel zu den Geruchs- und Schmecktests eine potentielle Beeinflussung der genannten Vitalparameter zu detektieren und Confounder abzuleiten.

Des Weiteren wurde die Riechfähigkeit der Probanden differenziert analysiert, um so unterschiedliche Effekte auf die Riechschwelle im Vergleich zu der Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit nachzuweisen. Hierbei ist zu bedenken, dass die Erhöhung der Riechschwelle bei vermindertem Luftdruck nur für n-Butanol nachgewiesen wurde. Andere Studien haben ähnliche Effekte für diverse andere Stoffe nachweisen können (Burdack-Freitag et al. 2011). Eine direkte Übertragung auf alle Geruchstoffe ist jedoch nicht möglich, wie das Beispiel  $H_2S$  (vgl. Abbildung 1) zeigt.

Durch das hohe Maß an Standardisierung, das durch die Verwendung der Sniffin` Sticks Testbatterie und definierte Konzentrationen auf den Schmeckteststreifen erreicht wurde, ist es möglich, von äußeren Faktoren weitgehend unabhängig zu sein. So wäre es bei der Darreichung von Mahlzeiten möglich, dass auf Grund der Zubereitung oder der Untersuchungsdauer die Zusammensetzung variiert.

Eine mögliche Fehlerquelle der Studie begründet sich in der schwer realisierbaren einfachen Verblindung. Die Probanden wurden nicht über die aktuellen Untersuchungsbedingungen informiert, jedoch war ein Luftdruckunterschied grundsätzlich wahrnehmbar. Die Identifizierung der Untersuchungsbedingung wurde allerdings dadurch erschwert, dass eine Anpassung des Luftdruckes auf die vorher festgelegten Bedingungen sowohl bei „Normal“ als auch bei „Hypo“ erfolgt ist.

Auf Seiten der Untersucher war eine Verblindung durch oftmalige Wiederholung der Versuchsbedingungen und der damit verbundenen Wiedererkennung nicht möglich, sodass ein Bestätigungsfehler (Confirmation Bias) nicht auszuschließen ist.

Zudem besteht bei den Probanden durch die mehrfache Wiederholung der Versuche ein Lerneffekt, der einen Einfluss auf die weiteren Untersuchungen hätte haben können. Dieser wurde jedoch durch Randomisierung der Versuchsreihenfolge ausgeglichen.

Es ist nicht möglich, an Hand dieser Studie festzustellen, ob durch Luftdruckunterschiede und Störgeräusche lineare oder exponentielle Veränderungen der Geruchs- und Geschmackswahrnehmung hervorgerufen werden, da lediglich zwei Messpunkte vorhanden sind.

Des Weiteren ist zu beachten, dass in der Studie ausschließlich gesunde, männliche Probanden zwischen 19 und 32 Jahren untersucht wurden. Eine sichere Aussage über andere Bevölkerungs- und Altersgruppen ist daher nicht möglich, jedoch kann zumindest für den Erklärungsversuch des Einflusses vom Luftdruck auf die Geruchswahrnehmung (Kapitel 5.5.1) eine Allgemeingültigkeit angenommen werden, da für die meisten Stoffe ein physikalisch begründbarer Zusammenhang besteht.

Schließlich konnten trotz des eingeschränkten Studienumfangs schon signifikante Untersuchungsergebnisse erzielt werden. Bei einer größeren Probandenzahl könnten Aussagen zu den Ergebnissen jedoch mit größerer Sicherheit getroffen werden.

## 6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräuschen auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung einzeln und gemeinsam zu untersuchen, um auf diese Weise den Kenntnisstand auf diesem Gebiet zu erweitern. Hierbei sollte durch geeignete Untersuchungsmethoden die subjektive Interpretation von Geruchs- und Geschmacksstoffen weitestgehend ausgeschlossen werden.

Wie die Auswertung zahlreicher Studien anderer Autoren (Velasco et al. 2014; Woods et al. 2011; Kuehn et al. 2008; Seo et al. 2012; Burdack-Freitag et al. 2011) gezeigt hat, ist es für die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse notwendig, zwischen physischer Wahrnehmung, kognitiver Interpretation und der eigentlichen Sinnesempfindung sowohl bei dem Geruchs- als auch beim Geschmackssinn zu unterscheiden. Gerüche und Geschmacksstoffe unterliegen nicht nur einer Wahrnehmungsschwelle, sondern in vielen Fällen auch einer individuellen Interpretation (Hangartner 1982; Frechen 1988). Vor diesem Hintergrund wurde zur Einordnung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse von folgenden Gleichung ausgegangen, die auf der Grundlage der Überlegungen von Hangartner (1982) basiert:

$$\text{Sinnesempfindung} = \text{physische Wahrnehmung} + \text{kognitive Interpretation}$$

Gerüche können bei gleicher Konzentration als unterschiedlich intensiv sowie angenehm oder belästigend empfunden werden. Ähnliches gilt auch für Geschmacksstoffe. So wurden in einigen Studien Bewertungsskalen benutzt (Yan und Dando 2015; Woods et al. 2011), die dazu dienen, die präsentierten Geruchs- und Geschmacksstoffe bezüglich ihrer Intensität in Abhängigkeit von Geräuschen einzuordnen. Im Rahmen der eigenen Arbeit wurde im Gegensatz hierzu überwiegend die prinzipielle Fähigkeit zur Wahrnehmung von Geruchs- und Geschmacksstoffen geprüft.

Hierzu wurden die Riechfunktion unter Verwendung standardisierter Identifikations-, Unterscheidungs- und Schwellensubtests der Testbatterie SDI 'Sniffin Sticks' eingesetzt (Hummel et al. 1997; Rumeau et al. 2016; Hummel et al. 2007). Die Untersuchungen erfolgten entsprechend dem Verfahren, das von Hummel et al. beschrieben wurde (Hummel et al. 1997). Bei den Identifikationstests wurden den Probanden Geruchstoffproben angeboten, die bekannten Gerüchen zugeordnet werden mussten. Die Unterscheidungstests erforderten es von den Probanden aus drei präsentierten Riechstiften denjenigen zu erkennen, der einen anderen Geruchstoff enthielt. Beim Schwellentest musste aus drei Stiften derjenige erkannt werden, der im Gegensatz zu den beiden anderen einen Geruchstoff enthielt.

Die gustatorische Wahrnehmung wurde mit Hilfe von Filterpapierstreifen gemessen, die mit den Geschmacksstoffen „Süß“ (Glucose), „Salzig“ (Natriumchlorid), „Sauer“ (Zitronensäure) und „Bitter“ (Chininhydrochlorid) mit jeweils 4 definierten Konzentrationen benetzt waren. Zudem wurden zwei Teststreifen ohne Geschmackstoff hinzugefügt.

Es wurde eine prospektive, randomisierte, einfachblinde Studie an 16 gesunden, männlichen Personen durchgeführt. Um Einflüsse auf Grund des Geschlechtes innerhalb der Probandengruppe auszuschließen, nahmen keine weiblichen Personen an der Studie teil. Die Probanden hatten ein Alter zwischen 19 und 32 Jahren. Die Messungen erfolgten in der Höhen-Klima-Simulations-Kammer des flugphysiologischen Trainingszentrums der Luftwaffe in Königsbrück. Es wurden pro Proband insgesamt vier Messreihen unter Veränderung der Variablen Luftdruck und Störgeräusch in randomisierter Reihenfolge durchgeführt.

Zur Erfassung des Einflusses von Störgeräuschen auf den Geruchs- und Geschmacksinn wurden die Probanden einem kontinuierlichen weißen Rauschen ausgesetzt. Hierbei wurden die Probanden durch Ohrstöpsel und over-ear Gehörschützer vor Umgebungsgeräuschen abgeschirmt.

Als hypobare Versuchsbedingung wurde analog zum Innendruck einer kommerziellen Flugzeugkabine ein Luftdruck von 800 mbar festgelegt. Dies entspricht dem Luftdruck in einer Höhe von 1.944 m ü.NN.. Als normobare Kontrollbedingung wurde ein Luftdruck entsprechend einer Höhe von 530 m ü.NN. von 950 mbar erzeugt.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch zweiseitige Varianzanalysen mit Messwiederholung (rmANOVAs). Anschließend wurden paarweise Vergleiche aller Einzelergebnisse durchgeführt.

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Studie kurz zusammengefasst:

1. Bezüglich des Einflusses eines Störgeräusches wurde festgestellt, dass in lauter Umgebung der Geschmacksstoff „Sauer“ seltener als bei „Stille“-Bedingungen und der Geschmacksstoff „Süß“ häufiger identifiziert wurde. Bei dem sauren Stoff entspricht dies einer Abnahme von 16,67%, bei dem Stoff „Süß“ einer Zunahme von 12,5 %. Keine signifikante Beeinflussung ergab sich für die Geschmacksqualitäten „Bitter“ und „Salzig“. Daher veränderte sich auch die Gesamtpunktzahl des Schmecktest in lauter Umgebung nicht nachweislich.
2. Weder der SDI-Wert als Ausdruck der Gesamtriechfähigkeit, noch die Identifikations- und Diskriminationsfähigkeit sowie die Riechschwelle der Probanden ist durch das Störgeräusch signifikant beeinflusst worden.

3. Es wurden weder für die Geruchs- noch für die Geschmackswahrnehmung signifikante Wechselwirkungen durch gemeinsamen Einfluss von Luftdruckverminderung und der Präsentation des Störgeräusches gemessen.
4. Die mittlere Punktzahl des Riechschwellentests verminderte sich durch Reduzierung des Luftdrucks um 8,75 %.
5. Keine Beeinflussung durch Veränderung des Luftdrucks ergab sich für die mittleren SDI-Werte sowie die Punktwerte für die Identifikations- und Diskriminationstests.
6. Die durchschnittliche Gesamtpunktzahl des Schmecktests unter *Normal*-Bedingungen wurde durch Reduzierung des Atmosphärendrucks signifikant um 7,37 % vermindert.
7. Bei Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Geschmacksqualitäten zeigte sich, dass eine Beeinflussung durch den Luftdruck nur für den Geschmacksstoff „Salzig“ nachzuweisen war. Hierbei verminderte sich die durchschnittlich erreichte Punktzahl um 21,44 %.

Ein direkter Vergleich der Studienergebnisse mit denen anderer Autoren ist nur dort uneingeschränkt möglich, wo die Randbedingungen der Versuchsbedingungen annähernd identisch waren. Übereinstimmungen ergaben sich vor allem mit den Ergebnissen von Burdack-Freitag et al. (2011) und Kuehn et al. (2008). Auch deren Ergebnisse zeigten, dass eine Verringerung des Luftdrucks zu einer Anhebung der Riechschwelle von zahlreichen Stoffen führt, während die Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit unverändert bleiben.

Bei Untersuchung des Einflusses von Luftdruckunterschieden auf die Schmeckfunktion konnte festgestellt werden, dass in den hypobaren Bedingungen die Schmeckwahrnehmung gering reduziert war. Ursächlich hierfür war eine Zunahme der Schwelle für den salzigen Geschmacksstoff. Auch diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen von Burdack-Freitag et al. (2011). Jedoch wurde im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Autoren die Schwelle für den süßen Geschmacksstoff in den eigenen Messergebnissen nicht erhöht. Einen Hinweis zur Erklärung der eigenen Untersuchungsergebnisse gibt die Zusammensetzung des Speichels, der für die Geschmackswahrnehmung eine große Rolle spielt. Erhöht sich die Salzkonzentration im Speichel, werden salzige Geschmacksstoffe erschwert wahrgenommen (Klimek 2014). Veränderungen der Konzentration von sauren Stoffen werden durch die Puffersysteme im Mund ausgeglichen, so dass in Übereinstimmung mit den eigenen Messergebnissen keine Änderung der Geschmackswahrnehmung eingetreten ist. Da süße und bittere Stoffe physiologisch nicht im Speichel vorhanden sind, sollte eine Veränderung der Speichelzusammensetzung

keinen Einfluss auf die Wahrnehmung dieser Stoffe haben. Allerdings konnte keine Erklärung entwickelt werden, in wie weit Luftdruckänderung die Speichelzusammensetzung beeinflusst. Dies könnte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

Für dein Einfluss von Geräuschen auf die Geruchswahrnehmung konnte in Übereinstimmung mit Seo et al. (2012) kein einheitlicher Effekt bei den eigenen Untersuchungen detektiert werden.

Darüber hinaus wurde in den eigenen Untersuchungen festgestellt, dass die Fähigkeit, süße Stoffe zu schmecken, erhöht und die Wahrnehmung saurer Stoffe vermindert wurde. Eine eindeutig begründbare Abhängigkeit konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Es kann vermutet werden, dass psychisch-kognitiven Einflüssen eine entscheidende Rolle bei der Geruchs- und Geschmacksempfindung im Zusammenspiel mit Geräuschen zukommt. Insbesondere die Tatsache, dass unterschiedliche Qualitäten unterschiedlichen Einflüssen zu unterliegen scheinen, zeigt die hohe Komplexität des Geschmackssinns. Eine genaue Untersuchung der äußeren Einflüsse auf die Sinneszellen selbst sollte Gegenstand weiterer Forschungen sein.

Der nachgewiesene Einfluss von Luftdruckunterschieden auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung war in dieser Studie gering. Er wäre bei erhöhten Druckunterschieden jedoch vermutlich größer und somit für Piloten, Passagiere, Bergsteiger oder Arbeiter unter hypobaren Bedingungen relevant. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass es durch Verminderung des Luftdrucks zu einer Erhöhung der Riechschwelle kam. Dies weist darauf hin, dass es in großer Höhe erschwert sein kann, Gerüche, die auf Gefahren hinweisen, wahrzunehmen. Dies sollte für sicherheitstechnische Aspekte bedacht werden. Für Reisende in Flugzeugen können andere Effekte wie Feuchtigkeit, Temperatur, Stress oder Beleuchtung für die veränderte Wahrnehmung von Aromen entscheidender sein als das Umgebungsgeräusch.

## 7 Literaturverzeichnis

Anderson AK, Christoff K, Stappen I, Panitz D, Ghahremani DG, Glover G, Gabrieli JDE, Sobel N (2003) Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature neuroscience* 6:196–202. doi:10.1038/nn1001

Araneda RC, Kini AD, Firestein S (2000) The molecular receptive range of an odorant receptor. *Nature neuroscience* 3:1248–1255. doi:10.1038/81774

Ayabe-Kanamura, S. (1997) Measurement of olfactory evoked magnetic fields by a 64-channel whole-head SQUID system. *Chemical Senses*:214–215

Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R (2016) *Multivariate Analysemethoden*. Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer Gabler, Berlin, Heidelberg

Bayrisches Landesamt für Umwelt (2015) *Gerüche und Geruchsbelästigungen*. UmweltWissen - Schadstoffe

Behrens M, Meyerhof W (2006) Bitter taste receptors and human bitter taste perception. *Cellular and molecular life sciences : CMLS* 63:1501–1509. doi:10.1007/s00018-006-6113-8

Bert P (1878) *La pression barométrique: Recherches de physiologie expérimentale*. G. Masson, Paris

Boenninghaus H-G, Lenarz T (2007) *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*. Springer Medizin Verlag Heidelberg, Berlin, Heidelberg

Bortz J (1999) *Statistik; Für Sozialwissenschaftler*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l.

Briner HR, Simmen D (1999) Smell diskettes as screening test of olfaction. *Rhinology* 37:145–148

Burdack-Freitag A, Bullinger D, Mayer F, Breuer K (2011) Odor and taste perception at normal and low atmospheric pressure in a simulated aircraft cabin. *J. Verbr. Lebensm.* 6:95–109. doi:10.1007/s00003-010-0630-y

Burzynska J, Wang QJ, Spence C, Bastian SEP (2019) Taste the Bass: Low Frequencies Increase the Perception of Body and Aromatic Intensity in Red Wine. *Multisensory research* 32:429–454. doi:10.1163/22134808-20191406

Bushdid C, Magnasco MO, Vosshall LB, Keller A (2014) Humans can discriminate more than 1 trillion olfactory stimuli. *Science (New York, N.Y.)* 343:1370–1372. doi:10.1126/science.1249168

Cain WS, Gent JF, Goodspeed RB, Leonard G (1988) Evaluation of olfactory dysfunction in the Connecticut Chemosensory Clinical Research Center. *The Laryngoscope* 98:83–88. doi:10.1288/00005537-198801000-00017

Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJP, Zuker CS (2006) The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 444:288–294. doi:10.1038/nature05401

Chéruef 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* 15:15. doi:10.1186/s12971-017-0120-4

Doty RL, Shaman P, Dann M (1984) Development of the university of pennsylvania smell identification test: A standardized microencapsulated test of olfactory function. *Physiology & Behavior* 32:489–502. doi:10.1016/0031-9384(84)90269-5

Edgar M, Dawes C, O'Mullane DM (2004) *Saliva and oral health*. British Dental Association, London

Epstein JB, Andrade E Silva SM de, Epstein GL, Leal JHS, Barasch A, Smutzer G (2019) Taste disorders following cancer treatment: report of a case series. *Supportive care in cancer : official journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*. doi:10.1007/s00520-019-04758-5

Fleisch A (1944) *Klimaphysiologische Untersuchungen in der Schweiz Teil I*. Benno Schwabe & Co, Basel

Frechen F-B (1988) Geruchsemissionen aus Kläranlagen. Dissertation, Aachen

Hackländer RPM, Janssen SMJ, Bermeitinger C (2019) An in-depth review of the methods, findings, and theories associated with odor-evoked autobiographical memory. *Psychonomic bulletin & review* 26:401–429. doi:10.3758/s13423-018-1545-3

Hangartner M (1982) Bestimmung und lufthygienische Bedeutung von Gerüchen. *Verband Schweizerischer Abwasserfachleute -Verbandsbericht*

Hatt H (1996) Molekulare Grundlagen des Riechens. *Rubin Wissenschaftsmagazin*:33–37

Havlicek J, Roberts SC (2009) MHC-correlated mate choice in humans: a review. *Psychoneuroendocrinology* 34:497–512. doi:10.1016/j.psyneuen.2008.10.007

Hecht D, Reiner M (2009) Sensory dominance in combinations of audio, visual and haptic stimuli. *Experimental brain research* 193:307–314. doi:10.1007/s00221-008-1626-z

Herz RS, McCall C, Cahill L (1999) Hemispheric lateralization in the processing of odor pleasantness versus odor names. *Chemical Senses* 24:691–695. doi:10.1093/chemse/24.6.691

Ho W-k, Kwong DLW, Wei WI, Sham JST (2002) Change in olfaction after radiotherapy for nasopharyngeal cancer--a prospective study. *American journal of otolaryngology* 23:209–214

Hummel T, Sekinger B, Wolf SR, Pauli E, Kobal G (1997) 'Sniffin' sticks': olfactory performance assessed by the combined testing of odor identification, odor discrimination and olfactory threshold. *Chemical Senses* 22:39–52. doi:10.1093/chemse/22.1.39

Hummel T, Konnerth CG, Rosenheim K, Kobal G (2001) Screening of olfactory function with a four-minute odor identification test: reliability, normative data, and investigations in patients with olfactory loss. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology* 110:976–981. doi:10.1177/000348940111001015

Hummel T, Mojet J, Kobal G (2006) Electro-olfactograms are present when odorous stimuli have not been perceived. *Neuroscience letters* 397:224–228.

doi:10.1016/j.neulet.2005.12.048

Hummel T, Kobal G, Gudziol H, Mackay-Sim A (2007) Normative data for the "Sniffin' Sticks" including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*

264:237–243. doi:10.1007/s00405-006-0173-0

Huppertz T, Freiherr J, Olzowy B, Kissler 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* 45:747–752. doi:10.1016/j.anl.2017.11.001

Jacob S, McClintock MK, Zelano B, Ober C (2002) Paternally inherited HLA alleles are associated with women's choice of male odor. *Nature genetics* 30:175–179.

doi:10.1038/ng830

Kareken DA, Sabri M, Radnovich AJ, Claus E, Foresman B, Hector D, Hutchins GD (2004) Olfactory system activation from sniffing: effects in piriform and orbitofrontal cortex. *NeuroImage* 22:

456–465. doi:10.1016/j.neuroimage.2004.01.008

Karlson P, Luscher M (1959) Pheromones: a new term for a class of biologically active substances. *Nature* 183:55–56. doi:10.1038/183055a0

Klimek J (2014) *Speichel & Mundgesundheit; Ein Skript für Studenten zur Examenvorbereitung*. Justus-Liebig-Universität Gießen.

[http://fachschaft-zahnmedizin.de/wp-content/uploads/2012/10/Stu-Dent\\_Skript\\_Okt\\_2014-Speichel\\_Mundgesundheit.pdf](http://fachschaft-zahnmedizin.de/wp-content/uploads/2012/10/Stu-Dent_Skript_Okt_2014-Speichel_Mundgesundheit.pdf)

Knecht M, Kühnau D, Hüttenbrink KB, Witt M, Hummel T (2001) Frequency and localization of the putative vomeronasal organ in humans in relation to age and gender. *The Laryngoscope* 111:448–452. doi:10.1097/00005537-200103000-00013

Knecht M, Lundström JN, Witt M, Hüttenbrink K-B, Heilmann S, Hummel T (2003) Assessment of olfactory function and androstenone odor thresholds in humans with or without functional occlusion of the vomeronasal duct. *Behavioral neuroscience* 117:1135–1141. doi:10.1037/0735-7044.117.6.1135

Kobal G (1981) *Elektrophysiologische Untersuchungen des menschlichen Geruchsinns*. Thieme, Stuttgart

Kobal G, Hummel T, Sekinger B, Barz S, Roscher S, Wolf S (1996) "Sniffin' sticks": screening of olfactory performance. *Rhinology* 34:222–226

Kobal G, Klimek L, Wolfensberger M, Gudziol H, Temmel A, Owen CM, Seeber H, Pauli E, Hummel T (2000) Multicenter investigation of 1,036 subjects using a standardized method for the assessment of olfactory function combining tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 257:205–211

Kuehn M, Welsch H, Zahnert T, Hummel T (2008) Changes of pressure and humidity affect olfactory function. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 265:299–302. doi:10.1007/s00405-007-0446-2

Landis BN, Hummel T, Hugentobler M, Giger R, Lacroix JS (2003) Ratings of overall olfactory function. *Chemical Senses* 28:691–694. doi:10.1093/chemse/bjg061

Landis BN, Welge-Luessen A, Brämerson A, Bende M, Mueller CA, Nordin S, Hummel T (2009) "Taste Strips" - a rapid, lateralized, gustatory bedside identification test based on impregnated filter papers. *Journal of neurology* 256:242–248. doi:10.1007/s00415-009-0088-y

Laugerette F, Passilly-Degrace P, Patris B, Niot I, Febbraio M, Montmayeur J-P, Besnard P (2005) CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference, and digestive secretions. *The Journal of clinical investigation* 115:3177–3184. doi:10.1172/JCI25299

Leopold DA, Hummel T, Schwob JE, Hong SC, Knecht M, Kobal G (2000) Anterior distribution of human olfactory epithelium. *The Laryngoscope* 110:417–421.

doi:10.1097/00005537-200003000-00016

MarianSigler (2006) Aufbau der Riechschleimhaut; [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1b/Riechschleimhaut.svg>

Meredith M (2001) Human vomeronasal organ function: a critical review of best and worst cases. *Chemical Senses* 26:433–445. doi:10.1093/chemse/26.4.433

Monti-Bloch L, Grosser BI (1991) Effect of putative pheromones on the electrical activity of the human vomeronasal organ and olfactory epithelium. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology* 39:573–582. doi:10.1016/0960-0760(91)90255-4

Mouillot T, Szleper E, Vagne G, Barthet S, Litime D, Brindisi M-C, Leloup C, Penicaud L, Nicklaus S, Brondel L, Jacquin-Piques A (2019) Cerebral gustatory activation in response to free fatty acids using gustatory evoked potentials in humans. *Journal of lipid research* 60:661–670. doi:10.1194/jlr.M086587

Mueller C, Kallert S, Renner B, Stiassny K, Temmel AFP, Hummel T, Kobal G (2003) Quantitative assessment of gustatory function in a clinical context using impregnated "taste strips". *Rhinology* 41:2–6

NEUROtiker (2008) Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe; [CC BY-SA 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Geschmacksknospe.svg>. Zugegriffen: 18. Oktober 2019

Ohla K, Toepel U, Le Coutre J, Hudry J (2012) Visual-gustatory interaction: orbitofrontal and insular cortices mediate the effect of high-calorie visual food cues on taste pleasantness. *PLoS one* 7:e32434. doi:10.1371/journal.pone.0032434

Ottoson D (1955) Analysis of the electrical activity of the olfactory epithelium. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum* 35:1–83

Pavlidis P, Gouveris H, Kekes G (2017) Electrogustometry Thresholds, Tongue Tip Vascularization, Density, and Form of the Fungiform Papillae Following Smoking Cessation. *Chemical Senses* 42:419–423. doi:10.1093/chemse/bjx009

Penn DJ, Damjanovich K, Potts WK (2002) MHC heterozygosity confers a selective advantage against multiple-strain infections. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99:11260–11264. doi:10.1073/pnas.162006499

Picton TW (1988) The Endogenous Evoked Potentials. In: Başar E, Freeman WJ, Heiss W-D, Lehmann D, Lopes da Silva FH, Speckmann D (Hrsg) *Dynamics of Sensory and Cognitive Processing by the Brain*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, S 258–265

Porter RH, Cernoch JM, McLaughlin FJ (1983) Maternal recognition of neonates through olfactory cues. *Physiology & Behavior* 30:151–154. doi:10.1016/0031-9384(83)90051-3

Rahne T, Köppke R, Nehring M, Plontke SK, Fischer H-G (2018) Does ambient noise or hypobaric atmosphere influence olfactory and gustatory function? *PloS one* 13:e0190837. doi:10.1371/journal.pone.0190837

Ribeiro JC, Chaves M, Chaves C, Lemos L, Silva ED, Paiva A, Hummel T (2016) Cross-cultural validation of a taste test with paper strips. *European archives of otorhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 273: 3407–3411. doi:10.1007/s00405-016-4037-y

Rotard W (2002) *Geruchsstoffe : Immissionserfassung und Bewertung; Wassersymposium Geruch und Korrosion in Entwässerungsnetzen*. Fachhochschule Lausitz

Rumeau C, Nguyen DT, Jankowski R (2016) How to assess olfactory performance with the Sniffin' Sticks test®. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases* 133:203–206. doi:10.1016/j.anorl.2015.08.004

Russell MJ (1976) Human olfactory communication. *Nature* 260:520–522. doi:10.1038/260520a0

Salkind NJ (2010) Encyclopedia of research design. SAGE, London

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K (2012) Kopf, Hals und Neuroanatomie; 123 Tabellen. Thieme, Stuttgart

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* 222:89–97. doi:10.1007/s00221-012-3222-5

Small DM, Jones-Gotman M, Dagher A (2003) Feeding-induced dopamine release in dorsal striatum correlates with meal pleasantness ratings in healthy human volunteers. *NeuroImage* 19:1709–1715

Soldatova L, Doty RL (2018) Post-tonsillectomy taste dysfunction: Myth or reality? *World journal of otorhinolaryngology - head and neck surgery* 4:77–83. doi:10.1016/j.wjorl.2018.02.008

Spence C (2012) Auditory contributions to flavour perception and feeding behaviour. *Physiology & Behavior* 107:505–515. doi:10.1016/j.physbeh.2012.04.022

Spence C (2015) Multisensory flavor perception. *Cell* 161:24–35. doi:10.1016/j.cell.2015.03.007

Spence C, Reinoso-Carvalho F, Velasco C, Wang QJ (2019) Extrinsic Auditory Contributions to Food Perception & Consumer Behaviour: an Interdisciplinary Review. *Multisensory research* 32:275–318. doi:10.1163/22134808-20191403

Stewart JE, Feinle-Bisset C, Golding M, Delahunty C, Clifton PM, Keast RSJ (2010) Oral sensitivity to fatty acids, food consumption and BMI in human subjects. *The British journal of nutrition* 104:145–152. doi:10.1017/S0007114510000267

Temmel AFP, Quint C, Schickinger-Fischer B, Klimek L, Stoller E, Hummel T (2002) Characteristics of olfactory disorders in relation to major causes of olfactory loss. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery* 128:635–641. doi:10.1001/archotol.128.6.635

- Tomita H, Ikeda M (2002) Clinical use of electrogustometry: strengths and limitations. *Acta oto-laryngologica. Supplementum*:27–38
- Uchida N, Takahashi YK, Tanifuji M, Mori K (2000) Odor maps in the mammalian olfactory bulb: domain organization and odorant structural features. *Nature neuroscience* 3: 1035–1043. doi:10.1038/79857
- VDI 3884 Blatt 1 (2015) Olfaktometrie - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie -
- 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: 1352. doi:10.3389/fpsyg.2014.01352
- Wallace MT (2015) Multisensory Perception: The Building of Flavor Representations. *Current biology* : CB 25:R986-8. doi:10.1016/j.cub.2015.09.009
- Westerterp-Plantenga MS, Westerterp KR, Rubbens M, Verwegen CR, Richelet JP, Gardette B (1999) Appetite at "high altitude" Operation Everest III (Comex-'97): a simulated ascent of Mount Everest. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 87: 391–399. doi:10.1152/jappl.1999.87.1.391
- Witt M, Georgiewa B, Knecht M, Hummel T (2002) On the chemosensory nature of the vomeronasal epithelium in adult humans. *Histochemistry and cell biology* 117:493–509. doi:10.1007/s00418-002-0407-1
- Woods AT, Poliakoff E, Lloyd DM, Kuenzel J, Hodson R, Gonda H, Batchelor J, Dijksterhuis GB, Thomas A (2011) Effect of background noise on food perception. *Food Quality and Preference* 22:42–47. doi:10.1016/j.foodqual.2010.07.003
- World Medical Association Declaration of Helsinki (2013): Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* 310:2191–2194. doi:10.1001/jama.2013.281053
- Yan KS, Dando R (2015) A crossmodal role for audition in taste perception. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 41:590–596. doi:10.1037/xhp0000044

Yousem DM, Maldjian JA, Siddiqi F, Hummel T, Alsop DC, Geckle RJ, Bilker WB, Doty RL (1999a) Gender effects on odor-stimulated functional magnetic resonance imaging. *Brain Research* 818:480–487. doi:10.1016/s0006-8993(98)01276-1

Yousem DM, Maldjian JA, Hummel T, Alsop DC, Geckle RJ, Kraut MA, Doty RL (1999b) The effect of age on odor-stimulated functional MR imaging. *AJNR. American journal of neuroradiology* 20:600–608

Zampini M, Spence C (2010) Assessing the Role of Sound in the Perception of Food and Drink. *Chem. Percept.* 3:57–67. doi:10.1007/s12078-010-9064-2

Zampini M, Spence C (2012) *The Neural Bases of Multisensory Processes; Assessing the Role of Visual and Auditory Cues in Multisensory Perception of Flavor*, Boca Raton (FL)

Zhao H, Ivic L, Otaki JM, Hashimoto M, Mikoshiba K, Firestein S (1998) Functional expression of a mammalian odorant receptor. *Science (New York, N.Y.)* 279:237–242. doi:10.1126/science.279.5348.237

## 8 Thesen

1. Einflüsse von Geräuschen auf die Geruchs- und Geschmackswahrnehmung entstehen eher durch psychisch-kognitive Prozesse als durch eine veränderte Wahrnehmung an den Rezeptoren.
2. Aus einer Verminderung des Luftdrucks resultiert eine Erhöhung der Wahrnehmungsschwelle für n-Butanol.
3. Die Diskriminations- und Identifikationsfähigkeit bleiben bei Reduzierung des Luftdrucks weitestgehend unbeeinflusst.
4. Durch Reduzierung des Atmosphärendrucks wird die Fähigkeit, Geschmacksstoffe wahrzunehmen, vermindert.
5. Eine Verminderung des Luftdrucks beeinflusst die Wahrnehmungsschwellen verschiedener Geschmacksqualitäten unterschiedlich stark. Während
6. Störgeräusche und Luftdruckveränderungen beeinflussen sich in ihrer Wirkung auf die physische Wahrnehmung von Geruch- und Geschmacksstoffen nicht gegenseitig.

## 9 Anlagen

### 9.1 Prinzip der rmANOVA

Zum besseren Verständnis und der korrekten Interpretation der Messergebnisse ist es notwendig nachzuvollziehen, was eine rmANOVA berechnet und welche Aussagekraft das Ergebnis besitzt. Zu diesem Zweck wird im Folgenden eine kurze zusammenfassende Herleitung zur Funktionsweise der rmANOVA vorgestellt. Diese Herleitung basiert auf den Erläuterungen von Backhaus et al. (2016) aus *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (1996, 8. Auflage, Kapitel 2.2), sowie Bortz (1999) *Statistik für Sozialwissenschaftler*.

Die Darstellung und Interpretation von rmANOVAs beruht auf einem F-Wert sowie einem hiermit korrelierten p-Wert. Der F-Wert bezeichnet dabei einen Quotienten aus der Varianz der Messwerte, die durch Veränderung der unabhängigen Variablen entsteht ( $\sigma_{uv}^2$ ) und der Fehlervarianz ( $\sigma_{res}^2$ ), welche aus nicht geklärten Schwankungen resultiert. F ist hierbei definiert als:

$$(1) \quad F = \frac{\sigma_{uv}^2}{\sigma_{res}^2} = \frac{\frac{SS_{uv}}{df_{uv}}}{\frac{SS_{res}}{df_{res}}}$$

mit:

$SS_{uv}$	=	Quadratsumme (sum of squares) der unabhängigen Variablen
$SS_{res}$	=	Quadratsumme (sum of squares) der Fehler aus nicht geklärten Schwankungen
df	=	Freiheitsgrad (degree of freedom)

Hierbei stellen  $SS_{uv}$  und  $SS_{res}$  Maße für die verschiedenen Streuungen dar, die die Messergebnisse beeinflussen. Zum besseren Verständnis dient die Betrachtung der Faktoren, die einen Einfluss auf die Verteilung der Messpunkte haben (2). Die Gesamtstreuung aller Messreihen ( $SS_{total}$ ) errechnet sich, indem die Differenz zwischen jedem Messwert ( $y$ ) und dem Gesamtmittelwert aller Messungen ( $\bar{y}$ ) quadriert und über die Anzahl der Messreihen und der Zahl der Probanden aufsummiert wird.

$$(2) \quad SS_{\text{total}} = \sum_k^K \sum_g^G (y_{kg} - \bar{y})^2$$

mit:

$SS_{\text{total}}$  = Streuungen aller Messreihen

$k$  = Laufindex der Probanden bis  $K$  (Probandenanzahl)

$g$  = Laufindex der Faktorstufen bis  $G$  (Anzahl der Messreihen)

$y_{kg}$  = Messergebnis eines Probanden  $k$  in der Messreihe  $g$

$\bar{y}$  = Gesamtmittelwert aller Messergebnisse

Die Gesamtstreuung  $SS_{\text{total}}$  kann zerlegt werden in die Streuung, die zwischen den Probanden innerhalb der einzelnen Messreihen existiert ( $SS_{\text{between}}$ ) und die Streuung, die sich innerhalb der Ergebnisse jedes einzelnen Probanden über die Anzahl der Messreihen ergibt ( $SS_{\text{in}}$ ).

$$(3) \quad SS_{\text{total}} = SS_{\text{between}} + SS_{\text{in}}$$

$SS_{\text{between}}$  ergibt sich hierbei aus Gleichung 4: Die Differenz aus den Mittelwerten jeder einzelnen Person  $y$  und dem Gesamtmittelwert  $\bar{y}$  wird quadriert, mit der Anzahl der Faktorstufen multipliziert und anschließend über alle Probanden aufsummiert.

$$(4) \quad SS_{\text{between}} = \sum_k^K G (\bar{y}_k - \bar{y})^2$$

mit:

$\bar{y}_k$  = Mittelwert aller Messpunkte eines Probanden mit dem Laufindex  $k$

Die Streuung  $SS_{\text{in}}$ , die von einem einzelnen Probanden durch die unterschiedlichen Faktorstufen erzeugt wird, ist bedingt durch den Einfluss der unabhängigen Variablen ( $SS_{\text{uv}}$ ) und durch die Zufällige- bzw. Fehlerstreuung. Da der Ursprung dieser Streuung nicht aufgeklärt werden kann, wird sie in der Statistik häufig als Residualstreuung bezeichnet ( $SS_{\text{res}}$ )

$$(5) \quad SS_{\text{in}} = SS_{\text{uv}} + SS_{\text{res}}$$

$SS_{\text{uv}}$  berechnet sich hierbei als die Quadratsumme der Differenz zwischen dem Mittelwert einer Faktorstufe und dem Gesamtmittelwert aller Messungen, multipliziert mit der Anzahl der Probanden (6).

$$(6) \quad SS_{uv} = \sum_g^K (\bar{y}_g - \bar{y})^2$$

mit:

$\bar{y}_g =$  Mittelwert aller Messpunkte einer Faktorstufe mit dem Laufindex  $g$

Wird Gleichung 5 in Gleichung 3 eingesetzt und nach  $SS_{res}$  aufgelöst ergibt sich (7):

$$(7) \quad SS_{res} = SS_{total} - SS_{uv} - SS_{between}$$

Somit fehlen zur Errechnung des F-Wertes lediglich die in Gleichung 1 benannten Freiheitsgrade. Diese sind wie folgt definiert:

$$(8) \quad df_{uv} = G - 1$$

$$(9) \quad df_{res} = (K - 1)(G - 1)$$

Mit Hilfe des nun dargelegten Rechenweges ist es möglich, den F-Wert zu errechnen. Bei erneuter Betrachtung von Gleichung 1 wird nun ersichtlich, dass der F-Wert größer wird, je höher die durch die unabhängigen Variablen bedingte Abweichung vom Gesamtmittelwert ist. Eine starke Beeinflussung der Riech- oder Schmeckfähigkeit durch Luftdruckunterschiede oder Geräusche würde somit in einem hohen F-Wert resultieren. Eine Erhöhung der ungeklärten Streuung führt hingegen zu einer Verringerung des F-Wertes.

Für eine Aussage zu der statistischen Signifikanz eines ermittelten Einflusses reicht der F-Wert alleine jedoch nicht aus. Hierzu wird der gemessene F-Wert mit theoretischen F-Verteilungen verglichen. Diese existieren für jede Kombination von Freiheitsgraden. Mit Hilfe der Lage des ermittelten F-Wertes auf der zugehörigen F-Verteilungskurve lässt sich die Größe des alpha-Fehlers ( $p$ ) als Fläche unter der Kurve ermitteln. Je größer der F-Wert für eine Kombination von Freiheitsgraden ist, desto kleiner ist zugehörige  $p$ -Wert. Ein  $p$ -Wert von 0,05 entspricht hierbei einem Signifikanz-niveau von 95%. Jedes Ergebnis für das galt:  $p > 0,05$  wurde im Rahmen der Studie als nicht signifikant bewertet.

ANOVAs ermitteln lediglich, ob innerhalb der Gesamtergebnisse signifikante Unterschiede vorliegen, jedoch nicht exakt, wo sich diese befinden. Daher erfolgten im Anschluss paarweise Vergleiche aller Einzelqualitäten sowie der Riechschwellen, der Diskriminationswerte, der Identifikationswerte und der Gesamtpunktzahlen mit Hilfe von post-Hoc Tests. Hierbei wurde der Least-Significant-Difference-Test (LSD) verwendet. Für alle Vergleiche wurde  $\alpha$  auf 95% gesetzt.

## 9.2 Filmmodell

Die gemessene Luftdruckabhängigkeit der Geruchswahrnehmung lässt sich mit Hilfe eines Filmmodells beschreiben, das in Abbildung 20 dargestellt ist. Die Geruchsstoffe gelangen aus der Atmosphäre über Konvektion an die Phasengrenzfläche zwischen der Gasphase und der Schleimschicht, die die Riechzellen umgibt. In der Phasengrenzfläche steht der Partialdruck  $p_i$  eines Stoffes  $i$  im Gleichgewicht mit seiner Konzentration  $c_i$  in der Flüssigphase. Der Weitertransport des Geruchstoffes an die Riechzellen erfolgt primär durch Diffusion in der Schleimschicht.

Die Einstellung des Phasengleichgewichtes in der Phasengrenzfläche ist vom Luftdruck abhängig, wie die folgende Herleitung zeigt. Die Verteilung eines Stoffs in der Gasphase und der Flüssigphase kann mit Hilfe des Henry'schen Gesetzes beschrieben werden:

$$(1) \quad k_H = \frac{p_i}{c_i}$$

mit

$k_H$  = Henry-Koeffizient (Pa m<sup>3</sup>/mol)

$p_i$  = Partialdruck der Komponente  $i$  in der Gasphase (Pa)

$c_i$  = Konzentration der Komponente  $i$  in der Flüssigkeit (Mol/m<sup>3</sup>)

Der Partialdruck kann mit Hilfe des Stoffmengenanteils  $y_i$  auch wie folgt ausgedrückt werden:

$$(2) \quad p_i = y_i P$$

mit

$y_i$  = Stoffmengenanteil des Stoffes  $i$  in der Gasphase

$P$  = Systemdruck (Umgebungsdruck)

Der Stoffmengenanteil wiederum ist wie folgt definiert:

$$(3) \quad y_i = \frac{n_{i,g}}{n_{\text{ges},g}}$$

mit

$n_{i,g}$  = Stoffmenge in Mol des Stoffes  $i$  in der Gasphase (Index  $g$  für Gasphase)

$n_{\text{ges},g}$  = Stoffmenge in Mol aller Stoffe in der Gasphase

Die Konzentration des Stoffes  $i$  in der Flüssigphase ist wie folgt definiert:

$$(4) \quad c_i = \frac{n_{i,l}}{V_l}$$

mit

$n_{i,l}$  = Stoffmenge in Mol des Stoffes i in der Flüssigphase (Indes l für liquid)

$V_l$  = Volumen der Flüssigphase (hier Grenzschicht)

Setzt man die Gleichungen 2 bis 4 in Gleichung 1 ein, dann ergibt sich:

$$(5) \quad k_H = \frac{\frac{n_{i,g}}{n_{ges,g}} P}{\frac{n_{i,l}}{V_l}} = \frac{n_{i,g}}{n_{i,l}} \frac{V_l}{n_{ges,g}} P$$

Die Auflösung nach  $n_{i,l}$  ergibt:

$$(6) \quad n_{i,l} = n_{i,g} \frac{V_l}{k_H n_{ges,g}} P$$

Ersetzt man  $V_l$  durch die Oberfläche der Grenzschicht  $A$  und der Schichtdicke  $\delta$ , dann ergibt sich:

$$(7) \quad n_{i,l} = n_{i,g} \frac{A \delta}{k_H n_{ges,g}} P$$

Mit dieser Umformung wurde erreicht, dass die unterschiedlichen Konzentrationseinheiten ( $p_i$  und  $c_i$ ) in Gleichung 1 auf die gleiche Einheit (Mol) umgeformt wurden. Entscheidend ist jedoch der proportionale Zusammenhang zwischen dem Systemdruck  $P$  und der Stoffmenge  $n_{i,l}$  des Geruchsstoffes  $i$  in der Flüssigphase. Je höher der Luftdruck, umso höher ist die Stoffmenge in der Flüssigphase  $n_{i,l}$ . Umgekehrt gilt auch, dass mit abnehmendem Luftdruck die Stoffmenge  $n_{i,l}$  in dem Schleimfilm sinkt. Aus diesem Grund binden weniger Moleküle an die Rezeptoren der Riechzellen, wodurch die Geruchswahrnehmung abgeschwächt wird. Hierbei ist anzunehmen, dass die anderen Faktoren des Produkts näherungsweise konstant sind, da sich vermutlich weder die Oberfläche noch die Dicke des Schleimfilms relevant ändern und auch die in Lösung gehenden Stoffmengen so gering sind, dass sie einen geringen Einfluss auf die Stoffmengen in der Gasphase haben. Zu beachten ist jedoch, dass das Henrysche Gesetz sowohl stoff- als auch temperaturabhängig ist und nur für niedrige Stoffkonzentrationen gilt.

# Selbstständigkeitserklärung mit Unterschrift

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift:

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

selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Name, Vorname: Köppke, Robert

Matrikelnummer: 211241005

Köln, den 28.03.2020

Ort, Datum

---

Unterschrift

# Erklärung über frühere Promotionsversuche

Ich versichere, dass von mir, Robert Köppke, keine früheren Promotionsversuche mit dieser oder einer anderen Dissertation erfolgt sind. Es wurde nur dieser Antrag auf Eröffnung eines Promotionsverfahrens eingereicht.

Köln, den 28.03.2020

Ort, Datum

---

Unterschrift

# Lebenslauf

## *Persönliche Daten*

Geburtsdatum: 03.03.1993  
Geburtsort: Bad Oeynhausen  
Familienstand: Ledig

## *Studium/Ausbildung*

10/2011 – 05/2019  
Studium der Humanmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

07/2003 – 06/2011  
Immanuel-Kant-Gymnasium Bad Oeynhausen  
(Abschluss: Allgemeine Hochschulreife)

06/1999 – 07/2003  
Wichern Grundschule Bad Oeynhausen

## *Berufliche Laufbahn*

03/2017 – 02/2018  
Innere Medizin III Universitätsklinikum Halle (Saale)

11/2019 – aktuell  
Medizinische Klinik II Klinik der Stadt Köln GbR Merheim

## *Wissenschaftliche Arbeiten*

06/2016 – 11/2019  
Promotion an der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde des Universitätsklinikums Halle  
Thema: Einfluss von Luftdruckunterschieden und Störgeräusch auf die Geruchs- und Geschmacks-wahrnehmung von Normalpersonen

05/2018  
Plos One - Rahne, Köppke et al. – Does ambient noise or hypobaric atmosphere influence olfactory and gustatory function?

Köln, den 28.03.2020

Ort, Datum

---

Unterschrift

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, meinen besonderen Dank einigen Personen entgegenzubringen, ohne deren Hilfe meine Promotionsarbeit so niemals zustande gekommen wäre:

Zu allererst gilt herzlichster Dank meinem Doktorvater Prof. Dr. Rahne für den Aufbau und die Betreuung dieses Forschungsprojekts, sowie für den stets zeitnahen und fachlich äußerst hilfreichen Austausch. Ohne seine Unterstützung wäre so mancher Stolperstein nicht zu umgehen gewesen.

Danken möchte ich auch dem flugphysiologischen Trainingszentrum des Zentrums für Luft- und Raumfahrtmedizin der Luftwaffe in Königsbrück und insbesondere Herrn Nehring für die produktive Kooperation und die Möglichkeit die Untersuchungen in der Klimakammer der Luftwaffe durchführen zu dürfen.

Zudem gilt mein Dank Herrn Dr. Fischer aus dem Militärkrankenhaus Hamburg für den Aufbau der Kooperation mit der Luftwaffe, die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Messungen sowie für die ärztlichen Untersuchungen. Auch die fachlichen und persönlichen Gespräche habe ich als große Bereicherung empfunden.

Sämtlichen Mitarbeitern der HNO-Klinik des Universitätsklinikums Halle kommt mein besonderer Dank zu, da sie mir ermöglichten, die notwendigen Kenntnisse auf dem Gebiet der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde zu erwerben und mein Interesse für dieses Fach zu wecken.

Schließlich gilt mein herzlicher Dank meiner Familie, die mir stets bei Korrekturen half, mich neu motivierte und auch sonst immer mit Rat und Tat beiseite stand.