

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden
Direktor: Herr Prof. Dr. med. Dr. h.c. Th. Zahnert

Schmeckstörungen und taktile Empfindungen der Zunge

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

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

von

Katharina Flemming

aus Dresden

Dresden 2025

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der mündlichen Prüfung: (Verteidigungstermin)

gez.: -----
Vorsitzender der Promotionskommission

Anmerkung: Die Eintragung der Gutachter und Tag der mündlichen Prüfung (Verteidigung) erfolgt nach Festlegung von Seiten der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus der Technischen Universität Dresden. Die oben genannten Eintragungen werden durch die Doktoranden nach der Verteidigung zwecks Übergabe der fünf Pflichtexemplare an die Zweigbibliothek Medizin in gedruckter Form oder handschriftlich vorgenommen.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Theoretische Grundlagen	3
2.1 Anatomie und Physiologie des Schmeckens	3
2.2 Zelltypen der Geschmacksknospen.....	4
2.3 Signaltransduktion der Geschmackssinneszellen	6
2.4 Zentralnervöse Verarbeitung von Schmeckreizen	10
2.4.1 Innervation der Zunge und Weiterleitung an das Gehirn	10
2.4.2 Labeled-Line-Modell und das Across-Fiber-Pattern	11
2.4.3 Trigeminales System und Chemästhesie.....	12
2.5 Textur und Verarbeitung.....	13
2.5.1 Lebensmitteltextur	13
2.5.2 Lebensmitteltextur während des Kauprozesses.....	13
2.5.3 Viskosität eines Lebensmittels.....	14
2.5.4 Messmethoden oraler Mechanosensorik	15
2.6 Schmeckstörungen.....	16
2.6.1 Epidemiologie und Allgemeines.....	16
2.6.2 Systematik.....	17
2.6.3 Ätiologie	18
2.6.4 Diagnostik.....	24
2.6.5 Therapie	28
3 Hypothesen, Fragestellungen und Ziele	31
4 Material und Methoden	32
4.1 Ethische Aspekte.....	32
4.2 Studienpopulation.....	32
4.3 Studienablauf	33
4.4 Anamnesebogen und SWLS	33
4.5 Bitterstreifentest (PTC).....	35
4.6 Schmeckspray.....	36
4.7 Schmeckstreifen.....	36
4.8 Riechtest mittels Sniffin' Sticks	37

4.9	3D-Buchstabentest.....	38
4.10	Schärfetest mit Capsaicin.....	38
4.11	Statistische Auswertung.....	39
5	Ergebnisse und Auswertung.....	40
5.1	Auswertung des SWLS-Fragebogen.....	40
5.2	Auswertung der olfaktorisch-gustatorischen Funktion.....	41
5.2.1	Schmeckspray.....	42
5.2.2	Schmeckstreifen.....	42
5.3	Auswertung des Bitterstreifentests.....	43
5.3.1	PTC und Geschlecht.....	43
5.3.2	Texturempfinden und PTC.....	44
5.4	Auswertung der oralen Schärfempfindung.....	45
5.5	Auswertung Tastvermögen.....	46
5.5.1	Vergleich der Gruppen in den drei einzelnen Durchgängen beim 3D-Buchstabentest.....	46
5.5.2	Vergleich der Gruppen bei aufsummierten Durchgängen des 3D-Buchstabentests.....	47
5.6	Einfluss des Schmeckvermögens auf das Tastvermögen.....	48
5.7	Einfluss des Riechvermögens auf das Tastempfinden.....	49
5.8	Einfluss des Riechvermögens auf das Tastempfinden unter Kontrolle der Variable Schmecken.....	50
5.9	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	50
6	Diskussion.....	52
6.1	SWLS-Fragebogen.....	52
6.2	PTC.....	53
6.2.1	PTC und Alter/Geschlecht.....	53
6.2.2	PTC und Texturempfinden.....	53
6.3	Schärfetestung mit Capsaicin.....	54
6.4	Tastvermögen.....	55
6.4.1	Schmecken und Tastvermögen.....	56
6.4.2	Riechen und Tastvermögen.....	57
6.5	Limitationen der Studie.....	58
7	Fazit und Ausblick.....	60
8	Zusammenfassung.....	61
9	Summary.....	64
10	Literaturverzeichnis.....	65

11 Anhang	85
11.1 Anamnesebogen	85
11.2 Satisfaction with Life Scale Fragebogen	88
11.3 PTC, Schmeckspray, Schmeckstreifen, 3D-Buchstaben	88
12 Tabellenverzeichnis	90
13 Abbildungsverzeichnis	90
14 Veröffentlichung falls vorhanden schon	91
15 Danksagung	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	<i>Varianzanalyse (engl.: analysis of variance)</i>
BMS	<i>Burning-Mouth-Syndrom</i>
ENaC	<i>epitheliale Natriumkanäle</i>
GEP	<i>Gustatorisch evozierte Potentiale</i>
M.	<i>Musculus</i>
N.	<i>Nervus</i>
N.IX	<i>N. glossopharyngeus</i>
N.V	<i>N.trigeminus</i>
N.VII	<i>N. facialis</i>
N.X	<i>N. vagus</i>
N.XII	<i>N. hypoglossus</i>
PROP	<i>6-N-Propylthiouracil</i>
PTC	<i>Phenylthiocarbamid</i>
SWLS	<i>Satisfaction with Life Scale</i>

1 Einleitung

Die Auswahl an Lebensmitteln, die von Menschen verzehrt werden, ist geleitet von persönlichen Präferenzen u.a. des Aussehens, des Geschmacks und der Textur. Dazu wuchs in den letzten Jahren ein großer Markt an Forschung im Bereich der Entwicklung pflanzenbasierter Lebensmittel, der verglichen mit fleischlichen oder auf Milch basierenden Produkten attraktive vegane Textur- und Geschmackserlebnisse erforscht und testet (Harper et al., 2022; Hutchings et al., 2024). Weiterhin erforschen Wissenschaftler:innen seit einigen Jahren den 3D-Druck von Lebensmitteln, die Patient:innen mit Schluckstörungen oder Menschen in Pflegeheimen die Aufnahme schmack- und nahrhafter Kost erleichtern sollen (Pereira et al., 2021; Tan et al., 2024).

Wie Informationen von Lebensmitteleigenschaften von der Mundhöhle, über das periphere und zentrale Nervensystem übermittelt und mit anderen Sinnen integriert wird, ist noch wenig erforscht.

Die Wahrnehmung von Lebensmitteln variiert von Mensch zu Mensch und hat einen großen Einfluss auf unsere Ernährungsweise und somit auf unsere Gesundheit. Die Gesamtbewertung eines Lebensmittels entsteht durch das Zusammenspiel von peripheren Sinneseindrücken wie Textur, Geruch, Mundgefühl, Sehen, Hören, Temperaturempfinden, trigeminale Stimulation und der Geschmack (Bult et al., 2007; de Wijk et al., 2006; Small et al., 2004). Man spricht hier auch von einer multimodalen sensorischen Integration (Bult et al., 2007; Seo & Hummel, 2017).

Sind eine oder mehrere Sinneseindrücke beeinträchtigt, nimmt die Wahrnehmung von Lebensmitteln rapide ab und Menschen stellen sich mit Symptomen einer Geschmacksstörung in einer Klinik vor. Die Multimodalität des Geschmackserlebens erfordert, dass Geschmack und Geschmacksstörungen auf mehreren Ebenen untersucht werden, um eine möglichst differenzierte Diagnose zu stellen (Small et al., 2004). Im klinischen Alltag stehen für Patient:innen mit Schmeckstörungen jedoch nur wenige Geschmackstests zur Verfügung – und auch das oft nur in spezialisierten Einrichtungen.

Die Bandbreite an chemo- und somatosensorischen Empfindungen erfahren hierbei nur unzureichende Beachtung, obwohl sie unter anderem großen Einfluss und unsere Lebensqualität haben. Trotz einer zunehmenden Anzahl von Studien, gibt es derzeit noch keine international vergleichbaren Tests für die ganzheitliche Diagnostik des Geschmacks. Die vorliegende Arbeit hat daher das Ziel, einen Teilbereich zu beleuchten – die taktile Empfindung der Zunge. Dafür wird der Zusammenhang zwischen der

Schmeck- und Riechfähigkeit und der taktilen lingualen Fähigkeit der Proband:innen untersucht. Die vorliegende Studie soll die Entwicklung geeigneter Tests fördern und bestehende Tests optimieren.

Dafür schließen sich dieser Einleitung ein theoretischer Grundlagenteil sowie eine Einordnung der Zielstellung und die Betrachtung der Hypothesen an. Folgend werden das Material und die Methoden besprochen, die Ergebnisse ausgewertet und diskutiert sowie auf Limitationen der Studie eingegangen. Abschließend wird die Studie zusammengefasst und ein Ausblick besprochen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Anatomie und Physiologie des Schmeckens

Die Cavitas oris propria, unsere Mundhöhle, hat drei Begrenzungen. Der weiche und der harte Gaumen (Palatum durum und molle) bilden das Dach, die Zunge (Lingua) und der darunterliegende Musculus (M.) mylohyoideus (Diaphragma oris) bilden den Boden, die Gaumenbögen (Arcus palatoglossus und Arcus palatopharyngeus) begrenzen sie dorsal, wo sie beidseits von der Fossa tonsillaris und den Gaumentonsillen (Tonsillae palatina) eingeschlossen sind. Angrenzend an die Gaumenbögen befindet sich die Schlundenge (Isthmus faucium), welche den Übergang in den Rachen (Pharynx) bildet (Aumüller et al., 2020).

In der Cavitas oris liegt unser wesentliches Schmeckorgan, die Zunge, welche in drei unterschiedliche Abschnitte unterteilt ist. Die Zungenwurzel (Radix linguae), welche mit den suprahyoidalen Muskeln verbunden ist; der Zungenkörper (Corpus linguae), welcher aus der Zungenwurzel hervorgeht; und die Zungenspitze (Apex linguae), als frei bewegliches Ende (Aumüller et al., 2020). Der Sulcus terminalis, der sich seitlich vom Foramen caecum zu den Pharynxwänden erstreckt, bildet die Trennlinie zwischen Zungenkörper und Zungenwurzel (Witt, 2019).

Die Zunge besteht zu einem Großteil aus Muskeln (Doyle et al., 2023) und ist mit einer spezialisierten Mundschleimhaut versehen. Das Plattenepithel des Zungenrückens kann sowohl aus mehrschichtigem verhornten als auch unverhornten Gewebe bestehen, während die Unterseite der Zunge ausschließlich mit unverhorntem Plattenepithel bedeckt ist. Auf dem Zungenrücken liegen die Zungenpapillen (Papillae linguales), eingebettet in das mehrschichtige Plattenepithel. Hinsichtlich ihrer Struktur, Lage und Funktion lassen sich insgesamt vier Typen von Papillen unterscheiden: drei gustatorische und einen nicht-gustatorischen Typen (Ulfig, Norbert, 2019; Witt, 2019). Zu den gustatorischen Typen gehören die Wallpapillen (Papillae vallatae), die parallel zum Sulcus terminalis verlaufen, die Blattpapillen (Papillae foliatae), die im Epithel auf beiden Seiten der Zunge eingebettet sind, sowie die Pilzpapillen (Papillae fungiformes), welche sich auf der gesamten vorderen Oberfläche des Zungenepithels befinden (Doyle et al., 2023; Mistretta & Bradley, 2021; Witt, 2019). Der vierte Typ beschreibt die nicht-gustatorischen Fadenpapillen, die eine rein mechanische Funktion haben und sich in unregelmäßigen Abständen über den gesamten Zungenrücken verteilen (Aumüller et al., 2020; Witt, 2019).

Wallpapillen

Die Wallpapillen liegen anterior des Sulcus terminalis in einer Linie quer über die Zunge. Sie haben einen Durchmesser von etwa zwei bis acht Millimetern und ein Mensch besitzt im Durchschnitt ca. 9,2 Wallpapillen, wobei die Anzahl zwischen 4 und 18 variieren kann (Witt, 2019). Die bis zu 100 Geschmacksknospen befinden sich am Papillenrand in der Wand des Wallgrabens, seltener auf der Oberfläche (Aumüller et al., 2020; Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

Blattpapillen

Die Blattpapillen sind beidseits an den seitlichen hinteren Zungenrändern in parallelen Erhebungen und Vertiefungen lokalisiert, welche an die unteren Molaren angrenzen (Witt, 2019). Auf der Zunge gibt es ca. 15-20 Blattpapillen mit jeweils 50 Geschmacksknospen (Welge-Lüssen and Hummel, 2008).

Fadenpapillen

Fadenpapillen sind die häufigste Form der Papillen auf der Zunge und befinden sich auf dem gesamten Zungenrücken, vom Sulcus terminalis bis zur Zungenspitze. Die Papillen sind ungleichmäßig verteilt, mit einer höheren Konzentration in der Mitte der Zunge und einer geringeren Konzentration am Zungenrand. Sie sind pyramidenförmig und an ihrem spitz zulaufenden Ende von verhorntem Epithel überzogen (Witt, 2019). Diese verhornten Epithelzipfel können taktile Reize aufnehmen und haben somit eine rein mechanische Funktion (Klinke et al., 2010).

Pilzpapillen

Die Pilzpapillen äußern sich als gewölbte Erhebungen von etwa 0,5 mm Durchmesser. Sie erstrecken sich von der Linie der Wallpapillen bis zur Zungenspitze und sind dort unregelmäßig verteilt. Die Pilzpapillen sind umgeben von den Fadenpapillen (Mistretta & Bradley, 2021; Witt, 2019). Die Gesamtzahl auf der Zunge wird auf etwa 320 geschätzt (Shahbake et al., 2005). Eine Pilzpapille kann zwischen einer und 20 Geschmacksknospen enthalten und neben Geschmack auch Tast- und Temperaturempfindungen wahrnehmen (Mistretta & Bradley, 2021).

2.2 Zelltypen der Geschmacksknospen

Die menschlichen Geschmacksknospen setzen sich aus 60 bis 120 Zellen zusammen, die segmentartig in Anlehnung an eine Orange angeordnet sind. Am apikalen Ende der

Zellen befindet sich der Porus gustatorius, der eine ca. 20 µm große Öffnung darstellt. Somit fungiert er als Kommunikationsschnittstelle zwischen den Geschmacksrezeptorzellen und der Mundhöhle (Simon et al., 2006; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Die Verbindung der Zellen erfolgt an dieser Stelle durch Tight Junctions, interzelluläre Adhäsionskomplexe, die eine semipermeable Diffusionsbarriere schaffen und somit die Homöostase aufrechterhalten. Weiterhin dienen sie der Kontrolle der Zelle gegenüber der Diffusion von Ionen und gelösten Stoffen (Zihni et al., 2016). Alle Geschmacksknospen der gesamten Mundhöhle enthalten Zellen, die auf die fünf Grundgeschmacksarten reagieren. Eine topographische Landkarte, die sogenannte Zungenkarte gibt es also nicht (Yarmolinsky et al., 2009).

Die Zelltypen werden gemäß der Klassifizierung von Murray und Murray aus dem Jahr 1967 in vier Typen unterteilt: Typ I, II, III und die Basalzellen (Farbman, 1965; Murray et al., 1969; Murray & Murray, 1967). Die Zellen vom Typ I kommen mit ca. 50% am häufigsten vor (Witt, 2019). Sie sind spindelförmig und besitzen lange büstenartige Mikrovilli (1-2 µm), mit denen sie in den flüssigkeitsgefüllten Porus gustatorius ragen und Stoffe in diesen sezernieren (Welge-Lüssen & Hummel, 2008; Witt, 2019). Sie umhüllen Typ-II- und Typ-III-Zellen und es wird daher angenommen, dass sie, ähnlich wie die Gliazellen im Nervensystem, unterstützende Funktionen ausführen. Zusätzlich exprimieren sie den Glutamattransporter GLAST, der in Gliazellen vorkommt (Finger, 2005; Lawton et al., 2000). An Pilzpapillen von Mäusen konnte gezeigt werden, dass eine Untergruppe von Typ-I-Zellen amilorid-sensitive epitheliale Natriumkanäle (ENaC) exprimiert, die an der Weiterleitung des Salzgeschmacks beteiligt sind (siehe Kapitel 2.3.2.) (Vandenbeuch et al., 2008). Diese Ionenkanäle sind auch in anderen Geweben zu finden, wie beispielsweise in der Niere, dem Endothel, der glatten Muskulatur der Gefäße, den Immunzellen und dem Dickdarm (Pitzer et al., 2020).

Typ II – Zellen machen ca. 1/3 der Zellpopulation aus (Roper & Chaudhari, 2017). Sie sind lang und schlank (Witt, 2019) mit einem großen Zellkern (Finger, 2005) und befinden sich meist in der Peripherie der Geschmacksknospe. Sie verfügen an ihrer apikalen Seite über mehrere kurze Mikrovilli (Witt, 2019), die in den Porus gustatorius ragen und G-Protein-gekoppelte Rezeptoren präsentieren (T1Rs und T2Rs), um die Qualitäten süß, umami und bitter zu detektieren, weswegen sie auch als Rezeptorzellen bezeichnet werden (DeFazio et al., 2006; Tomchik et al., 2007; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Als Rezeptorzellen exprimieren sie das Protein Phospholipase C (PLC β 2) und den Kaliumkanal TRPM5, welche ein Teil der Signaltransduktionkaskade für süß, umami und

bitter sind (DeFazio et al., 2006). Sie sezernieren ATP (Adenosintriphosphat) über Pan-nexin-1-Hemikäle und kommunizieren darüber mit den Typ-III-Zellen. Darüber hinaus exprimieren einige Typ-II-Zellen spannungsgesteuerte Na⁺- und K⁺-Kanäle, die für die Erzeugung von Aktionspotentialen unerlässlich sind (Medler et al., 2003).

Auch unmittelbar an der Übertragung von Geschmacksinformationen beteiligt sind Typ-III-Zellen, welche etwa 5-7% aller Geschmacksknospenzellen ausmachen. Sie besitzen einen einzigen großen Mikrovillus, der bis in den Porus gustatorius reicht (Witt, 2019). Sie zeichnen sich durch synaptische Kontakte zu den Geschmacksnervenfasern aus und exprimieren z.B. SNAP25 und NCAM, Enzyme zur Synthese von Neurotransmittern und spannungsabhängige Ca²⁺-Kanäle, die typischerweise mit der Freisetzung von Neurotransmittern in Verbindung gebracht werden. Daher werden sie auch als präsynaptische Zellen bezeichnet (DeFazio et al., 2006). Typ-III-Zellen reagieren auf alle fünf Geschmacksqualitäten (Tomchik et al., 2007).

Zellen vom Typ IV werden auch als Basalzellen oder Geschmacksvorläuferzellen bezeichnet. Es handelt sich hierbei um kleine undifferenzierte Zellen, die an der Basis der Geschmacksknospen liegen (Farbman, 1965; Murray et al., 1969). In der Vergangenheit wurde angenommen, dass Basalzellen als Stammzellen der Geschmacksknospen fungieren. Miura et al. konnten nachweisen, dass eine Untergruppe der Basalzellen das Signalprotein Sonic Hedgehog (Shh⁺) exprimieren. Shh⁺-Zellen sind demnach postmitotische Vorläufer der Geschmackszellen, die sich je nach Bedarf in die drei Geschmackszelltypen differenzieren (Miura et al., 2014). Die durchschnittliche Lebensdauer von Geschmackszellen beträgt je nach Zelltyp etwa 8-22 Tage (Perea-Martinez et al., 2013).

Zusammenfassend bilden die Geschmacksknospen einen kompakten Verbund von Sinneszellen, welche hauptsächlich in den Epithelien der Zunge, der Epiglottis und des Gaumens vorkommen. Die länglich geformten Zellen bilden an ihrem apikalen Pol eine Geschmackspore, an der Mikrovilli Kontakt zu Stoffen aus Umwelt aufnehmen können. Am basalen Ende befinden sich undifferenzierte postmitotische Zellen. Jede dieser Sinneszellen ist dabei auf die Wahrnehmung einer der fünf grundlegenden Geschmacksqualitäten spezialisiert (Chaudhari & Roper, 2010; Liman et al., 2014).

2.3 Signaltransduktion der Geschmackssinneszellen

Geschmackszellen besitzen zum einen Mikrovilli, die als molekulare Antennen Stoffe aus der Umgebung wahrnehmen, und zum anderen Synapsen, die mit sensorischen Nervenfasern verbunden sind und so Geschmacksinformationen an das Gehirn weiterleiten. Als Rezeptoren dienen Ionenkanäle, ligandengesteuerte Kanäle, Enzyme und G-

Protein-gekoppelte Rezeptoren. Durch den Kontakt der Geschmacksstoffe mit den Rezeptoren, werden Transduktionskaskaden in Gang gesetzt, die zur Erregung der Nervenfasern führen. Diese leiten das Signal an den Hirnstamm weiter, wo die zentrale Geschmacksverarbeitung beginnt (Lindemann, 2001). Die fünf Geschmacksqualitäten süß, sauer, bitter, salzig und umami werden jeweils von einzelnen Geschmacksrezeptorzellen vermittelt. Sie entsprechen jeweils einer einzigen Geschmacksqualität (Chandrashekar et al., 2006; Huang et al., 2006; Yarmolinsky et al., 2009; Y. Zhang et al., 2003).

Die Signaltransduktion dieser drei Geschmacksrichtungen süß, umami und bitter wird über G-Protein-gekoppelte Rezeptoren vermittelt, speziell über T1R und T2R Geschmacksrezeptoren. Die Signaltransduktion von sauer und salzig funktioniert über Ionenkanäle. Im Verlauf der vergangenen Jahre gab es immer wieder neue Erkenntnisse über Ionenkanäle, verschiedenen Rezeptoren und Zelltypen, die für die Signalübertragung verantwortlich sind. Neuere Studien zeigen, dass es für alle fünf Geschmacksrichtungen spezielle, hochselektive Zellen gibt (Huang 2006).

süß

Der Süßgeschmacksrezeptor setzt sich aus den zwei Untereinheiten TAS1R2 und TAS1R3 zusammen, die ein Heterodimer bilden (X. Li et al., 2002). Diese Rezeptoren vermitteln Informationen über den Kalorien- und Nährstoffgehalt der verzehrten Lebensmittel (Beauchamp, 2016). Sämtliche süß schmeckende Moleküle, einschließlich Kohlenhydrate und nichtkalorischer Süßstoffe, werden durch die Aktivierung dieses Rezeptors im Mund erkannt. Darüber hinaus ist der Rezeptor in einigen weiteren Organen zu finden, wo er eine wesentliche Rolle bei der Erkennung von Nährstoffen sowie beim Stoffwechsel spielt. Zu den extraoralen Organen, in denen der Rezeptor ebenfalls exprimiert wird, zählen unter anderem der Magen-Darm-Trakt, die Bauchspeicheldrüse, die Blase, das Fettgewebe sowie das Gehirn (Laffitte et al., 2014).

umami

Erstmals wurde Mononatriumglutamat im Jahr 1907 von dem japanischen Chemiker Kikunae Ikeda aus Konbu (Seetang) gewonnen und als umami bezeichnet (Kurihara, 2009). In Japan ist der Geschmack deutlich vertrauter als in westlichen Ländern. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der japanischen Küche häufig fermentierte Lebensmittel wie Sojasauce, Miso oder Dashi verwendet werden, die einen hohen Glutamatgehalt aufweisen (Kurihara, 2015). Dennoch findet sich freies Glutamat in einer geringeren Konzentration, in einer Vielzahl von Lebensmitteln, darunter in einigen Obst- und Ge-

müsesorten, einigen Fischen und Meeresfrüchten, Algen, in gereiftem Käse, menschlicher Muttermilch sowie in Fleisch. Weitere, am Umami-Geschmack beteiligte Stoffe sind Inosinate und Guanylate. Die Funktion von Umami besteht in der Wahrnehmung von Proteinquellen. Rezeptoren für diesen Geschmack befinden sich auch im Magen und Darm, welche die Proteinaufnahme regulieren (Kurihara, 2009). Der Rezeptor für den Umami-Geschmack ist ein Heterodimer und setzt sich aus je einer T1R1- und T1R3-Untereinheit zusammen (X. Li et al., 2002). Des Weiteren werden in den Geschmacksknospen die Glutamatrezeptoren mGluR4 und mGluR1 exprimiert (Kurihara, 2015; X. Li et al., 2002).

bitter

Bittere Geschmacksstoffe werden vom TAS2R-Rezeptor, der ebenfalls zur Familie der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren (GPCRs) gehört, erkannt und auf den Geschmacksknospen exprimiert (Adler et al., 2000). Es gibt etwa 25 verschiedene Bitterrezeptoren, die es dem Menschen ermöglichen, ein breites Spektrum an Bitterstoffen wahrzunehmen (Chandrasekar 2006). Das ist wichtig, denn die Wahrnehmung von Bitterstoffen signalisiert, dass mögliche Giftstoffe in Lebensmitteln vorhanden sein können. Die Aufgabe des bitteren Geschmacks ist es daher, diese Aufnahme zu verhindern, d.h. diese Toxine zu meiden (Nissim et al., 2017). Das Empfinden von bitter ist sehr individuell, da verschiedene genetische Varianten, sog. Genpolymorphismen, in den Rezeptoren vorkommen. So ist auch genetisch bedingt, ob der Stoff Phenylthiocarbamid (PTC) als bitter erkannt wird oder nicht, was in dieser Studie auch getestet wird (Roudnitzky et al., 2015).

salzig

Natriumchlorid ist ein wesentlicher Bestandteil aller Flüssigkeitskompartimente im Körper und somit ein essentieller Nährstoff für den Menschen (Bailey & Dhaun, 2024; Chandrasekar et al., 2010). Der Salzgeschmack steuert die Aufnahme von Natriumchlorid und erfüllt somit eine wesentliche Funktion bei der Ionen- und Wasserhomöostase (Lindemann, 1996). Er wird durch mindestens zwei separate Signalmechanismen vermittelt: einen amilorid-empfindlichen und einen amilorid-unempfindlichen Mechanismus. Das Diuretikum Amilorid, ein Ionenkanalhemmer, dient in vielen Epithelien als reversibler Inhibitor und wirkt somit auch hemmend auf den Salzgeschmack (Brand et al., 1985). Zunächst soll hier der amilorid-sensitive Signaltransduktionsweg beschrieben werden. Eine Zelle, die einen niedrigen Natriumgehalt detektiert, wird durch den Einstrom von Natri-

umionen über den amilorid-sensitive ENaC depolarisiert und erzeugt dadurch ein Aktionspotential, was letztlich zur Freisetzung von ATP führt (Doyle et al., 2023). Die von Chandrashekar durchgeführten Messungen belegen, dass niedrige Salzkonzentrationen (<100 mM NaCl, als „salzarm“ bezeichnet) im Allgemeinen appetitanregend sind und eine verhaltensbedingte Anziehung auslösen. Für die Erkennung dieser niedrigen Konzentrationen ist der oben beschriebene ENaC verantwortlich (Chandrashekar et al., 2010). Demgegenüber wirken hohe Konzentrationen (>300 mM, als „High-Salt“ bezeichnet) aversiv und lösen eine starke Verhaltensablehnung aus, sodass schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit verhindert werden. Oka et al. konnten zeigen, dass „High-Salt“ Konzentrationen die Bittersinneszellen in Typ II Zellen und die Sauerinneszellen in Typ III aktivieren und das zu einem unangenehmen Geschmack führt (Oka et al., 2013).

sauer

Zunächst ist festzuhalten, dass Säuren wie Zitronensäure und Salzsäure für den sauren Geschmack verantwortlich sind, da sie Ionen freisetzen und somit den primären Reiz darstellen (Lin 2002). Der saure Geschmack dient der Erkennung verdorbener Lebensmittel, der Vermeidung von Gewebeschäden durch zu hohe Säuren und der Unterstützung der Säure-Basen-Regulation. Für die Erkennung des sauren Geschmacks wurden anfänglich ENaCs beschrieben (Gilbertson, 1992). Später wurden die säureempfindlichen Ionenkanäle ASICs (acid-sensing ion channels) entdeckt (Lin et al., 2002). Eine weitere Studie demonstrierte, dass der PKD2L1-Kanal (polycystic kidney disease channel), ein TRP-Kanal, für die Signaltransduktion des sauren Geschmacks verantwortlich sein könnte. Der PKD2L1-Kanal wird in Typ-III-Zellen in allen Geschmackspapillen exprimiert (Huang et al., 2006). Die Ausschaltung von PKD2L1 führt aber lediglich zu einer Verringerung des sauren Geschmacks, weshalb es neben PKD2L1-Kanal noch einen weiteren Rezeptor geben muss (Horio et al., 2011). In jüngeren Studien konnte nachgewiesen werden, dass ein Protonenkanal (OTOP1) für die Erkennung des sauren Geschmacks verantwortlich ist. Der Protonenkanal OTOP1 gehört zur Familie der Otopetrine, welche erstmals im vestibulären System von Säugetieren identifiziert wurden (Teng et al., 2019; Tu et al., 2018; J. Zhang et al., 2019).

In der neueren Forschung werden zwei weitere Geschmacksqualitäten benannt: kokumi und oleogustus. Die Geschmacksqualität kokumi wird als vollmundig und ausgewogen beschrieben, es intensiviert das qualitative und quantitative Geschmackserlebnis (Maruyama et al., 2012; Ueda, 1990). Schwefelhaltige Verbindungen wie Glutathion aus der Zwiebel oder Knoblauch und calciumsensitive Rezeptoren auf der Zunge können die

Intensität der Geschmacksqualitäten von umami, süß und salzig verstärken (Ohsu et al., 2010; Ueda, 1990). Oleogustus wird als Fettgeschmack beschrieben (Running et al., 2015). Als Rezeptoren kommen CD36, GPR 40 und GPR120 in Frage, welche mittel- und langkettige Fettsäuren auf der Zunge detektieren (Besnard et al., 2016; Cartoni et al., 2010; Pepino et al., 2014).

2.4 Zentralnervöse Verarbeitung von Schmeckreizen

2.4.1 Innervation der Zunge und Weiterleitung an das Gehirn

Die Innervation der Zunge ist komplex, da viele verschiedene Nerven beteiligt sind, die unterschiedliche Qualitäten bedienen. Im Folgenden wird auf die motorische, die sensible und die sensorische Innervation kurz eingegangen. Die motorische Innervation ist für die Beweglichkeit der Zunge verantwortlich und ermöglicht lebenswichtige Funktionen wie Kauen, Schlucken, Sprechen und Atmen. Die sensible und sensorische Innervation umfasst die Geschmackswahrnehmung, die Nozizeption und die Propriozeption (Witt, 2019).

Die Zunge wird motorisch durch den Nervus (N.) N. hypoglossus (N.XII) innerviert, der die Zungenmuskulatur steuert (Witt, 2019). Störungen der motorischen Zungenfunktion können zu Dysarthrie, Dysphagie oder obstruktiver Schlafapnoe (OSA) führen (Mu & Sanders, 2010).

Die sensible Innervation der vorderen zwei Zungendrittel erfolgt durch den N. lingualis, während das hintere Drittel vom N. glossopharyngeus (N.IX) innerviert wird. Die Zungenwurzel, die Epiglottis und der Hypopharynx werden vom N. vagus (N.X) versorgt. Der N. lingualis ist ein Ast des N. mandibularis und leitet sensible Informationen weiter. Zusätzlich trägt er auch einen Teil der Geschmackswahrnehmung, da ihm somatosensorische und viszerosensorische Nervenfasern von der Chorda tympani anlagern. Der N. mandibularis gehört zu einem der drei Hauptäste des N. trigeminus (N.V), dessen Zellkörper sich im Ganglion trigeminale befinden. Die sensorischen Neuronen ziehen von dort aus in den Hirnstamm ein und projizieren weiter zum Nucleus ventralis posteromedialis (VPM). Von hier aus werden die Informationen an den sensorischen Kortex im Gyrus postcentralis weitergeleitet (Doyle et al., 2023; Gravina et al., 2013; Witt, 2019).

Die sensorische Innervation der Geschmackspapillen erfolgt durch drei unterschiedliche Nerven. Dabei werden der anteriore Bereich der Blattpapillen sowie alle Pilzpapillen durch den N. facialis (N.VII) über die Chorda tympani innerviert. Das hintere Drittel der Zunge mit den Wallpapillen und der posteriore Teil der Blattpapillen wird gustatorisch

vom N. glossopharyngeus versorgt (Danilova et al., 2002; Simon et al., 2006; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Die Innervation der Geschmackspapillen des vorderen weichen Gaumens erfolgt über den N. petrosus major (Welge-Lüssen & Hummel, 2008; Witt, 2019). Die afferenten Nervenfasern der Geschmacksknospen laufen im Nucleus tractus solitarius (NTS) in der Medulla oblongata des Hirnstamms zusammen. Von dort aus werden die Informationen durch den im Thalamus lokalisierten somatosensorischen Kern dem Nucleus ventralis posteromedialis (VPM) oder über das limbische System zum Frontallappen weitergeleitet (Samuelsen et al., 2013). Die Weiterleitung der Informationen führt dann zum primär gustatorischen Kortex, welcher sich in der Inselrinde und im frontalen Operculum befindet, beide gehören zum Frontallappen (E. Rolls & Baylis, 1994; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). In einem Teil des Frontallappens, dem orbitofrontalen Cortex, befinden sich Neuronen die auf gustatorische, olfaktorische und visuelle Stimuli reagieren. An dieser Stelle kommt es zu einer Konvergenz der Sinnesmodalitäten, da Neuronen mit bimodalen Reaktionen gefunden wurden, die z. B. sowohl auf gustatorische als auch auf visuelle Reize oder auf gustatorische und olfaktorische Reize reagieren. Zusammenfassend wird die Weiterleitung des Geschmacks von den Geschmacksknospen über die speziell-viszerosensiblen Fasern zu den gustatorischen Arealen des Cortex auch als Geschmacksbahn bezeichnet (E. Rolls & Baylis, 1994; E. T. Rolls, 2020; Small, 2012).¹

2.4.2 Labeled-Line-Modell und das Across-Fiber-Pattern

In der Literatur werden zwei Theorien zur Kodierung des Geschmacks auf der Ebene der Rezeptorzellen diskutiert: das Labeled-Line-Modell und das Across-Fiber-Pattern. Das Labeled-Line-Modell besagt, dass jeweils eine Geschmackszelle genau eine Geschmacksqualität (süß, sauer, bitter, salzig, umami) verarbeitet, um die Geschmacksqualität in neuronale Signale umzuwandeln und die dazugehörige Nervenzelle die Signale dann an das Gehirn weiterleitet (Chandrashekar et al., 2006). Das Across-

¹ Sensorische Informationen lassen sich häufig topografisch darstellen. Sie werden als Organisationsmuster für die Verarbeitung von Wahrnehmungen im sensorischen Kortex betrachtet (Brewer & Barton, 2023). Für das Sehen lässt sich die Retinotopie, für den Tastsinn die Somatotopie und für das Hören die Tonotopie nennen. Diese beruhen auf der Abbildung eines zweidimensionalen Raumes auf der kortikalen Oberfläche (Avery, 2021). Chen et al. postulieren, dass jede Geschmacksqualität in einem separaten kortikalen Feld repräsentiert ist, was als Hinweis auf eine gustotopische Karte im Gehirn gewertet werden kann (X. Chen et al., 2011). Avery vertritt die Auffassung, dass eine gustotopische Darstellung des Geschmacks im Gehirn nicht gegeben ist. Dies wird damit begründet, dass der Geschmack nicht zweidimensional darstellbar ist und auch nicht erforderlich ist, da die wesentliche Funktion darin besteht, zu erkennen, was geschmeckt wird, nicht jedoch, wo es geschmeckt wird (Avery, 2021).

Fiber-Pattern beschreibt, dass Geschmacksrezeptorzellen in der Lage sind, verschiedene Geschmacksreize zu verarbeiten und geht somit von einer komplexeren Darstellung aus. Die Nervenzellen sind also nicht ausschließlich für einen bestimmten Geschmack kodiert, sondern arbeiten mit den anderen Neuronen im Verbund zusammen, um die Geschmacksqualität zu kodieren (Chandrashekar et al., 2006; Schiffman, 2000). Trotz experimenteller Evidenzen für beide Theorien konnte bisher keine zweifellos bestätigt werden.

2.4.3 Trigeminales System und Chemästhesie

Der N.V ist der fünfte Hirnnerv und versorgt sensorisch den Gesichtsbereich und motorisch die Kaumuskulatur (Casselmann et al., 2008). Über afferente Nervenfasern werden sensorische Informationen wie Schmerz, Temperatur und Berührung von den Nasennebenhöhlen, den Schleimhäuten, der Gesichtshaut, der Bindehaut und der Hornhaut des Auges und der Mundhöhle an das zentrale Nervensystem weitergeleitet (Klein, 2019; Viana, 2010).

Das Grundkonzept der Chemästhesie basiert auf der Erkennung chemischer Moleküle (wie z.B. Gewürze oder Kräuter) durch einen spezialisierten sensorischen Rezeptor, welcher die erhaltene Information in ein biologisches Signal umwandelt. Dieses Signal kann von dem menschlichen Körper auf unterschiedliche Weise wahrgenommen werden, beispielsweise als stechendes, brennendes, kühlendes, scharfes, kribbelndes Gefühl oder auch als Temperaturveränderung (Green, 2012; Klein, 2019). Die Umwandlung chemischer Reize im Mund-Nasenraum wird durch TRP-Kanäle vermittelt, die zur Familie der kationischen Transmembranproteine gehören. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Geschmacksbildung, Thermosensibilität, Nozizeption und Mechanosensibilität (Aroke et al., 2020; Roper, 2014). Der TRPV1-Kanal (Transienter Rezeptor-Potential-Kationenkanal der Unterfamilie V, Subtyp 1) ist in der Mund- und Nasenhöhle weit verbreitet und wird auch in nicht-gustatorischen sensorischen afferenten Fasern und in Keratinozyten der Mundhöhle exprimiert. Er wird beispielsweise durch den Stoff Capsaicin aktiviert, aber auch durch viele andere Reizstoffe. Capsaicin kommt in Chilischoten vor und ist für den scharfen Geschmack und das brennende, kribbelnde und heiße Gefühl verantwortlich (Caterina et al., 1997; Roper, 2014). TRPV1-Kanäle spielen gemeinsam mit dem strukturell verwandten thermosensitiven Kationenkanal TRPA1 (Transienter Rezeptor-Potential-Kationenkanal der Unterfamilie A, Subtyp 1) eine Rolle bei der Detektion der Chemästhesie (Rhyu et al., 2021).

Geruch, Geschmack und Chemästhesie sollen die Aromawahrnehmung beim Essen kreieren (Laing & Jinks, 1996). Weiterhin liefern sie dem Menschen Signale, die ihn vor Gefährdungen aus der Umwelt schützen. Dazu können beispielsweise das Verschlucken, das Einatmen oder allgemein die Aufnahme potenziell toxischer Substanzen gezählt werden. Green verwendet in diesem Kontext den Begriff „chemofensor complex“, wobei er zusätzlich die NCCs (nichtsensoryische Chemorezeptorzellen) sowie das Immunsystem als relevante Faktoren einbezieht. Diese Prozesse sind mit protektiven Eigenschaften assoziiert und können eine Vielzahl von Körperreaktionen auslösen, darunter Husten, Weinen, Niesen und Atemdepression (Green, 2012; Viana, 2010).

2.5 Textur und Verarbeitung

2.5.1 Lebensmitteltextur

Die Definition für die Textur von Lebensmitteln findet sich in der ISO – Norm 5492. Sie definiert Textur als

„alle mechanischen, geometrischen, Oberflächen- und Körpereigenschaften eines Produkts, die mit Hilfe von Kinästhetik- und Somesthetikrezeptoren und (gegebenenfalls) visuellen und auditiven Rezeptoren vom ersten Biss bis zum endgültigen Schlucken wahrgenommen werden können“ (Internationale Organisation für Normung, 2008).

Diese Reize, die beim Verzehr eines Lebensmittels auftreten, wirken gleichzeitig und umfassen die Gesamtheit der Texturerfahrung. Die Art und Weise, wie sich das Produkt während der Verarbeitung und beim Verzehr verhält, ist dabei von entscheidender Bedeutung (Rosenthal & Chen, 2024).

2.5.2 Lebensmitteltextur während des Kauprozesses

Vor dem Verzehr werden durch visuelle, taktile und auditive Reize umfangreiche Informationen über die Eigenschaften des Lebensmittels gesammelt. Bei der visuellen Verarbeitung spielen Farbe, Größe, Form und Struktur eine entscheidende Rolle (Rosenthal & Chen, 2024). 70% der Verbraucher treffen ihre Kaufentscheidung innerhalb von nur 0,4 Sekunden aufgrund des Aussehens (Milosavljevic et al., 2011). Bei einigen Obstsorten, wie zum Beispiel bei der Schalenfarbe einer Banane, können visuelle Eigenschaften als Indikator für den Reifegrad und die Textur dienen (Rosenthal & Chen, 2024). Nach der visuellen Beurteilung erfolgt dann die erste sensorische Wahrnehmung im Mund, welche Aufschluss über die Homogenität des Lebensmittels gibt. Dabei spielen Partikelgröße und -verteilung, Form sowie Luftgehalt der Partikel eine Rolle. Anschließend kann

es durch die Zunge und Speichel verformt werden, wobei Klebrigkeit, Elastizität und Viskosität wahrgenommen werden (Rosenthal & Chen, 2024; Sherman, 1969). Die ersten Kauvorgänge sind durch hohe Scherkraft gekennzeichnet und führen dazu, dass die Struktur aufgebrochen wird. Hierbei werden zahlreiche Texturen wahrgenommen, wie zum Beispiel Härte, Sprödigkeit, Knusprigkeit und Plastizität (J. Chen, 2014; Rosenthal & Chen, 2024). Beim anschließenden Zermahlen sind die Kieferbewegungen regelmäßiger und der abgesonderte Speichel vermischt sich zu einem kohärenten Bolus, der vor dem Schlucken weiter geformt wird (Hiemae, 2004). Das Aroma wird hauptsächlich durch die sensorischen Prozesse der retronasalen Geruchswahrnehmung, des Geschmacks und der chemosensorischen trigeminalen Wahrnehmung entfaltet (Braud & Boucher, 2020).

2.5.3 Viskosität eines Lebensmittels

Ein wichtiges Texturmerkmal ist die Viskosität. Sie lässt sich durch Verdickungsmittel beeinflussen, die in der Lebensmittelindustrie eine breite Anwendung finden. Sie beeinflussen beispielsweise die Cremigkeit von Joghurt oder die Dicke einer Suppe und wirken sich damit auf unser Mundgefühl aus (Bourne, 2002). Einige Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen unterschiedlicher Viskositäten auf den Geschmack von Lebensmitteln. So zeigte sich, dass bei einer Erhöhung der Viskosität, beispielsweise durch Hydrokolloide, die Intensität des Geruchs und des Aromas reduziert wird. In einer Studie wurden Tomatensaft, Kaffee und Orangensaft verschiedene Verdickungsmittel zugesetzt. Die Veränderung zu einer höheren Viskosität führte bei Tomatensaft zu einer Verminderung des sauren und salzigen Aromas, bei Orangensaft zu einer Verminderung des süßen und sauren Aromas und bei Kaffee zu einer Verminderung der Bitterkeit (Pangborn et al., 1978; Pangborn & Szczesniak, 1974). In einer weiteren Studie wurde untersucht, ob das Darbieten von Geruchsreizen (ortho- und retronasal) einen Einfluss auf das Texturempfinden der Proband:innen hatte. Den Proband:innen wurde dafür eine milchähnliche Substanzen mit unterschiedlicher Viskosität in den Mund gegeben. Parallel dazu wurde entweder orthonasal oder retronasal über ein Olfaktometer ein cremiger Geruchsreiz appliziert. Bei zunehmender Viskosität der milchähnlichen Substanz konnte eine Abnahme der Geschmacksintensität festgestellt werden. Diese Abnahme der Geschmacksintensität trat unabhängig davon auf, ob der Geschmacksreiz orthonasal oder retronasal verabreicht wurde. Eine weitere Erkenntnis war, dass ein retronasal applizierter Geruchsreiz beim Schlucken die Texturwahrnehmung (Steigerung der Intensität der Dicke) der Milch beeinflusste (Bult et al., 2007). Diese Ergebnisse zeigen die Komplexität

der verschiedenen sensorischen Modalitäten, wie Textur, Mundgefühl und Geruch, die bei der Geschmackswahrnehmung eine Rolle spielen.

2.5.4 Messmethoden oraler Mechanosensorik

Die taktile Sensibilität kann mit verschiedenen Testverfahren erfasst werden, wobei jedes Testverfahren unterschiedliche taktile Dimensionen misst. Es gibt verschiedene Modalitäten wie taktile, chemästhetische und thermische Sensibilität. Die Messung einer einzelnen Modalität kann keine Aussage über die taktile Sensibilität als Ganzes treffen. Bis heute gibt es keinen einheitlichen Test für die somatosensorische Sensibilität, da jeder Test seine eigenen Stärken und Limitationen hat. Außerdem existiert kein einheitlicher Bewertungsmaßstab (Riantiningtyas et al., 2024).

Punkt-Druck-Test

Zur Beurteilung der taktilen Sensibilität werden bei dieser Methode Von-Frey-Filamente verwendet. Die Nylonfäden sind unterschiedlich dick und üben einen bestimmten Druck auf die Zunge aus. Die Proband:innen müssen dann den wahrgenommenen Druck beurteilen. Von-Frey-Filamente werden häufig in der Medizin an Händen und Füßen zur Diagnose von Dysästhesien verwendet (Appiani et al., 2020).

Zwei-Punkt-Diskrimination

Im Rahmen der Zwei-Punkt-Diskrimination wird die Fähigkeit geprüft, zwei taktile Reize räumlich voneinander auf der Zunge zu unterscheiden. Die taktilen Reize werden mit einem Messzirkel gesetzt, an dem die Abstände eingestellt werden können. Hier kann auch ein Schwellenwert ermittelt werden, die sogenannte Zweipunktschwelle. Hierzu wird der Abstand schrittweise verringert, solange wie die Versuchsperson noch zwei Punkte voneinander unterscheiden kann. Der kleinste gemessene Abstand wird als Schwelle für die Zwei-Punkte-Unterscheidung definiert. Dieses Verfahren findet Anwendung in neurologischen Sensibilitätstests und zur Diagnose von Nervenschädigungen (Atkins & Kyriakidou, 2021; Furukawa et al., 2019).

Stereognosietestung

Die Stereognosie beschreibt die Fähigkeit, Objekte durch Tasten in ihrer Größe, Form und Anordnung zu erfassen, ohne visuelle oder auditive Informationen zu nutzen (Jacobs et al., 1998; Riantiningtyas et al., 2024). In der vorliegenden Studie wurden dazu gedruckte 3D-Großbuchstaben unterschiedlicher Größe verwendet, die die Proband:innen mit der Zunge ertasten sollten (Bogdanov et al., 2021; Essick et al., 1999; Lukase-

wycz and Mennella, 2012). Es gibt eine Reihe von Faktoren, die die Stereognosiefähigkeit beeinflussen. Einige Studien weisen auf einen negativen Einfluss des Alterns auf die linguale Texturempfindung hin (Bogdanov et al., 2021; Jacobs et al., 1998) während andere diesen Einfluss nicht bestätigen konnten (Lukasewycz & Mennella, 2012). Ein positiver Einfluss eines gesunden Zahnstatus auf die Stereognosiefähigkeit konnte nachgewiesen werden (Jacobs et al., 1998). Wie in Kapitel 6.2.1 beschrieben, scheint eine hohe Dichte an fungiformen Papillen mit einem verbessertem oralen Tastvermögen einherzugehen (Essick et al., 2003). Taktile Empfindungen werden über die Papilla fungiformes (Mistretta & Bradley, 2021), die Mechanorezeptoren des oralen Gewebes (wie Meissner-Körperchen, Vater-Pacini-Körperchen, Ruffini-Körperchen und Merkel-Zellen) und freie Nervenendigungen vermittelt (Kingsmill et al., 2005; Moayed et al., 2023).

Neben der rein oralen Tastfunktion sind auch kognitive Fähigkeiten notwendig, um die 3D-Buchstaben im Mund zu erkennen (Miles et al., 2018). Eine Forschungsarbeit verglich die Taktilität der Zunge mit der Fingerspitze und zeigte, dass die Zunge eine höhere Empfindlichkeit aufwies. Auch bei der Rauigkeitserkennung zeigte die Zunge eine höhere Erkennungsgenauigkeit als die Fingerspitze. Beim 3D-Buchstabentest zeigte die Fingerspitze jedoch eine bessere Wahrnehmungsgenauigkeit (Miles et al., 2018), denn wenn mit den Fingern getastet wird, ist man es gewohnt, den Gegenstand zu sehen und ist in der Lage, diese Bilder im Kopf zu speichern. Demgegenüber steht das Tasten mit der Zunge, denn beim Kauen wird das Objekt nicht gesehen. Untersuchungen haben folglich gezeigt, dass beim Erfassen von Objekten mit den Händen der visuelle Cortex aktiviert wird, während dies beim Erfassen mit der Zunge nicht der Fall ist (Fujii et al., 2011).

2.6 Schmeckstörungen

2.6.1 Epidemiologie und Allgemeines

Der Geschmackssinn kann als ein multimodaler Sinn bezeichnet werden, der neben dem Riechen auch die Mechanosensibilität und die Chemosensibilität umfasst. Eine Störung eines dieser Sinne resultiert in einer Beeinträchtigung des Geschmackssinns (Fark et al., 2013). Patient:innen, die unter Riech- und Schmeckstörungen leiden, berichten häufig über eine Beeinträchtigung der Lebensqualität und entwickeln in manchen Fällen Symptome einer Depression (B. Chen et al., 2021; Croy et al., 2014). Auch das Altern ist ein Faktor, der sich negativ auf die Wahrnehmung und Empfindung der Sinnesorgane auswirkt. Vor allem die Minderung des Riechsinn führt zu einer verminderten Wahrnehmung und dem Genuss von Lebensmitteln, was einen verringerten Appetit zur Folge

haben kann und wodurch wiederum ein erhöhtes Risiko eines Nährstoffmangels besteht (B. J. Rolls, 1999).

Im klinischen Alltag kann die Identifikation der Ursache der Beschwerden für Patient:innen mitunter eine Herausforderung darstellen. In vielen Fällen vermuten Patient:innen zunächst eine Beeinträchtigung des Geschmackssinns wobei sich im weiteren Verlauf aber oft ein Verlust der Geruchsfunktion zeigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Geschmack eng mit der retronasalen Wahrnehmung von Gerüchen verknüpft ist. Diese wird auch als Aromawahrnehmung bezeichnet (Deems et al., 1991; Hummel et al., 2012).

Im Rahmen einer groß angelegten amerikanischen Studie wurden 750 Patient:innen untersucht, die sich mit Geruchs- und Geschmacksstörungen vorstellten. Die Ergebnisse zeigten, dass weniger als 4% der Patient:innen ein nachweisbares Defizit im Geschmacksvermögen aufwiesen (Deems et al., 1991). In einer retrospektiven Studie des Universitätsklinikums Dresden im Zentrum für Riechen und Schmecken konnte ermittelt werden, dass von 4680 Patient:innen, die sich zwischen 1998 und 2011 vorstellten, nur ca. 10,5% von einer Schmeckstörung betroffen waren (Fark et al., 2013). Daraus geht hervor, dass Schmeckstörungen wesentlich weniger vertreten sind als Riechstörungen. In der klinischen Untersuchung ist es folglich unerlässlich, eine gründliche Anamnese durchzuführen und geeignete Testverfahren auszuwählen, welche mindestens die olfaktorische und gustatorische Funktionen überprüfen, um zu einer validen und korrekten Diagnose zu gelangen (Deems et al., 1991; Fark et al., 2013). Für die Diagnostik von Schmeckstörungen benötigt es noch mehr spezialisierte Instrumente, um beispielsweise auch die Mechano- und Chemosensibilität der Zunge zu überprüfen.

2.6.2 Systematik

Schmeckstörungen lassen sich wie folgt einteilen, in die Art der Schmeckstörung und in den Ort. Reine Schmeckstörungen werden in der Regel in quantitative und qualitative Schmeckstörungen eingeteilt. Quantitative Schmeckstörungen manifestieren sich in einer verminderten oder verstärkten Wahrnehmung von Geschmackseindrücken. Qualitative Schmeckstörungen können hingegen zu einer Fehlinterpretation oder halluzinatorischen Schmeckwahrnehmung führen.

Zu den quantitativen Schmeckstörungen zählen die Hypogeusie, die Hypergeusie sowie die Ageusie. Die Hypogeusie beschreibt einen teilweisen Verlust des Schmeckvermögens, welcher mit einer verminderten Schmeckempfindlichkeit einhergeht. Sie ist bei ca. 5% der Bevölkerung festzustellen (Welge-Lüssen et al., 2011). Demgegenüber steht die

Hypergeusie, die mit einer verstärkten Geschmacksempfindlichkeit einhergeht (Hummel et al., 2012; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Der Begriff Ageusie bezeichnet den vollständigen Verlust der Schmeckfunktion, der jedoch sehr selten vorkommt. Dies wird durch die Ergebnisse einer Studie zur Häufigkeit von Schmeckstörungen mit 761 Teilnehmer:innen bestätigt, in der keine Person mit einer Ageusie diagnostiziert wurde (Welge-Lüssen et al., 2011). In der wissenschaftlichen Literatur wird ihre Prävalenz mit lediglich ein bis zwei pro 1000 betroffenen Personen angegeben. Einen Fall von kongenitaler Ageusie ist bisher nicht nachgewiesen worden (Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Zunge von drei unterschiedlichen Nerven innerviert wird, dem N. VII, N. IX und N. X. Im Falle einer operativen oder unfallbedingten Läsion müssten alle Nerven betroffen sein, um eine Ageusie zu verursachen (Syed et al., 2016). Sie ist damit deutlich seltener als die Anosmie, bei der ein kompletter Verlust des Riechens vorliegt, an der ca. 1–5% der Bevölkerung leiden (Hummel et al., 2012; Vennemann et al., 2008). Quantitative Schmeckstörungen sind psychophysisch messbar (Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

Zu den qualitativen Schmeckstörungen zählen die Parageusie sowie die Phantogeusie (Fark et al., 2013). Die Parageusie bezeichnet einen unzulänglichen, nicht den Erwartungen entsprechenden Geschmackseindruck, der durch einen Reiz ausgelöst wird. Oftmals wird von Patient:innen über einen sauren, bitteren, fauligen oder metallischen Geschmack berichtet, obwohl die zugeführte Nahrung eigentlich eine andere Qualität aufweisen müsste. Ein Geschmacksempfinden, das trotz Abwesenheit eines dazugehörigen Reizes oder Stimulus auftritt, wird als Phantogeusie oder Schmeckhalluzination bezeichnet (Fark et al., 2013; Landis & Just, 2010; Syed et al., 2016; Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

2.6.3 Ätiologie

Die Ursachen für Schmeckstörungen sind vielfältig und werden in diesem Kapitel erörtert. Die Einteilung erfolgt hierbei je nachdem wo sich der Ort der Schädigung befindet. So können Schäden auf epithelialer, nervaler oder zentraler Ebene auftreten. Bei epithelialen Schmeckstörungen sind die Sinneszellen der Geschmacksknospen geschädigt oder verletzt. Bei nervalen Beeinträchtigungen ist oftmals die periphere Geschmacksbahn betroffen. Oft sind das postoperative Beschwerden, bei denen ein Nerv verletzt wurde. Eine seltene Ursache sind entzündliche Prozesse oder Gewebeeinfiltrationen von Tumoren, die einen Nerv schädigen. Zentrale Schädigungen betreffen die zentralnervöse Schmeckbahn im vom Bereich des Hirnstammes bis hin zu den spezifischen Hirnarealen (J. G. Heckmann et al., 2003; Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

In der klinischen Untersuchung werden zu den am häufigsten vorkommenden Ursachen für Schmeckstörungen idiopathische mit (34%), posttraumatische mit (24%) und postoperative mit (15%) genannt (Fark et al., 2013).

2.6.3.1 Epitheliale Ursachen

Radatio

Patient:innen mit einer Krebserkrankung im Kopf-Hals-Bereich, die einer Strahlentherapie ausgesetzt waren, berichten häufig von einem Geschmacksverlust (Deshpande et al., 2018). Dieser ist auf eine Abnahme der Geschmacksknospen, einer Dysfunktion der Speicheldrüsen oder einer Schädigung an Geschmacksrezeptorzellen und an Nervenzellen zurückzuführen. In einer Studie mit 61 Patient:innen die im Kopf-Hals-Bereich bestrahlt wurden, berichteten 30% der Patient:innen in der ersten Woche der Bestrahlung von Veränderungen im Geschmack während es in der 4. Woche schon 97% waren (Mathlin et al., 2023). Die Verminderung oder der Verlust des Geschmacksinnes kann zu einem Appetitverlust und in der Folge zu möglichem Gewichtsverlust sowie einem negativen Nährstoffstatus führen (Deshpande et al., 2018). Bei Patient:innen, die im Bereich der Parotisdrüse bestrahlt wurden, war eine Dysfunktion der Speicheldrüse zu beobachten, was zu einer Xerostomie führt (Mossman et al., 1982).

Medikamente

Vor allem ältere und multimorbide Menschen können von einer medikamentenassoziierten Schmeckstörung betroffen sein (Schiffman, 2018). Diese Entwicklung ist auch auf die Zunahme von Medikamentengebrauch, die sogenannte Polypharmazie, zurückzuführen, ein Phänomen, das weltweit zu beobachten ist und an klinischer Bedeutung gewinnt. Als problematisch erweisen sich dabei insbesondere Wechselwirkungen zwischen den Medikamenten (Wastesson et al., 2018). Die Medikation beeinflusst Transduktionswege, modifiziert biochemische Targets, Enzyme und Transporter, was sich nachteilig auf die Chemosensorik auswirkt. Zu den Nebenwirkungen zählen u. a. unerwünschte Empfindungen wie bitterer oder metallischer Geschmack, eine verminderte Sehschärfe sowie Wahrnehmungsstörungen. In einem Artikel präsentierte Schiffmann eine Zusammenstellung der 100 häufigsten verschriebenen Medikamente in den Vereinigten Staaten im Jahr 2017, welche Geschmacks- oder Geruchsstörungen hervorrufen können. Zu den Medikamenten zählen beispielsweise Antibiotika, wie Amoxicillin, Analgetika, wie Tramadol und Diclofenac, Antihypertensiva wie Amlodipin, Statine, wie Atorvastatin, Psychopharmaka und auch Antidiabetika (Schiffman, 2018).

Xerostomie

Mundtrockenheit tritt gehäuft bei älteren Menschen auf sowie bei Personen, die bestimmte Medikamente einnehmen oder eine Bestrahlung im Kopf-Hals-Bereich hatten. Die Prävalenz liegt bei 1–29 % der Bevölkerung, wobei Frauen häufiger betroffen sind. Die Betroffenen klagen über eine Vielzahl von Symptomen, darunter eine trockene und schmerzende Mundschleimhaut, erschwertes Schlucken, Beeinträchtigungen beim Essen und Schmeckstörungen (Sasano et al., 2010; Tanasiewicz et al., 2016). Eine wesentliche Funktion des Speichels besteht im Herauslösen der Geschmacksstoffe aus der Nahrung, um sie dann zu verdünnen und an die Geschmacksrezeptoren zu schwemmen. Des Weiteren verfügt der Speichel über eine protektive Eigenschaft gegenüber der gesamten Mundschleimhaut, da er antibakterielle, antivirale und antimykotische Bestandteile beinhaltet. Insbesondere wirkt er jedoch als Schutzbarriere für die Geschmacksrezeptoren gegenüber mechanischen und chemischen Einflüssen (Mosca & Chen, 2017; Sasano et al., 2010). Es konnte gezeigt werden, dass bei Patient:innen über 65 Jahren mit einer Hypogeusie die Speichelsekretion erheblich herabgesetzt war. Bei den gesunden älteren Kontrollgruppen war die Speichelsekretion hingegen normal. Das deutet darauf hin, dass eine eingeschränkte Speichelsekretion mit einer Verminderung der Schmeckwahrnehmung einhergeht (Sasano et al., 2010).

Burning-Mouth-Syndrom

Das Burning-Mouth-Syndrom (BMS) stellt eine chronische Erkrankung des Mundbereichs dar. Die Symptome umfassen ein schmerzhaftes, brennendes Gefühl im Mund was zu einer Beeinträchtigung des Geschmackssinnes führt. Das Hauptproblem liegt hierbei in dem chronischen Schmerz, wobei Schleimhautläsionen nicht vorhanden sind. Die Ätiologie ist multifaktoriell bedingt (Gurvits & Tan, 2013). Es wird angenommen, dass Wechselwirkungen zwischen lokalen, systemischen und/oder psychogenen Faktoren bestehen (Scala et al., 2003). Als Ursachen für die Beschwerden kommen neben Problemen mit Zahnprothesen auch Nahrungsmittelallergien, Vitamin-B- und Eisenmangel, ein nicht diagnostizierter Diabetes mellitus, eine Dysfunktion der Speicheldrüsen, ösophagealer Reflux – sowie psychologische Erkrankungen in Betracht (Lamey & Lamb, 1988). Des Weiteren können verschiedenste Medikamente sowie menopausale Veränderungen, die mit einem Mangel an Östrogen assoziiert werden, ein BMS auslösen. Als prädisponiert gelten prämenopausale sowie postmenopausale Frauen (Gurvits & Tan, 2013). Lamey führt zudem an, dass Frauen über 50 Jahren ebenfalls betroffen sein können (Lamey & Lamb, 1988). Das BMS wird in ein primäres, idiopathisches und sekundäres BMS unterteilt. Beim primären BMS besteht keine Klarheit hinsichtlich der Ursache, wobei keine organischen oder systemischen Faktoren vorliegen. Demgegenüber

steht das sekundäre BMS, bei dem pathologische Faktoren als Ursache angenommen werden. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich, andere Mundschleimhautrekrankungen, wie beispielsweise eine Stomatitis, auszuschließen. Hinsichtlich der Einordnung von Depressionen und Angstzuständen in die Kategorien primär oder sekundär besteht derzeit noch keine Klarheit (Scala et al., 2003).

Neurologische Erkrankungen

Auch neurologische Erkrankungen können sich auf die Zungenpapillen sowie den Geschmackssinn auswirken. Zu den Krankheiten, die mit einer verminderten Dichte an Zungenpapillen einhergehen, gehören beispielsweise die Machado-Joseph-Krankheit, das Stüve-Wiedemann-Syndrom sowie die familiäre Dysautonomie. Zu den Krankheiten, die reine Geschmacksstörungen ohne Einfluss auf die Papillendichte verursachen, zählen der Morbus Alzheimer, die Huntington-Krankheit, die hereditäre sensorische und autonome Neuropathie Typ IV sowie der Diabetes mellitus. In Bezug auf den Morbus Parkinson konnte eine erhöhte Geschmackssensitivität im Rahmen der elektrogustometrischen Schwellenmessung festgestellt werden (Gardiner et al., 2008; Sienkiewicz-Jarosz et al., 2005). Die Arbeitsgruppe um Gardiner postuliert, dass diese Krankheiten mit einem Mangel oder Überschuss an Neutrophinen assoziiert sein könnten. Neutrophine fungieren als Signalstoffe, welche Verbindungen zwischen sensorischen Zellen schaffen (Gardiner et al., 2008). Der Geruchsverlust ist eines der ersten Symptome einer Parkinson-Krankheit und wurde bei ca. 90% der Erkrankten festgestellt (Haehner et al., 2009). Die Riechstörung geht meist 10 Jahre voraus, im Vergleich zu den motorischen Symptomen. Bei einigen Patient:innen wird auch von einem Geschmacksverlust berichtet, meist in Kombination mit einem Geruchsverlust. Es wurde außerdem gezeigt, dass bei kombiniertem Geruchs- und Geschmacksverlust im Vergleich zum reinen Geruchsverlust eine dreimal höhere Häufigkeit besteht an Morbus-Parkinson zu erkranken. Deshalb ist es wichtig, sowohl olfaktorische als auch gustatorische Funktionen überprüfen zu lassen (Haehner et al., 2019).

Unfälle / Schädelhirntrauma

Kopftraumata stellen neben einer Infektion der oberen Atemwege sowie einer chronischen Nasennebenhöhlenentzündung den Hauptgrund für die Vorstellung in einer Hals-Nasen-Ohren-Klinik bezüglich einer Schmeckstörung dar (Deems et al., 1991). Eine posttraumatische Geschmacksstörung kann durch eine Verletzung der Zunge, eine Schädigung der Hirnnerven VII, IX oder X sowie durch eine kortikale hämorrhagische Kontusion des Hirnstamms oder der Hirnrinde bedingt sein, wie sie beispielsweise bei

einem Schädel-Hirn-Trauma vorkommen kann. Eine Verletzung des N. IX und X durch ein Kopftrauma ist aufgrund ihrer geschützten Lage eher unwahrscheinlich. Der N. VII hingegen ist durch seine extrakranielle Lage am verletzlichsten (Reiter et al., 2004). Auch nach einem Schlaganfall können Geschmacksstörungen auftreten (J. G. Heckmann et al., 2005).

Genetik

Es gibt Hinweise darauf, dass Patient:innen die an einer Phantogeusie leiden, eine erhöhte Expression der Geschmacksrezeptoren T2R haben. Dies könnte ein Ansatz sein, um die Pathogenese der Phantogeusie zu entschlüsseln (Hirai et al., 2012). In einer weiteren prospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass Patient:innen mit einer Hypogeusie eine geringere Expression an Geschmacksrezeptoren aus der Familie der T2R hatten, im speziellen betraf das den Geschmacksrezeptor TAS2R40 (Onoda et al., 2011). Da in beiden Studien die Kohorten klein waren, braucht es hier noch weitere Forschung, um eine geeignete Therapie zu entwickeln.

2.6.3.2 Nervale Ursachen

Postoperativ

Postoperative Ereignisse stellen mit 24% eine beachtlich große Gruppe dar. Dazu können beispielsweise Operationen im Kopf-Hals-Bereich wie Mittelohroperationen, Tonsillektomien, die Mikrolaryngoskopie und Zahn- und Kieferoperationen gezählt werden. Auch die tracheale Intubation mit einer Kompression der Zunge kann zu einer Schmeckstörung führen (Landis & Just, 2010).

Chirurgische Eingriffe am Ohr sind häufig mit einer Schädigung der Chorda tympani verbunden, die aufgrund ihrer exponierten anatomischen Lage in der Plica mallearis, einer Schleimhautfalte in der Paukenhöhle am Rand des Trommelfells, besonders prädisponiert ist. Die von den meisten Patient:innen geschilderten Symptome umfassen einen metallischen Geschmack sowie bitter und salzig Parageusien (Bull, 1965). Im Falle einer Verletzung bzw. Durchtrennung des Nervs im Rahmen eines operativen Eingriffs ist eine Reparatur des Nervs indiziert, um die Wiederherstellung der Geschmacksfunktion zu gewährleisten (Saito et al., 2001).

Nach einer Tonsillektomie berichten ca. 8 % der Patient:innen nach sechs Monaten unter Schmeckstörungen zu leiden. Die Einteilung erfolgt hier in drei Kategorien: vorübergehend und von kurzer Dauer, vorübergehend und von langer Dauer oder dauerhaft. Eine

langfristige Dysgeusie nach Tonsillektomie zeigt sich jedoch lediglich bei etwa einem Prozent der Patient:innen (Heiser et al., 2012).

Als eine mögliche iatrogene Ursache kann die Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior genannt werden. In einer von Hotta et al. veröffentlichten Fallstudie werden zwei Patientinnen vorgestellt, die nach einer Unterkiefermolarenextraktion über unilaterale Schmeckstörungen klagten. Bei einer Patientin konnte eine Einschränkung der Wahrnehmung von Temperatur, Tastsinn und Schmerzempfinden diagnostiziert werden. Bei beiden Patientinnen konnte eine einseitige Atrophie der fungiformen Papillen festgestellt werden. Es wird davon ausgegangen, dass eine Beschädigung des N. lingualis und der Chorda tympani durch eine Leitungsanästhesie vorlag, welche zu einer ipsilateralen Schmeckstörung führte. Die Schmeckfunktion konnte sich bei beiden Patientinnen innerhalb eines Jahres wiederherstellen und regenerieren (Hotta et al., 2002).

2.6.3.3 Zentrale Ursachen

Zentrale Schädigungen betreffen die zentralnervöse Schmeckbahn im vom Bereich des Hirnstammes bis zu kortikalen Regionen. Sie kommen relativ selten vor und wenn es zu Schädigungen in diesem Bereich des Gehirns kommt, dann ist das Schmeckproblem meist nicht vorrangig, sondern andere lebenswichtigere Funktionen (J. G. Heckmann et al., 2003; Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

2.6.3.4 Zellalterung und Lebensstil

Alterungsprozess

Altern wird als ein schrittweiser Verlust der physiologischen Integrität definiert, welcher zum Verlust verschiedenster Funktionen im Körper führt. Der Funktionsverlust ist in erster Linie auf Schäden an der DNA, den Zellen und an den Geweben zurückzuführen, welche im Alter nicht mehr repariert werden können (López-Otín et al., 2013). Der Alterungsprozess geht auch mit Veränderungen des Geschmackssinns einher. So nimmt die Dichte fungiformer Papillen ab, was sich in elektrogustometrischen Messungen als erhöhte Schwellenwerte äußerte (Pavlidis et al., 2013). Ebenfalls konnte eine Abnahme der Zwei-Punkt-Diskrimination in der Mundschleimhaut älteren Menschen beobachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit liegt bei 40 %, dass zahnlose Menschen jenseits des mittleren Alters an einer geringeren Wahrnehmung oraler taktiler Reize leiden werden (Brill et al., 1974). Die genauen Ursachen dieser Entwicklungen sind bislang jedoch noch nicht vollständig aufgeklärt (Chia et al., 2023).

Lebensstil

Neben dem Alter hat auch der Lebensstil einen Einfluss auf den Riech- und Geschmackssinn. Der Konsum von Tabak und Alkohol kann sich negativ auf die gustatorische Wahrnehmung auswirken (Pavlos et al., 2009; Silva et al., 2016). Bei Alkoholiker:innen, zum Beispiel, wurde eine herabgesetzte Geschmackssensitivität festgestellt, insbesondere bei der Erkennung von süßen Geschmacksreizen, was die Nahrungsmittelwahl negativ beeinflussen und weitere Erkrankungen begünstigen kann. Maßgeblich ist hierbei ein Mangel an Zink, der durch den Alkoholmissbrauch bedingt ist und zu einer Atrophie und Keratinisierung der Geschmacksknospen führt (Silva et al., 2016).

2.6.4 Diagnostik

Für den Geruchssinn stehen zum Zeitpunkt dieser Studie standardisiertere Testverfahren zur Verfügung als für den Geschmackssinn. Für die somatosensorische Wahrnehmung existieren bislang nur wenige zufriedenstellende, standardisierte Testverfahren (Riantiningtyas et al., 2024). In den nächsten Unterkapiteln werden diagnostische Verfahren vorgestellt, die bei Patient:innen mit Schmeckstörungen Anwendung finden.

2.6.4.1 Basisdiagnostik

Im Rahmen der Basisdiagnostik erfolgt zunächst eine ausführliche Anamnese. Die Anamnese umfasst das Abfragen der Selbsteinschätzung der Patient:innen bezüglich ihres Riech- und Schmeckvermögens, eine zeitliche Einordnung der bestehenden Probleme sowie die Abfrage von Veränderungen der Schmeckstörung. Des Weiteren ist zu eruieren, ob eine Operation im Kopf-Hals-Bereich stattgefunden hat, welche allgemeinen Erkrankungen vorliegen, ob zahnärztliche Eingriffe vorgenommen wurden, ob eine neue Medikation erfolgt ist, ob Infektionen der oberen Atemwege aufgetreten sind und ob Vorerkrankungen in der Familie bekannt sind. Darüber hinaus ist zu erheben, ob die Patient:innen, beispielsweise im beruflichen Kontext Noxen ausgesetzt sind. Darüber hinaus wird erfragt, ob ein Alkoholabusus oder Nikotinkonsum vorliegt. Des Weiteren wird eruiert, ob die Patientinnen und Patienten über ein Brennen der Mundschleimhaut klagen und ob sie in der Lage sind, eine adäquate orale Hygiene zu praktizieren (Fark et al., 2013; Schuster et al., 2009; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Obwohl die Befragung der Patient:innen von essenzieller Bedeutung ist, erweist sich diese in der Erfassung von Schmeckstörungen vielfach als unzureichend, da sie eine geringe Sensitivität und Spezifität aufweisen (Soter et al., 2008). Daher ist die Verwendung geeigneter Testverfahren sowie deren kontinuierliche Weiterentwicklung von Bedeutung.

Im Anschluss an die Anamnese erfolgt die Erhebung des HNO-Status mit vorderer Rhinoskopie und Endoskopie der Riechspalte (Müller & Renner, 2022). Im Rahmen der

zahnärztlichen Untersuchung ist eine visuelle Inspektion der Mundhöhle erforderlich, welche eine Betrachtung des Zahnfleisches und der Zähne sowie der Schleimhäute umfasst. Zudem ist eine Inspektion der Zunge durchzuführen. Prothetische Versorgungen sind ebenfalls zu begutachten. Darüber hinaus ist der Mundhygienestatus zu bewerten. Eine Beurteilung der vorliegenden Mundtrockenheit ist möglich. Des Weiteren müssen einige Nährstoffe wie Vitamin B12, Eisen und Folsäure über ein Blutbild abgeklärt werden, da ein Mangel zu einer Geschmacksstörung führen kann (Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

2.6.4.2 Allgemeines zu den Testverfahren

Im Vergleich zum Riechsinn ist die Testung der Geschmacksfunktion noch nicht in demselben Ausmaß weiterentwickelt worden. Im Hinblick auf die Testung von qualitativen Schmeckstörungen besteht die Problematik, dass lediglich objektive Aussagen der Patient:innen erfasst werden können, da eine Messung noch nicht möglich ist. Dahingehend sollte ein besonderes Augenmerk auf die Anamnese gelegt werden. Quantitative Schmeckstörungen sind messbar, und sind ebenfalls in der Weiterentwicklung. Meist wird die Funktion der fünf Grundgeschmacksarten süß, sauer, salzig, bitter und umami getestet (Schuster et al., 2009). In den nachfolgenden Zeilen wird ein Überblick über verschiedene Testverfahren gegeben.

Für die Testung der Riechfunktion gibt es seit ca. 20 Jahren standardisierte Tests. Zu den etablierten Testverfahren zählt der sogenannte Sniffin' Sticks-Test. Er umfasst die Messung der Riechschwelle und der Geruchsdiskrimination sowie die Identifikationsprüfung von Gerüchen (Hummel et al., 1997; Walliczek et al., 2016). Zur Evaluierung der retronasalen Riechfunktion wird der Pulvertest eingesetzt, welcher 20 verschiedene Gewürze in Pulverform umfasst und auf die Zunge appliziert wird (Niklassen et al., 2022). Abschließend kann durch die Erfassung der Riechleistung eine Einteilung in Normosmie, Hyposmie und Anosmie erfolgen (Müller & Renner, 2022).

2.6.4.3 Psychophysische Testverfahren

Die Erfassung quantitativer Schmeckstörungen erfolgt mittels psychophysischer Testungen, wobei eine aktive Mitarbeit der Patient:in erforderlich ist. Zudem darf keine Demenz vorliegen (Müller & Renner, 2022). Im Rahmen der psychophysischen Testungen kann eine Einteilung in zwei Testverfahren vorgenommen werden. Zunächst ist die Ganzmundtestung zu nennen, welche die alltagsrelevante Schmeckfunktion überprüfen kann. Eine weitere Möglichkeit der Testung stellt die Seitenprüfung der Zunge dar, welche bei

halbseitigen Schmeckstörungen von Relevanz ist (Landis & Just, 2010; Welge-Lüssen & Hummel, 2008).

Drei-Tropfen-Methode und Schmecksprays

Die Ganzmundtestung kann mittels der Drei-Tropfen-Methode, sowie durch die Anwendung von Schmecksprays durchgeführt werden. Hierbei werden Tropfen oder Sprays auf die Zunge der Patient:in appliziert, welche im Anschluss im Mund bewegt und erkannt werden müssen (Welge Lüssen 2008). Die Applikation der Tropfen erfolgt auf die vorderen zwei Drittel der Zunge, wovon einer eine Geschmackslösung enthält, die einer der fünf Grundgeschmacksqualitäten entspricht. Die beiden anderen Tropfen bestehen aus Wasser. Der Schmeckspraytest überprüft die Grundgeschmacksqualitäten mittels ein oder mehrerer Pumpstöße einer vorgefertigten Lösung mit Wasser (Saccharose für süß, Zitronensäure für sauer, Kochsalz für salzig und Chininhydrochlorid für bitter) (Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Ziel beider Tests besteht in der korrekten Erkennung der jeweiligen Schmeckqualität. Darüber hinaus kann mit der Drei-Tropfen-Methode durch Herstellung unterschiedlicher Konzentrationen, die Schmeckschwelle ermittelt werden (Henkin et al., 1963; Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Bei Auffälligkeiten im Rahmen der Ganzmundtestung kann ein detaillierter Test durchgeführt werden, beispielsweise der Schmeckstreifentest.

Schmeckstreifentest

Dieses Testverfahren stellt ein schnelles Screening aus 16 Filterpapierstreifen (Taste Strips) dar. Die Streifen sind mit den fünf Geschmacksqualitäten in unterschiedlichen Konzentrationen imprägniert. Dieser Test wird hauptsächlich zur regionalen Testung der Zunge eingesetzt, beispielsweise bei Verdacht auf eine einseitige Nervenschädigung. So ist es möglich, bestimmte Bereiche der Zunge zu testen (Mueller et al., 2003). Der Filterstreifen wird auf den zu untersuchenden Bereich der Zunge gelegt und bleibt die gesamte Testdauer hindurch herausgestreckt, um eine Verteilung des Geschmacksstoffs im gesamten Mundraum zu verhindern (Welge-Lüssen & Hummel, 2008). Im Vergleich zu flüssigen Aromastoffen weisen die Streifen eine längere Haltbarkeit auf und überzeugen zudem durch eine einfache und schnelle Handhabung sowie eine hohe Reproduzierbarkeit (Mueller et al., 2003). Die Anwendung der Streifen ist nicht geeignet, um die orale Chemosensorik zu evaluieren. Dazu gehören beispielsweise brennende, kühlende und adstringierende Empfindungen sowie taktile Wahrnehmungen (Mastinu et al., 2022).

Gustatorisch evozierte Potentiale (GEP)

Die Durchführung dieses Testverfahrens ist auf spezielle Zentren in Deutschland beschränkt, sodass es sich nicht um einen Standardtest im klinischen Alltag handelt, sondern eher in der Forschung Verwendung findet (Welge-Lüssen & Hummel, 2008). GEPs stellen eine noch junge Untersuchungsmethode dar, die erstmals von Funakoshi und Kawamura im Jahr 1971 etabliert wurde. Die Herausforderung derartiger Testverfahren besteht darin, die zu untersuchenden Geschmacksstoffe ohne vorherige Aktivierung, beispielsweise durch taktile oder thermische Reize, auf die Zunge zu bringen. Im Rahmen dieser Methode erfolgt eine Zerstäubung von Wasser, das mit verschiedenen Geschmacksstoffen versetzt und durch ein Röhrchen auf die Zunge gesprüht wird, um die Geschmacksrezeptoren zu reizen. Die Dauer jedes Stimulus beträgt etwa 200 ms. Die Stimulation wird mittels eines Elektroenzephalogramms aufgezeichnet, wobei die Augenbewegungen anschließend herausgerechnet werden. Des Weiteren erfolgt eine Messung des Hautwiderstands, um eine Beeinflussung zerebraler Aktivitäten zu verhindern (Kobal, 1985).

Elektrogustometrie

Die Elektrogustometrie ist ein etabliertes klinisches Instrument, um die Geschmacksschwelle zu bestimmen. Es gibt zwei unipolare Elektroden: eine Kathode, die am Hals, am Unterarm oder an der Hand und eine Anode, die an der Zunge angebracht wird. Die Anode auf der Zunge ist in der Regel eine Edelstahlelektrode mit einem Durchmesser von 5 mm, deren Reizstärke schrittweise erhöht wird. Ein Strom von 30µA erzeugt bei einem normal schmeckenden Menschen einen überschwelligeren Reiz, der als metallisch, sauer oder salzig beschrieben werden kann (Ohla et al., 2009; Stillman et al., 2003). Die Elektrogustometrie wird hauptsächlich verwendet, um die gustatorische Funktion der Chorda tympani, des N. petrosus major und des N.IX zu testen. Auch eine einseitige Nervläsion kann damit festgestellt werden. Die Vorteile des Tests sind die schnelle und einfache Durchführung und dass bereits leichte Schmeckstörungen damit erfasst werden können (Stillman et al., 2003; Tomita & Ikeda, 2002). Nachteile sind, dass die einzelnen Schmeckqualitäten nicht erfasst werden können und bei höheren Stromstärken der N.V mit gereizt werden kann (Stillman et al., 2003).

MRT und CT

Weitere Möglichkeiten der Diagnostik stellen bildgebende Verfahren wie das fMRT und das CT dar, bei denen Läsionen der Schmeckbahn erkannt werden können.

Chemosensorische Tests

Mittlerweile gibt es einige Testmethoden, die auch die chemästhetische Sensibilität testen, wie Schärfe, Adstringenz und Temperatur. Für die Testung des Schärfeempfindens wird mit Capsaicin-imprägnierten Filterpapierstreifen, essbaren Streifen oder Kapseln gearbeitet (Just et al., 2007; Smutzer et al., 2018). Adstringierende Empfindungen können von Polyphenolen wie Tannin ausgelöst werden, die als pflanzliche Gerbstoffe beispielsweise in Kaffee, Tee, Wein und Äpfeln vorkommen. Für das Temperaturempfinden kann Menthol verwendet werden, welches einen kühlenden Effekt hat (Lee & Lawless, 1991; Roukka et al., 2021). Für diese Tests können die Proband:innen die verschiedenen Substanzen in Wasser gelöst einnehmen und im Mund bewegen oder mit vorgefertigten Teststreifen durchgeführt werden (Mastinu et al., 2022; Roukka et al., 2021).

Ein neues Testverfahren ist der „seven-iTT“ Test, der die Geschmackssensitivität und die somatosensorischen Funktionen, wie Schärfe und Adstringenz testet. Er besteht aus insgesamt 12 Teststreifen. Vier Teststreifen enthalten die Geschmacksqualitäten süß, sauer, salzig und bitter. Zwei weitere enthalten die Stoffe Tannin und Capsaicin, mit denen die somatosensorischen Empfindungen überprüft werden. Für jede Qualität gibt es eine niedrige und eine hohe Konzentration (Mastinu et al., 2022).

2.6.5 Therapie

Wichtig für die Therapieauswahl ist eine ausführliche Diagnostik und eine richtig gestellte Diagnose. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die aktuellen Therapiemöglichkeiten für Schmeckstörungen gegeben. Bei Schmeckstörungen besteht die Möglichkeit einer Spontanheilung, die jedoch Monate bis Jahre dauern kann. In einer retrospektiven Studie von Deems kam es bei 2/3 der Patient:innen innerhalb von ca. 10 Monaten zu einer Spontanheilung (Deems et al., 1996).

Zinktherapie

Im Rahmen der Therapie einer Dysgeusie wird in der Regel eine Behandlung mit Zink eingeleitet. Zink erfüllt im menschlichen Körper eine Vielzahl von Funktionen. Es fungiert als Katalysator für zahlreiche Enzyme und ist an zahlreichen zellulären Prozessen beteiligt, beispielsweise an der Wundheilung. Zudem spielt es eine Rolle bei der DNA- und RNA-Polymerase, was es zu einem wichtigen Bestandteil der Zellteilung macht. Darüber hinaus hat es antioxidative Eigenschaften, indem es freie Radikale neutralisiert (Stefanidou et al., 2006). Zur Wirkung von Zink existieren diverse Studien, deren Ergebnisse jedoch nicht eindeutig sind. In einer randomisierten placebo-kontrollierten Studie mit insgesamt 50 Patient:innen, die unter einer idiopathischen Geschmacksstörung litten,

konnte eine Verbesserung des Geschmacksvermögen beobachtet werden. Die Patient:innen erhielten über einen Zeitraum von drei Monaten täglich 140 mg Zinkgluconat, während die Kontrollgruppe ein Placebo verabreicht bekam (S. M. Heckmann et al., 2005).

In einer weiteren Studie führte eine Zinksupplementation (30 mg Zn pro Tag) über einen Zeitraum von sechs Monaten bei gesunden Proband:innen über 70 Jahren zu einer signifikanten Steigerung der Geschmacksempfindlichkeit für salzige Geschmacksstoffe. Die Empfindlichkeit gegenüber süß, bitter und sauer blieb dabei unverändert (Stewart-Knox et al., 2008). Patient:innen, die sich in chemotherapeutischer Behandlung befanden und unter Geruchs- und Geschmacksstörungen litten, bekamen ein Zinkpräparat, welches keinen signifikanten Nutzen für Patient:innen ergab (Lyckholm et al., 2012).

Mundhygiene

In einigen kleineren Studien konnte nachgewiesen werden, dass eine adäquate orale Hygiene das Schmeckvermögen verbessern kann. So wurden 23 Bewohner:innen eines Altenpflegeheims mit schlechter Mundhygiene in eine Kontrollgruppe und eine Testgruppe eingeteilt. Die Testgruppe erhielt neben Instruktionen zur allgemeinen Mundhygiene und zur Zahnzwischenraumpflege eine professionelle Zahnreinigung sowie dreimal wöchentlich eine Reinigung der Zunge, der Zähne und des Zahnfleisches. Die Kontrollgruppe erhielt lediglich dreimal wöchentlich eine Placebobehandlung. Die Geschmackswahrnehmung für süß und salzig zeigte sich bei der Testgruppe deutlich verbessert. Die Resultate der Studie legen nahe, dass eine verbesserte orale Hygiene das Schmeckvermögen verbessern kann (Langan & Yearick, 1976). An dieser Stelle sei auch auf die Bedeutung der Ernährungsberatung in Pflegeheimen hingewiesen. Bei olfaktorischen und gustatorischen Dysfunktionen ist die Nährstoffaufnahme älterer Menschen häufig eingeschränkt, da der Appetit und der Genuss am Essen nachlassen. Es wird angenommen, dass es zu einer verminderten Empfindlichkeit gegenüber Saccharose und Natriumchlorid kommen kann, was zu einer erhöhten Aufnahme und in der Folge zu weiteren Erkrankungen führen kann (B. J. Rolls, 1999).

Medikamente

Einige Krebsmedikamente, die in die Zellproliferation eingreifen, können Schmeckstörungen verursachen. Des Weiteren können Medikamente mit einer Sulfhydrylgruppe (–SH), wie beispielsweise, ebenfalls zu chemosensorischen Dysfunktionen führen. So

können Penicillamin oder Captopril einen Zinkmangel verursachen, der zu Geschmacksstörungen führen kann. Bei medikamenteninduzierten Schmeckstörungen kann das verursachende Medikament, nach Möglichkeit, abgesetzt oder ausgetauscht werden.

Mikronährstoffe

Ein Review analysiert den Einfluss von Mikronährstoffen auf den Geschmackssinn. Im Fokus der Recherche stehen die Vitamine E, A, D, C, B3, B6, B9, B12, Alpha-Liponsäure und Zink. Die Ergebnisse zeigen, dass ein Mangel an verschiedenen Nährstoffen zu Geruchs- oder Geschmacksstörungen führen kann. Eine Blutanalyse oder die Einnahme von entsprechenden Supplementen können in solchen Fällen sinnvoll sein (Younes, 2024).

Obwohl es bereits Therapieansätze zur Behandlung von Schmeckstörungen gibt, fehlt es zum Zeitpunkt dieser Studie weiterhin an sicheren und verlässlichen Therapiemöglichkeiten.

3 Hypothesen, Fragestellungen und Ziele

Die Studie hatte zum Ziel, die orale Mechanosensorik zu untersuchen, d. h. das orale Tastempfinden bei Patient:innen mit Schmeckstörungen. Dabei wurde die Hypothese aufgestellt, dass Patient:innen mit Schmeckstörungen zusätzlich Einschränkungen in der trigeminalen Chemosensorik aufweisen. Es wurden dafür eine gesunde Kontrollgruppe, eine Gruppe mit Riechstörungen und eine Gruppe mit Riech- und Schmeckstörungen gebildet und miteinander verglichen. Die beiden Haupttests zur Überprüfung der somatosensorischen Funktion sind der Schärfetest und der 3D-Buchstabentest.

Es ergeben sich folgende Fragestellungen:

1. Haben Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen eine geringere Lebenszufriedenheit als die gesunde Kontrollgruppe?
2. Hat der PTC-Schmeckstatus eine Auswirkung auf das orale Texturempfinden?
3. Haben Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen eine geringere Reizempfindlichkeit auf Capsaicin im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe?
4. Haben Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen ein geringeres Tastvermögen (Stereognosiefähigkeit und somatosensorische Sensibilität) im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe?
5. Hat das Riechvermögen einen Einfluss auf die orale Texturempfindung?

Die sich daraus ergebenden Hypothesen lauten:

1. Patient:innen mit herabgesetztem Riech- und Schmeckvermögen weisen einen signifikant niedrigeren Wert im Satisfaction with Life Scale Fragebogen (SWLS) als gesunde Proband:innen auf.
2. Ein positiver PTC-Schmeckstatus geht mit einer verbesserten oralen Texturempfindung einher.
3. Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen haben eine Einschränkung in der Wahrnehmung ihrer somatosensorischen Sensibilität gegenüber gesunden Proband:innen.
4. Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen haben eine Einschränkung in ihrer oralen Tastempfindung im Vergleich zu gesunden Proband:innen.
5. Patient:innen mit Riechstörungen weisen ebenfalls Einschränkungen in ihrer oralen Tastempfindung auf.

4 Material und Methoden

4.1 Ethische Aspekte

Die Datenerhebung fand unter Einhaltung der aktuellen Richtlinien der Deklaration von Helsinki statt und wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Technischen Universität Dresden als positiv bewertet und bewilligt (EK516102021).

4.2 Studienpopulation

Insgesamt nahmen 90 Proband:innen an der Studie teil. Das Alter reichte von 20 bis 91 Jahre, das mittlere Alter betrug 61,4 Jahre. Insgesamt wurden drei Personen aus der Studie ausgeschlossen, zwei aufgrund ungeklärter Diagnose und eine Person aufgrund von Nikotinabusus, sodass 59 weibliche und 28 männliche Proband:innen in die statistische Auswertung einbezogen wurden. Mit 67,41 Prozent (%) ($n = 87$) lag der Anteil der Frauen über dem der Männer (32,58 %; $n = 87$). Die Testungen erfolgten im Zeitraum von Mai 2022 bis Juni 2023 einerseits im Zentrum für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Dresden mit insgesamt 55 Testungen und in der Zahnarztpraxis Dr. Roßmann in Pirna mit 35 Testungen. Die Gruppe der Proband:innen teilte sich in eine gesunde Kontrollgruppe mit 40 Proband:innen, bei denen keine Auffälligkeiten im Riech- und Schmeckvermögen festzustellen war, und in eine Patient:innengruppe, bei denen entweder Auffälligkeiten des Schmeckvermögens und oder des Riechvermögens bei den Testungen festgestellt wurden oder die bereits im Zentrum für Riechen und Schmecken am Universitätsklinikum vorstellig wurden.² Die erste Gruppe umfasste 26 Patient:innen, die unter einer isolierten Riechstörung litten (olfac), die zweite Gruppe bestand aus 21 Patient:innen mit kombinierter Riech- und Schmeckstörung (olfac/gust).

Einschlusskriterien waren die freiwillige Teilnahme an der Studie und ein Mindestalter von 18 Jahren. Ausschlusskriterien waren eine vorliegende Schwangerschaft, Nikotinabusus und wesentliche gesundheitliche Beeinträchtigungen, wie z.B. eine ausgeprägte Niereninsuffizienz, die mit Störungen der gustatorischen Funktion einhergehen können. Die Teilnehmenden erhielten für die freiwillige Teilnahme an der Studie keine finanzielle Entschädigung.

² Detaillierte Informationen zu Schwellenwerten der Proband:innen, um in die Gruppe der (Riech- und) Schmeckstörungen zu gehören, finden sich im Kapitel xx.

4.3 Studienablauf

Die Datenerhebung erfolgte im Rahmen einer offenen prospektiv-kontrollierten Studie. Zuerst wurden die Ein- und Ausschlusskriterien überprüft, danach fand die mündliche Aufklärung über die Studie statt und das Informationsblatt zur Studie wurde an alle Teilnehmenden ausgehändigt. Weiterhin wurde der Untersuchungsablauf erläutert und das mündliche und schriftliche Einverständnis der Proband:innen eingeholt. Sämtliche Vorbereitungen und die Datenerhebung selbst erfolgten in einem Termin und dauerten insgesamt ca. 45 Minuten pro Person.

Die Proband:innen füllten eigenständig einen Anamnesebogen aus, bei dem nur beim Aufkommen von Fragen geholfen wurde. Als zweites erfolgte die Erfassung der Lebenszufriedenheit mittels SWLS, die Testung mit PTC Schmeckstreifen und die psychophysische Testung des Schmeckvermögens. Weiterhin wurde die taktile Empfindung der Zunge mit 3D-Buchstaben geprüft. Zum Abschluss erfolgte eine Schärfetestung mit Capsaicin. Die einzelnen Untersuchungsmethoden werden im Folgenden ausführlicher betrachtet.

4.4 Anamnesebogen und SWLS

Als erster Schritt erfolgte die Erhebung des Anamnesestatus mithilfe eines Fragebogens. In diesem Bogen gaben die Testpersonen an, wie sie selbst ihr Riech- und Schmeckvermögen einschätzen und ob sie denken, ein Problem mit dem Riechen, dem feinen Geschmack beim Essen oder dem Schmecken im Allgemeinen zu haben (zum Beispiel dem Wahrnehmen der Schmeckqualitäten süß, sauer, bitter oder salzig). Falls die Proband:innen Probleme angaben, wurde nach detaillierten Angaben zu bekannten Ursachen, Veränderungen und Beeinträchtigungen der Riech- und Schmeckstörungen gefragt. Alle Testpersonen gaben ihre respektiven Medikationen, chronischen Krankheiten (inkl. der Familiengeschichte) sowie eventuelles Abususverhalten mit Nikotin oder Alkohol an. Ebenfalls wurde nach dem zurzeit ausgeübten Beruf der Testpersonen gefragt und ob sie dabei Stauben oder Chemikalien ausgesetzt sind. Abschließend wurde gefragt ob bei den Teilnehmenden Morbus Parkinson in der Familiengeschichte bekannt ist.

In einem zweiten Schritt wurden die Teilnehmenden gebeten, einen Fragebogen hinsichtlich ihrer Lebenszufriedenheit auszufüllen. Der SWLS wurde 1985 von Diener, Larson, Emmons und Griffin entwickelt (Diener et al., 1985). Das Konstrukt des subjektiven Wohlbefindens des Menschen setzt sich laut Diener aus der globalen Lebenszufriedenheit und den positiven sowie negativen Gemütsbewegungen, den Affekten, zusammen.

Dabei beziehen sich diese positiven und negativen Affekte auf emotionale Aspekte des subjektiven Wohlbefindens, die globale Lebenszufriedenheit („Satisfaction with Life“) auf die kognitiv-urteilenden Aspekte (Diener et al., 1985). Die Lebenszufriedenheit beschreibt die allgemeine Bewertung der Lebensqualität einer Person nach den von ihr gewählten Kriterien (Shin & Johnson, 1978). Der SLWS-Test beruht also auf der kognitiv-urteilenden Gesamtbeurteilung der Lebenswelten der Proband:innen. Dabei werden keine Fragen zur Zufriedenheit in bestimmten Lebensbereichen wie Finanzen, Gesundheit oder Arbeit gestellt, sondern zur allgemeinen Zufriedenheit (Kusier & Folker, 2021).

Der SWLS besteht aus fünf Aussagen, denen die Testpersonen entweder eher zustimmend oder abgeneigt gegenüberstehen können. Zu jeder Aussage gibt es jeweils sieben Antwortmöglichkeiten, durch die Punkte vergeben werden (stimmt überhaupt nicht=1; stimmt nicht=2; stimmt eher nicht=3; weder noch=4; stimmt eher=5; stimmt=6; stimmt genau=7). So ergibt sich ein Punktebereich von fünf (wenig Zufriedenheit) bis maximal 35 (hohe Zufriedenheit) (Diener et al., 1985). Daraus resultiert folgende Skala:

Punktwert	Zufriedenheit der Proband:innen
35-31	Extrem zufrieden
26-30	Zufrieden
21-25	Eher zufrieden
20	Neutral
15-19	Eher unzufrieden
10-14	Unzufrieden
5-9	Extrem unzufrieden

Tabelle 1: Auswertung des SWLS-Test (Pavot and Diener, 2008 S.141)

4.5 Bitterstreifentest (PTC)

PTC steht für die chemische Verbindung Phenythiocarbamid und ist ein Bitterstoff. Eine weitere bittere Substanz, die ebenfalls oft in Studien verwendet wird, ist PROP (6-N-Propylthiouracil). Für den Menschen ist es wichtig, Bitterstoffe zu identifizieren, da die meisten Toxine einen bitteren Geschmack besitzen. Ob ein Stoff als bitter wahrgenommen wird, ist genetisch durch sogenannte Bitterrezeptoren bestimmt. Diese Rezeptoren, die TAS2R, vermitteln 25 unterschiedliche Arten des bitteren Geschmacks. Die TAS2R gehören zur Familie der G-Protein-gekoppelten-Rezeptoren (Adler et al., 2000; Cavazana et al., 2019; Wooding et al., 2021).

Die in der Testung verwendeten vorgefertigten Papier-Teststreifen von der Firma SENSONICS INTERNATIONAL (Heddon Heights, NJ, USA)³ enthalten jeweils 20 Mikrogramm Phenythiocarbamid. Bei der Testung bewegen die Proband:innen für zehn Sekunden einen Streifen im geschlossenen Mund. Danach müssen sie sich für eine der folgenden Auswahlmöglichkeiten entscheiden: nicht wahrgenommen, kaum wahrgenommen, eindeutig bitter, sehr bitter, oder erst beim Schlucken wahrgenommen. Die Testpersonen werden anhand ihrer Fähigkeit, den Bitterstoff PTC zu erkennen, in zwei Gruppen eingeteilt: in die Gruppe der Non-Taster wurden die aufgenommen, die „nicht wahrgenommen“ und „kaum wahrgenommen“ wählten (Personen mit hohen Schwellenwerten für PTC/PROP) und in die Gruppe der Taster wurden die, die „eindeutig bitter“, „sehr bitter“ und „erst beim Schlucken bitter“ wählten, eingeordnet (Personen mit niedrigen Schwellenwerten für PTC/PROP) (Bartoshuk et al., 1994).

³ <https://www.smelltest.eu/de/produkt/ptc-schmeckstreifen-100-strips/>.

4.6 Schmeckspray

In der Studie wurde eine überschwellige Ganzmundtestung mit Schmecksprays durchgeführt, bei der die alltagsrelevante Schmeckfunktion überprüft werden kann. Bei dieser Screening-Testung wurden der Testperson ein bis zwei Pumpstöße eines Schmeckstoffs verabreicht, die im Mund bewegt wurden und „die grundsätzliche Fähigkeit des Patienten getestet, eine Schmeckqualität zu erkennen“ (Welge-Lüssen, Hummel, 2008, S. 55). Es werden vier vorgefertigte Schmecklösungen verwendet: Süß (1g Saccharose in 10ml Wasser), Sauer (5g Zitronensäure - Monohydrat in 10g Wasser), Bitter (0,005g Chininhydrochlorid in 10g Wasser) und Salzig (0,75g Natriumchlorid in 10g Wasser). Obwohl es noch die Geschmacksqualität Umami gibt, wurde diese in der Testung nicht mit einbezogen, da es für Europäer:innen schwierig ist, diese zu benennen, da sie nicht mit diesem Geschmack vertraut sind (Landis et al., 2009; Welge-Lüssen et al., 2011). Meine Erfahrung nach kurzzeitiger Testung von umami war, dass Proband:innen diesen mit salzig verwechselten. Nach jedem Spray wurden die Testpersonen gebeten, ihren Mund mit Wasser auszuspülen. Nach der forced-choice Methode mussten die Testperson nach kurzer Zeit eine Antwort geben, welche Schmeckqualität erkannt wurde. Identifizierte eine Testperson nicht alle vier Geschmacksrichtungen korrekt, wurde eine Hypogeusie angenommen bzw. sollte ein weiterer detaillierter Test angeschlossen werden (Walliczek et al., 2016).

4.7 Schmeckstreifen

Nach dem Screeningtest mit Schmecksprays, erfolgte die detailliertere Testung mittels Taste Strips. Diese sind ein etabliertes Instrument für die quantitative Überprüfung des Schmeckvermögens. Sie zeichnen sich durch eine gute Reproduzierbarkeit, lange Haltbarkeit, einfache Handhabung, kurze Testzeit und die Möglichkeit der seitengetrenten Testung der Zunge aus (Mueller et al., 2003). Die verwendeten Filterstreifen sind 8 cm lang und haben am Ende eine vergrößerte quadratische Fläche von 2 cm², welche in einem von vier Geschmacksstoffen unterschiedlicher Konzentration getränkt sind (süß, sauer, bitter, salzig).⁴ Folgende Konzentrationen der Geschmacksstoffe wurden verwendet: süß: 0.4, 0.2, 0.1, 0.05 g/ml Saccharose; sauer: 0.3, 0.165, 0.09, 0.05 g/ml Zitronensäure; salzig: 0.25, 0.1, 0.04, 0.016 g/ml Natriumchlorid; bitter: 0.006, 0.0024, 0.0009, 0.0004 g/ml Chininhydrochlorid (Manzi & Hummel, 2014). Die Schmeckstreifen wurden

⁴ Parallel zu den Geschmackssprays wurde die Geschmacksqualität umami nicht getestet, da es im europäischen Kulturraum relativ unbekannt ist (Landis et al., 2009; Welge-Lüssen et al., 2011).

eigens im Labor des Zentrums für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals,- Nasen,- Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Dresden hergestellt.

In dieser Studie erfolgte eine Ganzmundtestung des Schmeckvermögens. Das heißt, die Streifen werden auf die vorderen zwei Drittel der Zunge der Proband:innen gelegt und bewegt (Manzi & Hummel, 2014).⁵ In dieser Studie erfolgte die Testung beider Seiten der Zunge gleichzeitig, nicht lateralisiert. Vor der Testung wurde den Proband:innen die Augen verbunden. Die Taste Strips wurden in einer randomisierten Reihenfolge verwendet, die für die Proband:innen unbekannt ist. Um eine Adaptation und Gewöhnung an den jeweiligen Aromastoff zu vermeiden, wurde immer mit der niedrigsten Konzentration begonnen (Wolf et al., 2016). Nach jedem Streifen wurden die Testpersonen gebeten, den Mund mit Wasser auszuspülen, um den Geschmackssinn wieder zu neutralisieren. Nach der forced-Choice Methode mussten sich die Proband:innen nach jedem Streifen für eine der vier möglichen Geschmacksrichtung entscheiden, auch wenn sie sich unsicher waren (Landis et al., 2005). Jede korrekte Antwort wurde mit einem Punkt bewertet, so ergibt sich eine Gesamtsumme von 16 zu erreichenden Punkten. Im Bereich von neun bis 16 Punkten ist von einem Normalbefund auszugehen. Erreichen Proband:innen eine Gesamtpunktzahl von unter neun, ist mit einer Hypogeusie zu rechnen (Welge-Lüssen et al., 2011). Die Testung dauerte ca. 15 Minuten.

4.8 Riechtest mittels Sniffin' Sticks

Die olfaktorische Testung ermittelt den SDI-Wert, welcher aus Duftschwelle, Diskrimination und Identifikation besteht und erfolgte mittels Sniffin' Sticks (Burghart Messtechnik GmbH, Holm, Germany) (Hummel et al., 1997). Ein SDI-Wert von unter 16,5 weist auf eine Anosmie hin, während ein Testergebnis zwischen 16,5 und 30 eine Hyposmie anzeigt. Ein Wert von über 30 Punkten und mehr wird als Normosmie bezeichnet (Hummel et al., 2007a). Der SDI-Wert wurde nur bei Patient:innen, die im Zentrum für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals,- Nasen,- Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Dresden vorstellig wurden, aufgenommen. Das bedeutet, dass dieser Wert fast ausschließlich bei der Patient:innengruppe erhoben wurde und nicht bei der gesunden Kontrollgruppe.

⁵ Mit den Taste Strips ist auch eine lateralisierte Testung der Zunge möglich, da sie gut auf verschiedenen Bereichen der Zunge platziert werden können. Dies kann unter anderem bei einer Nervschädigung nach Operationen hilfreich sein (z.B. Tonsillektomie). So ist es möglich, die vorderen zwei Drittel der Zunge, welche von der Chorda Tympanie innerviert werden, zu untersuchen sowie der Zungenrücken, welcher vom N. glossopharyngeus innerviert wird (Landis et al., 2009). Eine aktuelle Studie konnte zeigen, dass der Taste-Strip-Test auch Zuhause von den Patient:innen selbst durchgeführt werden kann (Green et al., 2024).

4.9 3D-Buchstabentest

Nach den psychophysischen Schmecktestungen erfolgte nun die Testung des oralen Texturempfindens. Die Textur eines Lebensmittels spielt eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der Qualität und Akzeptanz von Lebensmitteln. Beides wirkt sich auf individuelle Produktpräferenzen und -entscheidungen aus (Guinard & Mazzucchelli, 1996; Spence et al., 2013). Die Testung der oralen Texturempfindung erfolgte mittels eines speziell angefertigten 3D-Satzes von Großbuchstaben. Die im Testkit vorhandenen Buchstaben sind A, T, L, O, I, U, J und haben jeweils eine Größe von 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 8 mm (Bogdanov et al., 2021). Den Proband:innen wurde vorgegeben, dass sie die Auswahl aller im Alphabet vorhandenen Buchstaben haben, also dass jeder Großbuchstabe von A-Z vorkommen kann. Nachdem der Versuchsablauf erläutert wurde, wurden die Testpersonen gebeten, eine Augenmaske zu tragen, damit die Buchstaben nicht durch Ablesen erkannt werden konnten. Die Buchstaben wurden mit der nach unten schauenden Seite auf die Zunge gelegt, wobei die Testperson das hintere Ende selbst in die Hand nehmen kann, um somit ein besseres Handling zu haben. Die Zeitbegrenzung zur Erkennung eines Buchstaben betrug jeweils 15 Sekunden und die Auswahl der Buchstaben erfolgte durch Zufall. Die Testperson tastet nun mit der Zunge und muss sich nach Zeitablauf für einen Buchstaben entscheiden. Es erfolgen insgesamt drei Testdurchläufe. Zuerst wird mit der kleinsten, also mit 2 mm Größe der Buchstaben begonnen. Erkennen die Testpersonen eine Größe nicht, wird immer jeweils um einen Millimeter größere Buchstabe ausgewählt, bis zwei Mal hintereinander der richtige Buchstabe erkannt wurde. Dies markiert den ersten Umkehrpunkt und es wird der jeweils niedrigere Buchstabe ausgewählt, solange bis dieser falsch genannt wird. Gibt also die Testperson zwei richtige Antworten in Folge, wird weiter nach unten getestet bis zu einer Falschantwort. Der nächste Umkehrpunkt erfolgt im 3. Durchgang, wo wieder der nächstgrößere Buchstabe ausgewählt wird, bis auch hier wieder zwei richtige Antworten erfolgen. Bei der Auswertung erfolgt dann eine Punktergabe, je nachdem wo die Testpersonen zwei richtig erkannte Buchstaben hatte, erhalten sie z.B., wenn 5mm als richtig erkannt wurden auch 5 Punkte. Somit kann dann von den jeweiligen Durchgängen ein Mittelwert gebildet werden. Siehe auch (Bogdanov et al., 2021).

4.10 Schärfetest mit Capsaicin

Als letzten Test bewerteten die Proband:innen die Schärfe von Chili-Pulver. Als Reizstoff wurde Cayennepfeffer genommen, welcher den Stoff Capsaicin enthält, der in Paprika

bzw. Chili vorkommt. Capsaicin erzeugt Reizempfindungen wie Kribbeln, Stechen, Brennen, Hitze oder Schmerzen (Han et al., 2022). Das brennende und stechende Gefühl wird durch Nozizeptoren genauer durch TRP – Kanäle (transient receptor potential channels) vermittelt. Im Speziellen durch den TRPV1 Rezeptor, welcher zur Familie der Vanilloid – Rezeptoren gehört (Caterina et al., 1997; Klein, 2019). Dieser Rezeptor wird ebenso durch zu hohe Temperaturen aktiviert, weshalb sich die Empfindungen heiß und scharf ähnlich anfühlen (Simon & de Araujo, 2005). Im Eigenlabor im Zentrum für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals,- Nasen,- Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Dresden wurde in Kapseln aus Gelatine (GelatineFIXKapseln von kapselwelt.de) der gemahlene Cayennepfeffer von der Firma Ostmann Gewürze, Dissen a.T.W., Deutschland abgefüllt. Den Proband:innen wurde das Pulver in vier verschiedenen Konzentrationen (0,0001g; 0,0003g; 0,0005g; 0,0007g) angeboten. Vorab wurde abgefragt, ob die zu testende Person eine Allergie auf Gelatine hat oder Vegetarier:in ist. Es wurde jeweils eine Kapsel angeboten und danach sollte die Intensität der jeweiligen Kapsel bewertet werden. Auf einer vorgedruckten visuellen Analogskala durften die Testpersonen selbst ihre Empfindung einschätzen. Die Skala hat eine Länge von 100mm und beginnt mit „keine Schärfe – 0%“ und endet mit „sehr scharf 100%“ – auf dieser Linie muss nun der Proband eine Markierung setzen. Nun kann der Abstand dieser Markierung gemessen und ausgewertet werden.

4.11 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Datensätze erfolgte mit IBM SPSS Statistics 25 (SPSS Inc., Chicago, USA). Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha=0,05$ festgelegt. Für die deskriptive Statistik wurden der Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Bei numerischen Variablen wurde die Varianzanalyse (engl.: analysis of variance, ANOVA) oder der zweiseitige t-Test mit anschließendem Post-hoc-Test und Bonferroni-Korrektur verwendet. Der Chi-Quadrat-Test kam bei kategorialen Variablen zur Anwendung. Darüber hinaus wurden Korrelationsanalysen durchgeführt, darunter die Korrelation nach Bravais-Pearson und die Partialkorrelation.

5 Ergebnisse und Auswertung

Im Folgenden werden die Resultate der durchgeführten Studie dargelegt und erläutert.

Die Proband:innen wurden in drei verschiedene Gruppen eingeteilt:

1. control: gesunde Proband:innen
2. olfac: Proband:innen mit Riechstörungen
3. olfac/gust: Proband:innen mit kombinierter Riech- und Schmeckstörung

Insgesamt wurden 87 Proband:innen in die Auswertung einbezogen. Die Gruppeneinteilung setzt sich wie folgt zusammen: 40 Gesunde (control), 26 mit Riechstörung (olfac) und 21 mit kombinierter Riech- und Schmeckstörung (olfac/gust). Die Gruppeneinteilung erfolgte über die Diagnosen, die im Universitätsklinikum Carl Gustav Carus in der Abteilung HNO gestellt wurden.

Von den 26 Patient:innen der olfac-Gruppe wiesen zehn eine Hyposmie, vier eine Parosmie und eine Person eine Phantosmie auf. Weitere fünf Patient:innen litten an einer gekoppelten Hyposmie mit Parosmie und bei sechs Patient:innen wurde eine Anosmie diagnostiziert. 20 von 26 Proband:innen dieser Gruppe, also rund 77%, hatten eine postvirale Riechstörung aufgrund einer COVID-19 Erkrankung. Bei den restlichen Proband:innen blieb die Ursache der Riechstörung ungeklärt.

Die 21 Proband:innen der olfac/gust-Gruppe hatten zusätzlich zur Riechstörung noch gustatorische Einschränkungen. 14 Patient:innen stellten sich mit einer Hypogeusie vor. Bei einer Person wurde eine Ageusie festgestellt. Sechs Patient:innen sind mit einer qualitativen und quantitativen Störung des Geschmackssinnes diagnostiziert worden, genauer gesagt litten drei unter einer Hypogeusie mit Parageusie und drei unter einer Hypogeusie mit Phantogeusie. In einigen Fällen war es nicht möglich, eine konkrete Ursache für die Schmeckstörung zu finden. Am häufigsten kamen die Schmeckstörungen im zeitlichen Zusammenhang mit postviralen Infektionen vor (vor allem COVID-19, n=14). Zweithäufigster Grund waren Operationen an den Tonsillen oder Zähnen (n=2). Alle anderen Ursachen blieben unbekannt (n=5).

5.1 Auswertung des SWLS-Fragebogen

Anhand des SWLS-Fragebogens wurde die allgemeine Lebenszufriedenheit der Proband:innen eruiert, bei dem sie eine Beurteilung ihres bisherigen Lebens abgeben. Mit fünf Fragen können fünf (sehr unzufrieden) bis 35 Punkte (sehr zufrieden) erreicht werden. Die Einteilung erfolgte nach Pavot und Diener (2008) siehe Kapitel 4.4.

Die control-Gruppe erreichte im Durchschnitt $26,3 \pm 5,82$ Punkte, die olfac-Gruppe erreichte im Durchschnitt $26 \pm 4,82$ Punkte und die olfac/gust-Gruppe erreichte im Durchschnitt $24,0 \pm 5,30$ Punkte. Die Patient:innengruppe mit Riech- und Schmeckstörungen erreichte somit im Durchschnitt die geringste Punktzahl.

Mittels ANOVA und anschließend Post-hoc-Test wurden die Ergebnisse der drei Gruppen miteinander verglichen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der SWLS-Werte zwischen den drei Gruppen ($F_{2,87}=1.37$; $p=0.261$).

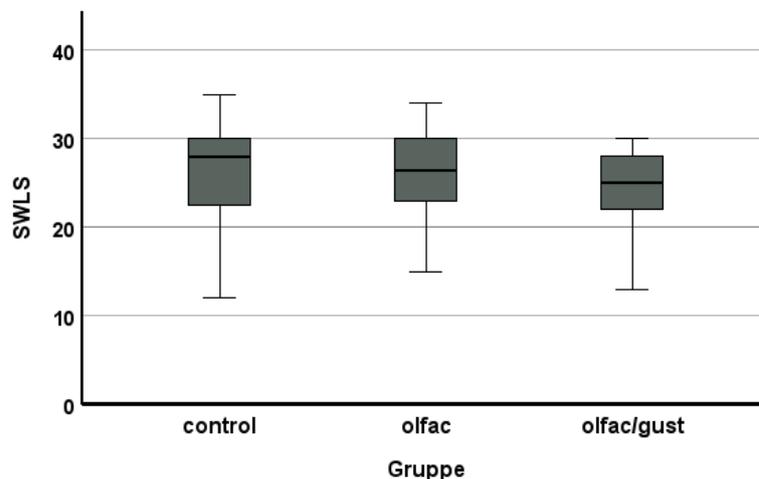


Abbildung 1: Das Boxplotdiagramm zeigt die erreichten SWLS-Punktzahlen der jeweiligen Gruppen. Der Medianwert der Gruppe olfac/gust ist mit 25 Punkten am niedrigsten.

5.2 Auswertung der olfaktorisch-gustatorischen Funktion

Die gustatorische Funktion wurde mittels psychophysischen Tests, wie Schmecksprays und Schmeckstreifen untersucht. Die Tests wurden bei allen Proband:innen in gleicher Weise durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln präsentiert.

Für die Auswertung wurde an diversen Stellen der SDI-Wert der Patient:innen herangezogen, der jedoch nicht für alle Proband:innen verfügbar war, sondern auf Ergebnissen von vorangegangenen Behandlungen und Diagnostiken aus dem Universitätsklinikum Dresden beruht. Von den insgesamt 87 Proband:innen der Studie wurden insgesamt von 53 die SDI-Werte erfasst. Im Mittel lag der SDI-Wert bei $22,49 \pm 7,68$. Als normosmisch gilt ein Wert von $\geq 30,75$, eine Hyposmie liegt bei einem Wert bis $\geq 16,25$ und eine Anosmie wird bei Werten ≤ 16 diagnostiziert. So lag eine Normosmie bei 29 Proband:innen, eine Hyposmie bei neun und eine Anosmie bei fünfzehn Proband:innen vor.

5.2.1 Schmeckspray

Die Auswertung der Daten ergab, dass die Kontrollgruppe im Mittel $3,75 \pm 0,54$ Sprays identifizierte, die olfac-Gruppe $3,57 \pm 0,76$ Sprays und die olfac/gust-Gruppe $2,90 \pm 1,18$ Sprays im Mittel erkannte.

Die Auswertung der Schmecksprays erfolgte mittels einfaktorieller ANOVA. Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen ($F_{2;84}=7.89$; $p<0.001$). Nach anschließendem Post-hoc-Test wurde ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe olfac/gust ($p<0.001$) sowie der olfac- und olfac/gust-Gruppe ($p=0.020$) festgestellt werden.

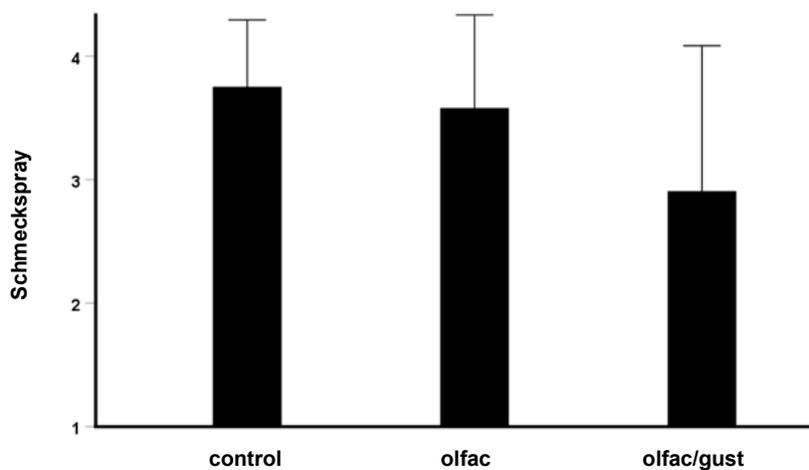


Abbildung 2: Ergebniswerte der Schmeckspraytestung der drei Gruppen im Vergleich. Die Balken geben den Mittelwert und die Standardfehler des Mittelwerts an.

5.2.2 Schmeckstreifen

Beim Schmeckstreifentest erkannte die Kontrollgruppe $11,53 \pm 2,81$ von 16 Schmeckstreifen richtig. Die olfac-Gruppe erkannte $11,62 \pm 2,91$ Streifen und die olfac/gust-Gruppe identifizierte $7,10 \pm 2,93$ Streifen.

Für die Auswertung der Schmeckstreifen wurde die einfaktorielle ANOVA herangezogen. Diese ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen ($F_{2;84}=19.3$; $p<0.001$). Im anschließenden Post-hoc-Test wurden signifikante Unterschiede zwischen der control-Gruppe und der olfac/gust-Gruppe ($p<0.001$) sowie zwischen der olfac- und der olfac/gust-Gruppe ($p<0.001$) festgestellt.

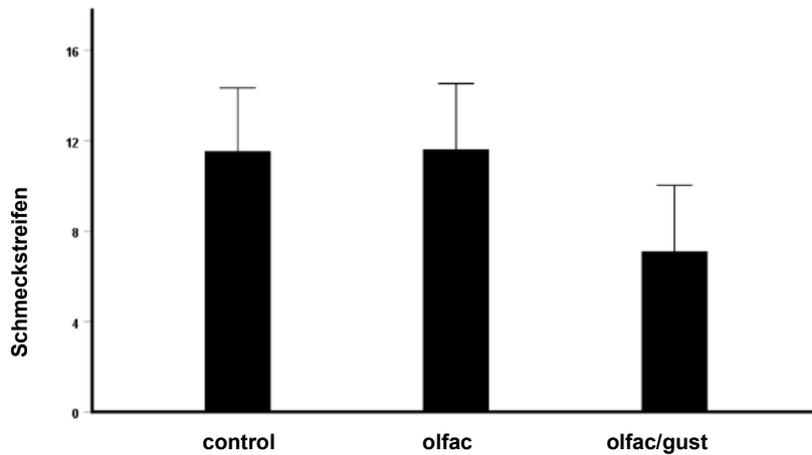


Abbildung 3: Ergebniswerte der Schmeckstreifentestung der drei Gruppen im Vergleich. Die Balken geben den Mittelwert und die Standardfehler des Mittelwerts an.

5.3 Auswertung des Bitterstreifentests

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die 87 Proband:innen mit Bitterstreifen getestet und so anschließend in zwei Gruppen eingeteilt: in sogenannte Taster und Non-Taster (Bartoshuk et al., 1994; Tepper et al., 2009). Die Gruppe der Taster, die den Streifen als bitter wahrnahmen, umfasste 41 Personen, während die Gruppe der Non-Taster, die den Streifen nicht als bitter wahrnahmen, aus 46 Proband:innen bestand.

5.3.1 PTC und Geschlecht

Der Chi-Quadrat Test zeigte, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem PTC-Schmeckstatus gab ($\chi^2(1, N= 87)=1.86; p=0.173$).

PTC		Geschlecht		Insgesamt
		Frau	Mann	
Non-Taster	Anzahl	28	18	46
	% Geschlecht	46.7%	62.1%	52.9%
Taster	Anzahl	31	10	41
	% Geschlecht	75.6%	24.4%	47.1%
Insgesamt	Anzahl	59	28	87

Tabelle 2: Aufteilung der Geschlechter bezüglich des PTC-Schmeckstatus.

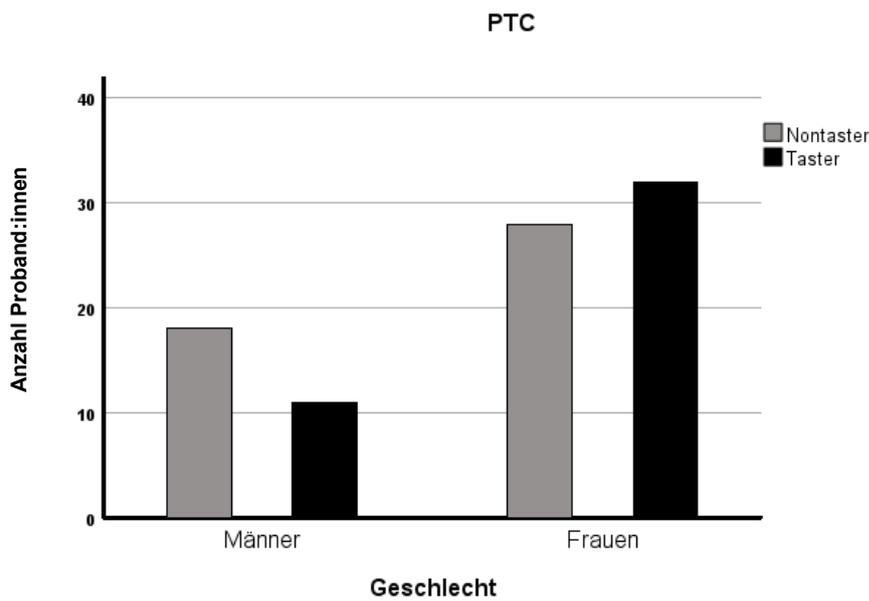


Abbildung 4 : Ergebniswerte der PTC-Testung im Vergleich Frauen und Männer.

5.3.2 Texturempfinden und PTC

Um zu prüfen, ob der PTC-Schmeckstatus einen Einfluss auf das orale Tastempfinden hat, wurde ein zweiseitiger t-Test durchgeführt. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen der Taster und Non-Taster in Bezug auf ihr Tastvermögen festgestellt ($t(87)=1.18$; $p=0.238$). Die Werte der Non-Taster lagen im Mittel bei $45\pm 4,88$, während der Wert der Taster bei $16,23\pm 4,99$ lag. Die Ergebnisse der Untersuchung lassen den Schluss zu, dass der PTC-Schmeckstatus in dieser Studie keinen Einfluss auf das Tastvermögen der Proband:innen hatte.

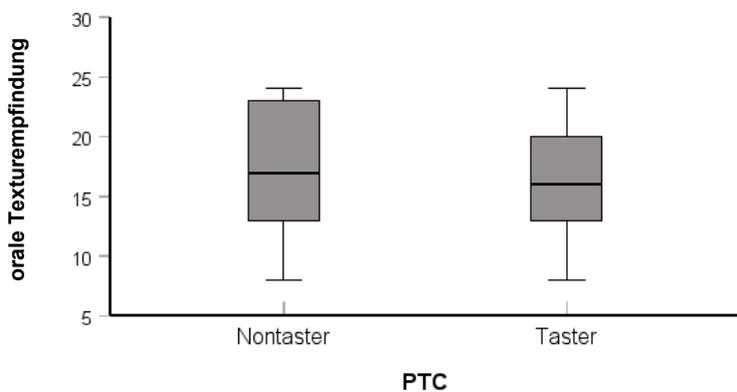


Abbildung 5: Das Boxplotdiagramm zeigt den Vergleich der Non-Taster und Taster in Bezug auf das orale Texturempfinden. Die y-Achse präsentiert die Punktzahl, welche im Rahmen des 3D-Buchstabentests nach drei Durchgängen erzielt wurde. Eine niedrige Punktzahl lässt auf ein besseres Tastempfinden schließen.

5.4 Auswertung der oralen Schärfeempfindung

Für die folgende Analyse der Daten erfolgte ein Vergleich der Gruppen anhand der Ergebnisse, die beim Schärfetest ermittelt worden waren. Die Auswertung erfolgte mittels ANOVA mit wiederholten Messungen, wobei die Intensität als Innersubjektvariable und die Gruppe als Zwischensubjektfaktor fungierten. Der Mauchly-Test ergab eine Verletzung der Sphärizität ($\chi^2(5)=57.26$; $p=0.001$). Daher wurde die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet, wobei kein Interaktionseffekt zwischen der Intensität und der Gruppe beobachtet wurde ($F_{4.07,162.88}=1.91$; $p=0.110$). Es zeigte sich aber ein signifikanter Haupteffekt zwischen den Gruppen ($F_{2,80}=4.89$; $p=0.011$). Anschließend wurde ein Post-hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur durchgeführt, bei dem eine signifikante Differenz zwischen der control-Gruppe und der olfac-Gruppe festgestellt wurde ($p=0.023$). Da einige Proband:innen auf eigenen Willen nicht an der Schärfetestung teilnahmen, setzen sich die Gruppen wie folgt zusammen: control $n=38$; olfac $n=25$; olfac/gust $n=20$.

	Kapsel 1	Kapsel 2	Kapsel 3	Kapsel 4
	(0,0001g)	(0,0003g)	(0,0005g)	(0,0007g)
Control (n=38)	2,17±2,32	3,65±2,52	5,53±2,78	6,48±2,75
	(17,48%)	(26,76%)	(41,81%)	(52,12%)
Olfac (n=25)	1,44±2,0	2,00±1,97	3,36±2,46	5,13±2,47
	(16,12%)	(22,36%)	(36,55%)	(46,71%)
Olfac/gust (n=20)	1,72±2,22	2,08±2,44	3,44±2,91	4,71±3,54
	(16,02%)	(22,75%)	(37,37%)	(46,20%)

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichung in cm und in % zu den vier unterschiedlichen Konzentrationen der Capsaicinkapseln aus der Beurteilung der Analogskala.

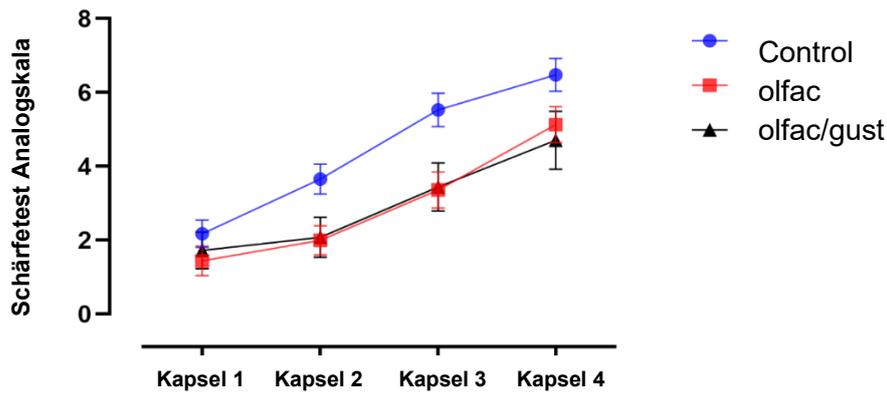


Abbildung 6: Das Liniendiagramm zeigt den Vergleich der Gruppen im Verlauf der verschiedenen Intensitäten des Schärftests mit Capsaicin. Auf der x-Achse sind die Kapseln mit den unterschiedlichen Intensitäten aufgetragen, auf der y-Achse die Werte der Analogskala.

5.5 Auswertung Tastvermögen

5.5.1 Vergleich der Gruppen in den drei einzelnen Durchgängen beim 3D-Buchstabentest

Um herauszufinden, ob sich die Gruppen in Bezug auf ihre Ergebnisse beim 3D-Buchstabentest unterscheiden, erfolgte die Auswertung mittels ANOVA mit wiederholten Messungen. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festgestellt werden ($F_{2,84}=2.18$; $p=0.13$).

	Gruppe	Buchstabe 1	Buchstabe 2	Buchstabe 3
Mittelwert und Standardabweichung	control	5.65±1.89	4.72±2.16	6.50±1.75
	olfac	5.23±1.75	4.42±1.79	5.81±1.52
	Olfac/gust	6.48±1.44	5.52±1,81	6.71±1.52

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichung der Gruppen und der drei Durchgänge (letter1, 2, 3).

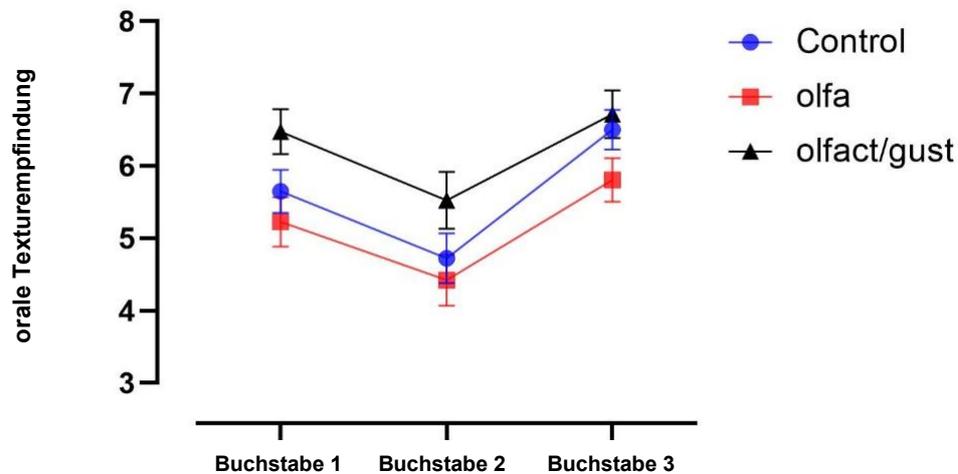


Abbildung 7: Liniendiagramm zeigt die erreichten Werte beim 3D-Buchstabentest für die drei Gruppen. Die x-Achse beschreibt die Durchgänge beim 3D-Buchstabentest. Die y-Achse zeigt die möglichen Werte in mm.

5.5.2 Vergleich der Gruppen bei aufsummierten Durchgängen des 3D-Buchstabentests

Weiterhin wurde untersucht, ob sich die Gruppen unterscheiden, wenn die Ergebnisse des 3D-Buchstabentests addiert, also zusammengefasst werden. Die einfaktorielle ANOVA zeigte, dass es keinen signifikanten Unterschied im Tastvermögen zwischen den Gruppen gab ($F_{2;85}=2.94$; $p=0.062$). Allerdings konnte ein Trend zwischen der olfac-Gruppe und der olfac/gust-Gruppe festgestellt werden ($p=0.068$).

	Gruppe	Buchstabe 123
Mittelwert und Standardabweichung	Control	16,9 ± 5,33
	Olfac	15,5 ± 4,48
	Olfac/gust	18,7 ± 4,60

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichung des 3D-Buchstabentests (Buchstabe 123) in mm.

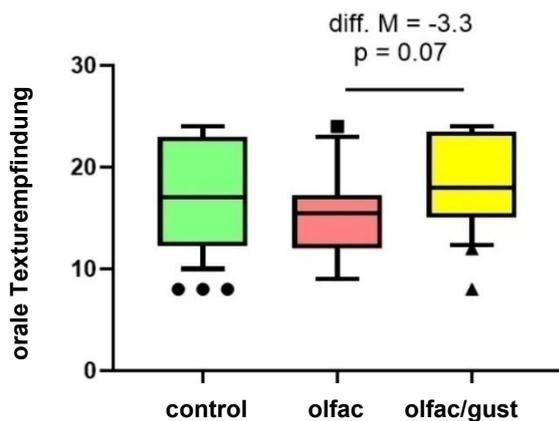


Abbildung 8: Das Boxplotdiagramm zeigt die Auswertung des 3D-Buchstabentests. Die x-Achse zeigt die Gruppen im Vergleich. Auf der y-Achse sind die aufsummierten Werte der drei Durchgänge.

5.6 Einfluss des Schmeckvermögens auf das Tastvermögen

In dieser Untersuchung wurde die Pearson-Korrelationsanalyse verwendet, um den Zusammenhang zwischen der oralen Texturempfindung und des Schmeckvermögens zu untersuchen. Die Ergebnisse der Pearson-Korrelationsanalyse zeigen eine signifikant negative Korrelation zwischen den Werten des Buchstabentests und den Werten des Schmeckstreifentests ($r_{87} = -0.33$, $p = 0.002$). Umso niedrigere Werte beim 3D-Buchstabentest erzielt wurden, desto besser war die orale Texturempfindung (texture sensitivity). Je höhere Werte beim Taste Strip-Test erzielt wurden, umso besser ist die allgemeine Schmeckleistung. Der Korrelationskoeffizient von $r_{85} = -0.33$ zeigt einen mäßig negativen Zusammenhang und deutet auf eine Interaktion zwischen der oralen Texturempfindung und der Schmeckempfindung hin.

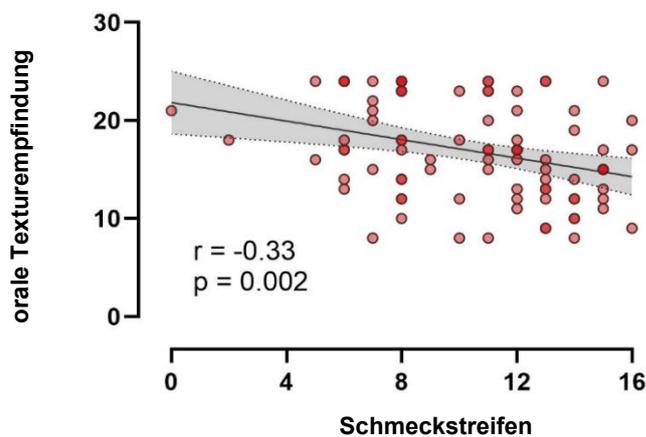


Abbildung 9: Streudiagramm über den Zusammenhang zwischen dem oralen Texturempfinden und der allgemeinen Schmeckempfindlichkeit. Eine hohe allgemeine Schmeckleistung (x-Achse) geht mit einer hohen oralen Texturempfindung (y-Achse) einher und umgekehrt.

5.7 Einfluss des Riechvermögens auf das Tastempfinden

Im vorliegenden Test wurde der DI-Score als Indikator für das Riechvermögen der Patient:innen mit ihren Leistungen beim Ertasten von 3D-Buchstaben korreliert. Der Pearson-Korrelationskoeffizient lag bei $r_{50} = -0.42$, $p = 0.002$, was auf einen moderat negativen Zusammenhang hindeutet.

Insgesamt wurden 52 Patient:innen ausgewählt, bei denen der SDI-Wert in der Klinik getestet wurde. Der Parameter der Geruchsschwelle wurde in der vorliegenden Untersuchung aus den Daten herausgerechnet und stattdessen lediglich der DI-Wert betrachtet. Der DI-Wert bezeichnet eine überschwellige Riechempfindung, die sich aus der Geruchsdiskrimination und der -identifikation zusammensetzt. Für den 3D-Buchstabentest wurden die Ergebnisse der Durchgänge addiert. Der Korrelationskoeffizient von $r_{50} = -0.42$ zeigt einen mäßig negativen Zusammenhang und deutet auf eine Interaktion zwischen der oralen Texturempfindung und der überschwelligen Riechempfindung hin.

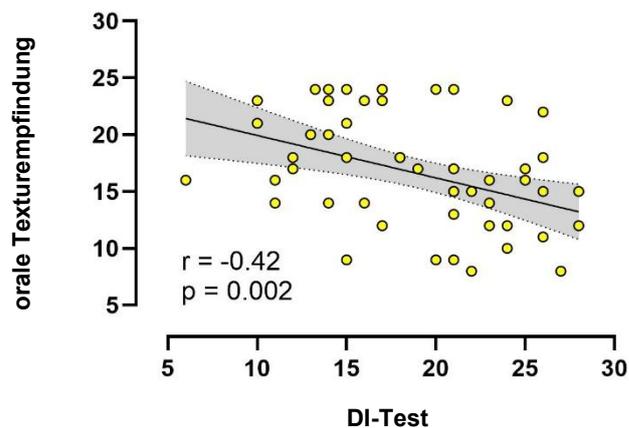


Abbildung 10: Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen dem oralen Texturempfinden und der überschwelligen Riechempfindung (DI). Eine hohe überschwellige Riechleistung (x-Achse) geht mit einer hohen oralen Texturempfindung (y-Achse) einher und umgekehrt.

5.8 Einfluss des Riechvermögens auf das Tastempfinden unter Kontrolle der Variable Schmecken

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchung wurde eine Partialkorrelation zwischen dem Riechvermögen und dem oralen Texturvermögen durchgeführt, wobei die Kontrollvariable Schmeckvermögen eliminiert wurde. Die Analyse umfasste insgesamt 49 Patient:innen, bei denen der DI-Wert vorlag. Der DI-Wert wurde mit dem Wert des ersten Durchgangs des 3D-Buchstabentest korreliert. Es zeigt sich, dass nach Kontrolle des Schmeckvermögens die DI-Werte mit dem Tastvermögen korrelieren ($r_{47} = -0.33$; $p = 0.018$). Der Korrelationskoeffizient von $r_{47} = -0.33$ zeigt einen mäßig negativen Zusammenhang und deutet auf eine Interaktion zwischen der oralen Texturempfindung und der überschwelligen Riechempfindung hin, unabhängig von der Schmeckempfindlichkeit.

5.9 Zusammenfassung der Ergebnisse

- Mit dem SWLS-Test wurde evaluiert, ob Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen Einschränkungen in ihrer Lebensqualität erleben. Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.
- Der PTC-Schmeckstatus hatte keinen Einfluss auf das orale Texturempfinden. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen der Taster und Non-Taster in Bezug auf ihr Tastvermögen festgestellt.

- Die trigeminale Wahrnehmung wurde mithilfe eines Schärfetests in Form von Capsaicin-Kapseln ermittelt. Im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe wiesen Patient:innen mit Riechstörungen eine signifikant geringere orale Reizintensität für Chilipulver auf.
- Die Stereognosiefähigkeit wurde anhand von 3D-Buchstaben ermittelt. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Proband:innengruppen festgestellt werden.
- Der Einfluss des Schmeckvermögens auf die orale Texturempfindung wurde untersucht. Es konnte ein mäßig negativer Zusammenhang festgestellt werden.
- Weiterhin wurde der Einfluss des Riechvermögens auf das Tastempfinden untersucht. Hier wurde ein mäßig negativer Zusammenhang festgestellt. Unter Kontrolle der Variable Schmecken konnte ebenfalls ein mäßig negativer Zusammenhang festgestellt werden.

6 Diskussion

In der vorliegenden Studie konnte nachgewiesen werden, dass Patient:innen, die an Riech- und Schmeckstörungen leiden, ebenfalls Einschränkungen in ihrer trigeminalen Chemosensorik aufweisen. Dies legt nahe, dass mehrere Modalitäten an der Veränderung des Geschmackssinns beteiligt sind. In der Folge ergibt sich die Frage, auf welche Weise diese Modalitäten zusammenhängen und wie sie beeinflusst werden. Dieser Zusammenhang wird als multimodale sensorische Integration bezeichnet, wobei bereits Forschungsarbeiten zu diesem Themengebiet existieren (Braud & Boucher, 2020; Bult et al., 2007; Han et al., 2019; Seo & Hummel, 2017). In den nächsten Unterkapiteln werden die Ergebnisse der Studie diskutiert.

6.1 SWLS-Fragebogen

In dieser Studie wurde die allgemeine Lebenszufriedenheit der Proband:innen anhand des SWLS-Fragebogens erfasst, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und den beiden Patient:innengruppen festgestellt werden konnte. Es zeichnet sich aber eine Tendenz ab, da die Gruppe mit kombinierter Riech- und Schmeckstörung (olfac/gust) mit 24 Punkten am schlechtesten abschnitt. In einer groß angelegten Studie konnten Chen et al. zeigen, dass Patient:innen mit einer kombinierten Riech- und Schmeckstörung höhere Depressionswerte im Vergleich zu Patient:innen mit einer isolierten Riechstörung und/oder der Kontrollgruppe aufwiesen. Es wird weiterhin angenommen, dass eine depressive Erkrankung durch die chemosensorische Erkrankung exazerbiert (B. Chen et al., 2021). In weiteren Studien konnte gezeigt werden, dass Patient:innen mit Geschmacksstörungen von depressiven Symptomen berichten und der Anteil der Betroffenen bis zu 36% betragen kann (Merkonidis et al., 2015; Walliczek-Dworschak et al., 2017). Chemosensorische Einschränkungen haben somit einen erheblichen Einfluss auf die Lebensqualität. Die Patient:innen klagen über eine verminderte Freude am Essen, aber auch Unfälle im Haushalt, Probleme bei der sozialen Kommunikation und auch Veränderungen im Sexualverhalten. Außerdem berichteten einige, dass sie mit den Veränderungen des Lebens schlechter zurechtkamen (Merkonidis et al., 2015). Im klinischen Alltag sollte depressiven Patient:innen, die an einer kombinierten Riech- und Schmeckstörung leiden, mehr Aufmerksamkeit geschenkt und vor allem frühzeitig mit einer Behandlung begonnen werden.

6.2 PTC

Menschen nehmen Bitterstoffe wie PTC (Phenylthiocarbamid) und PROP (Propylthiouracil) unterschiedlich wahr. Grund dafür ist ein Genpolymorphismus des Geschmacksrezeptors TAS2R38. Diese unterschiedlichen Wahrnehmungen im Bittergeschmack haben weitreichende Auswirkungen. Ein positiver Schmeckstatus geht beispielsweise mit einer höheren Sensibilität für die Geschmacksstoffe süß, bitter, salzig einher (Bartoshuk et al., 1998; Chang et al., 2006). Bei Tests mit Capsaicin wurde festgestellt, dass Taster Capsaicin als schärfer bewerteten (Karrer & Bartoshuk, 1991). In weiteren Studien konnte nachgewiesen werden, dass der PTC-Schmeckstatus die Wahrnehmung alkoholischer Getränke beeinflusst. Personen mit einem positiven PTC/PROP Schmeckstatus empfinden beispielsweise Ethanol als intensiver und damit oft als unangenehmer als Nontaster. Diesbezüglich wird diskutiert, dass diese veränderte Wahrnehmung zu einem übermäßigen Alkoholkonsum führen kann, neben einer Vielzahl anderer komplexer Faktoren (Driscoll et al., 2006; Duffy et al., 2004).

6.2.1 PTC und Alter/Geschlecht

Im europäischen Durchschnitt sind ca. 70% Taster und 30% Nontaster (Tepper et al., 2009). In dieser Studie wurden 43 (48%) Proband:innen mit einem positiven und 46 (52%) mit einem negativen PTC-Schmeckstatus getestet. Bei einer Untersuchung einer großen Gruppe von Personen (n= 742) konnte eine Abnahme der PROP-Wahrnehmung mit dem Alter beobachtet werden (Drewnowski et al., 2001). In der vorliegenden Studie war der Alterdurchschnitt 63 ± 15 Jahre, was die leicht höheren Werte der Nontaster (n=46), gegenüber der Taster (n=43) erklären könnte. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass Frauen im Gegensatz zu Männern öfter einen positiven PTC/PROP-Schmeckstatus aufweisen (Bartoshuk et al., 1994; Doty & De Fonte, 2016).

6.2.2 PTC und Texturempfinden

Die Annahme, dass der PTC-Schmeckstatus Einfluss auf die oralen Texturempfinden hat, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Essick et al. untersuchten 83 Frauen (Asiatischerinnen und Caucasinerinnen) auf ihren PTC-Schmeckstatus, ihr Tastvermögen und die Dichte der fungiformen Papillen. Die Ergebnisse der Studie zeigen eine deutliche Korrelation zwischen dem PROP-Schmeckstatus und der oralen Texturempfindung. Es wurde festgestellt, dass die Proband:innen, die PROP als sehr bitter empfanden, eine bessere orale Texturempfindung im Vergleich zu denen hatten, die es nur als moderat bitter empfanden oder Nontaster waren. Darüber hinaus wurde bei den asiatischen Proband:innen eine starke Korrelation zwischen der Papillendichte und der oralen Texturempfindung

festgestellt (Essick et al., 2003). Insbesondere bei Super-Tastern (die PROP/PTC extrem bitter empfinden) konnte eine größere Dichte an fungiformen Geschmackspapillen auf der vorderen Zungenoberfläche nachgewiesen werden, was mit einem höheren oralen Texturempfindung einhergeht (Bartoshuk et al., 1994; Essick et al., 2003).

In dieser Studie hatte der PTC-Schmeckstatus keinen signifikanten Einfluss auf das Texturempfinden. Eine Tendenz ist zu erkennen, da die Taster ($6,23\text{mm} \pm 4,99$) leicht besser abschnitten als die Nontaster ($17,45\text{mm} \pm 4,88$). Mögliche Einflüsse könnten die hohe Anzahl an Nontastern (52%) und das hohe Durchschnittsalter (63 ± 15 Jahre) gewesen sein (Essick et al., 2003; Steele et al., 2014).

6.3 Schärfetestung mit Capsaicin

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass bei Patient:innen mit Riechstörungen eine geringere orale Reizintensität für Capsaicin festgestellt wurde als bei gesunden Proband:innen und bei Patient:innen mit kombinierter Riech- und Schmeckstörung. Es ist zu beobachten, dass beide Patient:innengruppen, olfac und olfac/gust, niedrigere Werte bei der Bewertung der Intensitäten für Capsaicin im Vergleich zur Kontrollgruppe angaben.

Bei der niedrigsten (0,1mg) und bei der höchsten Konzentration (0,7mg) sind die geringsten Unterschiede zwischen den drei Gruppen zu erkennen. Bei den mittleren Konzentrationen (0,3mg und 0,5mg) ist der Unterschied zwischen der Gruppe control und den beiden Patient:innengruppen olfac und olfac/gust sehr viel besser zu erkennen. Bei der niedrigsten Konzentration war möglicherweise die Intensität zu niedrig, um den Reiz wahrzunehmen, bei der höchsten Konzentration nähern sich die Werte der drei Gruppen wieder an, weil die Intensität für alle Proband:innen sehr hoch war. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studien.

Capsaicin aktiviert die TRPV1-Kanäle an spezifischen trigeminalen Nozizeptoren, was zu Reizungen und Schmerzempfindungen führt (Roper & Chaudhari, 2017). Mehrere Forschungsarbeiten weisen Verbindungen des gustatorischen mit dem trigeminalen System nach (Kim et al., 2021; Q. Li et al., 2017; Smutzer et al., 2018).

Weiterhin gibt es Studien, die den Zusammenhang zwischen dem olfaktorischen System und dem trigeminalen System nachweisen (Boyle et al., 2007; Frasnelli et al., 2006; Frasnelli & Hummel, 2007; Han et al., 2021; Hummel, 2005). So wurde in einer Studie von Frasnelli bei Patient:innen mit Riechstörungen eine verringerte chemosensorische trigeminale Empfindlichkeit festgestellt (Frasnelli et al., 2006). Der Verlust des Geruchsinns

führt zu einer verminderten trigeminalen Empfindlichkeit, da es weniger zentralnervöse Interaktionen gibt und das zeigt, dass das olfaktorische und intranasale trigeminale System miteinander verbunden sind (Frasnelli & Hummel, 2007). Eine beeinträchtigte orale Reizwahrnehmung könnte also mit einer dysfunktionalen zentralnervösen Interaktionen zwischen den verschiedenen an der Geschmackswahrnehmung beteiligten chemosensorischen Systemen zusammenhängen (Han et al., 2021).

Auch auf kognitiver Ebene gibt es Interaktionen zwischen dem olfaktorischen und dem trigeminalen System. Bei einer fMRT-Untersuchung wurde Proband:innen Kohlendioxid (CO₂) in die Nase geleitet, um eine trigeminale Reizung hervorzurufen. Weiterhin wurde den Proband:innen ein Duftstoff dargeboten und geschaut, welche kortikalen Regionen aktiviert wurden. Der Duftstoff führte zu einer kortikalen Aktivierung im orbitofrontalen Kortex (OFC), in der Amygdala und in der rostralen Insula. Durch die trigeminale Stimulation mit Kohlendioxid wurden sowohl Aktivierungen im trigeminalen Regionen als auch Aktivierungen in olfaktorischen Regionen beobachtet. Dazu zählen der ventrolaterale Thalamus, der prä- und postzentrale Gyrus, das Kleinhirn, die Insula, der kontralaterale piriforme Kortex und das OFC. Es kommt hier also zur Überschneidung der beiden chemosensorischen Systeme (Boyle et al., 2007; Hummel, 2005).

Schaut man sich die Verarbeitung der Reize im Gehirn an, fanden Forschende heraus, dass es ein supramodales orales sensorisches System in der anterioren ventralen Insula gibt, was auf chemästhetische Reize wie z.B. Capsaicin und Chinin sowie gustatorische Reize wie Saccharose und Natriumchlorid gleichermaßen reagiert (Rudenga et al., 2010).

Zusammenfassend sind multimodale sensorische Integration zwischen Riechen, Schmecken und trigeminaler Chemosensorik beobachtet worden. Schlussfolgend könnte man sagen, dass man sich in folgenden Studien auf 0,3mg und 0,5mg Capsaicinpulver fokussieren sollte.

6.4 Tastvermögen

Der Buchstabentest ist ein stereognostischer Test, der die Fähigkeit abverlangt, durch Tasten einen Gegenstand in seiner Größe, Form und Anordnung zu erkennen (Jacobs et al., 1998). In dieser Studie wurden dafür gedruckte 3D-Großbuchstaben unterschiedlicher Größe verwendet (wie bei Bogdanov et al., 2021; Essick et al., 1999; Lukasewycz and Mennella, 2012). Die Auswahl der Buchstaben erfolgte unter Berücksichtigung vorhergehender Studien, in denen ebenfalls die Buchstaben A, T, L, O, I, U, J untersucht

wurden (Bogdanov et al., 2021; Essick et al., 2003). Die Grundlage dafür bildeten Studien zur Erkennung von 3D-Buchstaben mit der Fingerspitze (Loomis, 1982; Phillips et al., 1983).

Der Durchschnitt für die Buchstabenerkennung lag für die Kontrollgruppe bei $5,63 \pm 2,06$ mm. Die Werte sind vergleichbar mit anderen Studien in denen die Werte zwischen 3,7 und 5,5 mm variieren (Bogdanov et al., 2021; Essick et al., 1999, 2003; Steele et al., 2014). Für die Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen (olfact/gust) lag der Durchschnitt bei $6,24 \pm 1,65$ mm. Diese Werte sind vergleichbar mit den Ergebnissen der Studie von Bogdanov et al. mit $6,2 \pm 1,5$ mm (Bogdanov et al., 2021). Bei den Proband:innen konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Stereognosiefähigkeit, d. h. der oralen Texturwahrnehmung, zwischen den drei Gruppen festgestellt werden. Es lässt sich lediglich ein Trend beobachten, dass die olfac/gust-Gruppe die geringste orale Texturwahrnehmung aufweist. Die etwas höheren Werte können auch mit der im Alter abnehmenden Fähigkeit des lingualen Tastens zusammenhängen (Bangcuyo & Simons, 2017; Steele et al., 2014). Die Kontrollgruppe hatte ein Durchschnittsalter von 67 Jahren, die Gruppe olfac von 57 Jahren und die Gruppe olfac/gust von 64 Jahren.

In der Patient:innenkohorte stellte die postviral bedingte Schmeckstörung die am häufigsten diagnostizierte Erkrankung dar. Dies lässt den Schluss zu, dass das orale Tastvermögen nicht hinreichend eingeschränkt war, um einen Unterschied messen zu können. Alternativ könnte die olfaktorische Einschränkung als hauptsächlicher Einflussfaktor betrachtet werden, da in beiden Patient:innengruppen (olfac und olfac/gust) eine olfaktorische Dysfunktion vorlag.

Um die Werte des 3D-Buchstabentests weiter zu differenzieren, wurden die Ergebnisse zum Schmecken (Taste-Strips) und zum Riechen (DI) ins Verhältnis gesetzt.

6.4.1 Schmecken und Tastvermögen

Die Auswertung der Korrelation zwischen den Ergebnissen des Taste-Strip-Tests und den Ergebnissen des 3D-Buchstabentests ergab einen schwachen negativen Zusammenhang. Dies bedeutet, dass eine bessere Schmeckleistung mit einer besseren oralen Texturempfindung einhergeht und umgekehrt. Schlussfolgernd könnte man davon ausgehen, dass zwischen der trigeminalen Chemosensorik und der allgemeinen Schmeckempfindung eine Interaktion bestehen könnte. Dies ist insofern erstaunlich, da es sich um zwei voneinander unabhängige Systeme handelt, die Informationen an das Gehirn weiterleiten: zum einen das taktile Empfinden, das über den N. V vermittelt wird, und zum anderen das gustatorische Empfinden, das über die Nn. VII, IX, X weitergeleitet

wird. Im Gehirn werden dann der primäre Geschmackscortex, die Amygdala und der orbitofrontale Kortex von beiden Systemen angesteuert, also der oralen Texturempfindung und des Geschmackssinns (E. T. Rolls, 2020).

Die Ergebnisse deuten also auf eine Abnahme des Tastempfindens der Zunge hin, wenn die Patient:innen schlechter schmecken können. Diese Erkenntnisse stehen im Einklang mit früheren Forschungsarbeiten, die eine hohe Dichte an fungiformen Papillen mit einem erhöhten oralen Tastempfinden in Verbindung bringen (Essick et al., 2003). Gleichzeitig bedeutet eine hohe Dichte an fungiformen Papillen auch eine erhöhte Geschmackssensitivität (Miller & Reedy, 1990; Walliczek-Dworschak et al., 2017). Mistretta und Bradley beschreiben die fungiforme Papille nicht als eine rein gustatorische Papille, sondern sehen in ihr ein polymodales linguales Organ, welches Geschmack, Berührung und Temperatur empfinden kann. Hier finden die Interaktionen auf sensorischer Ebene statt (Mistretta & Bradley, 2021).

Weiterhin wurden bei Untersuchungen der oralen Epithelien bei Ratten der mechanosensitive Kanal (Piezo 2) entdeckt. Exprimiert wird Piezo 2 von Merkel-Zellen welcher mechanische Eigenschaften von Lebensmitteln erkennen kann. Weiterhin werden auch Keratinozyten durch mechanische Stimuli aktiviert (Tong et al., 2024).

6.4.2 Riechen und Tastvermögen

In der ersten Korrelationsrechnung wurden die Ergebnisse des 3D-Buchstabentests mit den überschwelligen DI-Werten korreliert. Dabei zeigt sich, dass mit steigendem DI-Wert, der ein verbessertes Riechvermögen widerspiegelt, die Texturwerte abnehmen. Abnehmende Texturwerte bedeuten in diesem Zusammenhang ein besseres Tastvermögen, da es schwieriger ist kleinere Buchstaben zu ertasten. Zusammenfassend kann also bestimmt werden, dass je besser das Riechvermögen, umso besser auch das Tastvermögen ausfiel.

Im Rahmen des zweiten Tests wurde eine Partialkorrelation zwischen dem DI-Wert und dem 3D-Buchstabenwert des ersten Durchgangs durchgeführt. Dabei blieb der Wert für die Schmeckempfindlichkeit als potenzielle Einflussgröße unberücksichtigt und wurde herausgerechnet. In dieser Konstellation ergibt sich die Frage, ob ein alleiniger Zusammenhang zwischen dem Riechvermögen und dem Texturempfinden besteht. Als Ergebnis wird deutlich, dass unabhängig von der Schmeckempfindlichkeit die DI-Werte mit dem Tastvermögen negativ korrelieren ($r_{47} = -0.33$; $p = 0.018$). Es kann angenommen werden, dass mit steigendem DI-Wert die orale Texturempfindung steigt. Das deutet daraufhin, dass das trigeminale und das olfaktorische System miteinander verbunden sind.

Überschneidungen zwischen dem trigeminalen und dem olfaktorischen System wurden schon in anderen Studien untersucht. So wurde bei Gesunden und Patient:innen mit Riechstörungen mit CO₂ als chemosensorisches Stimulanz der N. V gereizt. Patient:innen mit Riechstörungen reagierten hierbei weniger empfindlich auf den CO₂ Reiz, das bedeutet eine Abnahme der trigeminalen Sensibilität für Patient:innen mit Riechstörungen. Außerdem wurden olfaktorische und trigeminale Aktivierungen in ähnlichen Gehirnarealen beobachtet, so z.B in der ventralen Insula und dem mittleren frontalen Gyrus (Frasnelli et al., 2006).

6.5 Limitationen der Studie

Proband:innenkollektiv

In den drei Gruppen erfolgte keine homogene Verteilung der Anzahl der Proband:innen. Insbesondere die Patient:innengruppen olfac und olfac/gust wiesen eine geringe Größe auf, mit jeweils lediglich 26 und 21 von insgesamt 87 Patient:innen. Zudem wiesen die Gruppen unterschiedliche Geschlechterverhältnisse auf, wobei der Frauenanteil bei 68 % und der Männeranteil bei 32 % lag. Des Weiteren wiesen über 2/3 der Patient:innen einen postviralen Infekt auf.

Retronasale Testung

Es erfolgte keine retronasale Testung, obwohl es für die Aromawahrnehmung sehr wichtig ist (Masaoka et al., 2010). Möglicherweise waren Schmeckstörungen und auch die Beeinträchtigungen in der Schärfewahrnehmung auf eine retronasale Dysfunktion zurückzuführen (Han et al., 2021).

3D-Buchstabentest

Der 3D-Buchstabentest ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Insbesondere die Konzentrationsfähigkeit und die Motivation der Patient:innen sind dabei zu berücksichtigen. Zudem war die Einstellung zum Test sehr unterschiedlich. Während einige den Test als eher spielerisch ansahen, verspürten andere Versagensängste. Zudem spielen physische Faktoren und Geschicklichkeit eine Rolle (Jacobs et al., 1998). Neben der rein oralen Tastfunktion sind auch kognitive Fähigkeiten notwendig, die die Erkennung von 3D-Buchstaben im Mund beeinflussen (Miles et al., 2018). Der Einfluss dieser kognitiven Fähigkeiten auf die spezifische Erkennung von Buchstaben ist jedoch noch nicht vollständig erforscht. Eine Möglichkeit zur Hilfestellung und zur Reduktion der kognitiven Anstrengung könnte darin bestehen, den Teilnehmern ein Blatt mit dem Alphabet vorzulegen (Bangcuyo & Simons, 2017). Für einen international verwendbaren Test können

die Buchstaben ebenfalls nicht verwendet werden, da es unterschiedliche Schriftsysteme gibt (Cattaneo et al., 2020).

Schärfetestung mit Capsaicin

Die Schärfetestung mit Capsaicin bewerteten die Proband:innen selbst auf einer Analogskala, was nicht einer objektiven Messmethode entspricht. Die Bewertung unterliegt somit Einflüssen wie Essgewohnheiten und kulturellen Einflüssen.

7 Ausblick

Somatosensorische Empfindungen beeinflussen unser Geschmackserlebnis erheblich. In dieser Studie wurde gezeigt, dass Dysfunktionen im Riechen und Schmecken auch das linguale Tastempfinden und die Schärfeempfindung negativ beeinflussen, was die klinische Relevanz dieser Studie unterstreicht.

Trotz einer zunehmenden Anzahl von Studien, gibt es derzeit noch keine international vergleichbaren Tests für die Prüfung der oralen Texturempfindung. Ziel der Arbeit war es, die Entwicklung geeigneter Tests voranzutreiben und bestehende Tests zu optimieren.

In diesem Zusammenhang wäre der "seven-iTT"-Test eine geeignete Option, da er die Geschmackssensitivität (süß, sauer, bitter, salzig, adstringent, scharf) und die chemosensorischen Funktionen Schärfe und Adstringenz misst. Da der Test ca. 10 Minuten dauert, kann er gut in den klinischen Alltag eingebunden werden. Die Arbeit empfiehlt, den „seven-iTT“-Test mit dem 3D-Buchstabentest zu vervollständigen, um die linguale Tastempfinden zu integrieren. In anderen Studien wurde der 3D-Buchstabentest bereits eingesetzt, allerdings oft mit mehr als drei Durchgängen, was sehr zeitintensiv ist (Bangcuyo & Simons, 2017; Bogdanov et al., 2021). Er könnte in einer verkürzten Form, wie auch in dieser Studie, klinisch eingesetzt werden.

Unerlässlich sind also Tests, die umfassend gustatorische, olfaktorische und somatosensorische Einschränkungen erfassen, damit für Patient:innen richtige Befunde gestellt werden und die Therapie in Zukunft spezifisch angepasst werden kann.

8 Zusammenfassung

Einführung

Die Geschmackswahrnehmung entsteht durch das Zusammenspiel von peripheren Sinneindrücken wie Geschmack, Geruch, Mundgefühl, Sehen, Hören, Temperaturempfinden, trigeminale Stimulation und des Tastempfindens. Sind eine oder mehrere Eindrücke gestört, kann dies zu Einschränkungen in der Lebensqualität führen. Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, das Zusammenspiel von oralem Tastvermögen und Geruchs- und Geschmacksfähigkeiten zu untersuchen.

Wenn das Geschmackserleben eine multimodale Erfahrung ist, müssen die klinischen Testungen diese Komplexität auch abbilden. Trotz einer zunehmenden Anzahl von Studien über das orale Tastempfinden, gibt es derzeit noch keine international vergleichbaren Tests für die Prüfung der oralen Mechanosensorik. Die vorliegende Arbeit hat daher das Ziel, die Entwicklung solcher Tests zu fördern und bestehende Tests zu optimieren, indem der Zusammenhang mithilfe von unterschiedlichen Schmecktests und 3D-Buchstaben untersucht wird. In Zukunft sollen auch schon geringfügige Schmeckstörungen mit präziseren Tests frühzeitiger und umfassender erfasst werden.

Einige wichtige Fragestellungen der Studie waren:

1. Haben Patient:innen mit Riech – und Schmeckstörungen eine geringere Lebenszufriedenheit als die gesunde Kontrollgruppe?
2. Hat der PTC-Schmeckstatus eine Auswirkung auf das orale Texturempfinden?
3. Haben Patient:innen mit Riech -und Schmeckstörungen eine geringere Reizempfindlichkeit auf Capsaicin im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe?
4. Haben Patient:innen mit Riech -und Schmeckstörungen ein geringeres Tastvermögen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe?
5. Welchen Einfluss hat das Riechvermögen auf die orale Texturempfindung?

Material und Methoden

Insgesamt nahmen 87 Proband:innen (59 Frauen, 28 Männer) im Alter von 20 bis 91 Jahren an der Studie teil. Die Proband:innen wurden nach ihren Diagnosen, die im Zentrum für Riechen und Schmecken der Klinik und Poliklinik für Hals,- Nasen,- Ohrenheilkunde des Universitätsklinikums Dresden gestellt wurden, in drei Gruppen aufgeteilt: eine gesunde Kontrollgruppe (N=40) eine Patient:innengruppe mit isolierten Riechstörungen (N=26) und eine Patient:innengruppe mit kombinierter Riech-und Schmeckstörung (N=21). Zu Beginn der Studie wurden die Proband:innen mit dem Satisfaction with

Life Scale Fragebogen (SWLS) getestet. Im nächsten Schritt erfolgte die psychophysische Testung des Schmeckvermögens mittels Schmecksprays und Schmeckstreifen. Die „Sniffin‘ Sticks“ zur Evaluation des Riechvermögens wurden nur bei der Patient:innengruppe verwendet. Weiterhin erfolgte eine Testung mit PTC-Teststreifen. Zum Abschluss wurde die taktile Empfindung der Zunge mit 3D-Buchstaben geprüft und eine Schärfetestung mit Capsaicin durchgeführt.

Ergebnisse

Die Auswertung des SWLS-Fragebogens ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Beim PTC-Schmeckstatus zeigte sich kein Zusammenhang mit dem Tastvermögen. Weiterhin wurden die Ergebnisse der drei Gruppen beim 3D-Buchstabentest untersucht, bei dem kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Es lässt sich jedoch ein Trend erkennen, dass die Gruppe mit Riech- und Schmeckstörungen größere Buchstaben zum Erkennen brauchte und somit ein geringeres orales Tastvermögen aufwies (control 16,9mm vs. olfac 15,5mm vs olfac/gust 18,7mm). Beim Einfluss des Schmeckvermögens auf die orale Tastempfindung wurde eine schwach negative Korrelation zwischen den Werten des Buchstabentests und den Werten des Schmeckstreifentests festgestellt ($r_{87}=-0.33$, $p=0.002$). Die Korrelation zwischen dem Riechvermögen und den Leistungen beim Ertasten der 3D-Buchstaben ergab einen moderat negativen Zusammenhang ($r_{50}=-0.42$, $p=0.002$). Die Partialkorrelation zwischen dem Riechvermögen und der oralen Tastempfindung unter der Kontrollvariable Schmeckvermögen ergab einen mäßig negativen Zusammenhang ($r_{47}=-0.33$; $p=0.018$). Bei der Schärfetestung mit Capsaicin konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der gesunden Gruppe und der Patient:innengruppe mit Riechstörungen festgestellt werden ($p=0.023$).

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Riech- und Schmeckstörungen einen negativen Einfluss auf somatosensorische Empfindungen, im speziellen auf die taktilen Empfindungen der Zunge und das Schärfeempfinden haben. Darüber hinaus scheint es Interaktionen zwischen der oralen Tastempfindung und der Schmeckempfindung sowie der überschwelligen Riechempfindung zu geben, dies spricht für das System der multimodalen sensorischen Integration. Die genauen Zusammenhänge bleiben Gegenstand zukünftiger Forschung.

Patient:innen mit Riech- und Schmeckstörungen sollten allumfassend untersucht und getestet werden. In zukünftigen Studien könnte der Seven-iTT-Test in Kombination mit

dem 3D-Buchtabentest Anwendung finden, um neben Schärfe- und Adstringenztestung, auch das Tastvermögen der Zunge zu überprüfen. Des Weiteren wäre es empfehlenswert, die Testung auf Patient:innen mit isolierter Schmeckstörung zu beschränken.

9 Summary

Background

Taste perception arises from the interplay of peripheral sensory impressions such as taste, smell, mouthfeel, sight, hearing, temperature sensation as well as trigeminal stimulation and tactile sensation. If one or more of these sensations are disturbed, it will lead to lower quality of life. The aim of the study was to investigate the interplay of lingual tactile sensitivity and smell and taste.

If the experience of taste is a multimodal experience, clinical testing must also reflect this complexity. Despite an increasing number of studies on lingual tactile sensitivity, there are currently no internationally comparable tests for examining lingual tactile sensitivity. The aim of this study is therefore to promote the development of such tests and to optimize existing tests by investigating the relationships using different taste tests and 3D letters. In the future, even minor taste disorders could and should be able to be detected earlier and more comprehensively with more precise tests.

Questions/Hypothesis

The most important leading questions of the study were:

1. Do patients with olfactory and gustatory disorders have lower life satisfaction than the healthy control group?
2. Does the PTC tasting status have an effect on lingual tactile sensitivity?
3. Do patients with olfactory and gustatory disorders have lower sensitivity to capsaicin compared to the healthy control group?
4. Do patients with olfactory and gustatory disorders have a lower lingual sensitivity compared to the healthy control group?
5. What influence does olfaction have on lingual tactile sensitivity?

Materials and Methods

A total of 87 test subjects (59 women, 28 men) aged between 20 and 91 years took part in the study. The subjects were divided into three groups according to their diagnoses at the Smell and Taste Clinic Department of Otorhinolaryngology at University of Dresden: a healthy control group (N=40), a group of patients with isolated olfactory disorders (N=26) and a group of patients with combined olfactory and taste disorders (N=21). At the beginning of the study, the subjects were assessed with the Satisfaction with Life

Scale test (SWLS). In the next step, psychophysical testing of tasting ability was carried out using taste sprays, taste strips, and PTC test strips (while the SDI of the patient group was tested before at the Center "Smell and Taste"). In addition, the oral mechanosensation of the tongue was tested with 3D letters, ultimately, a test to assess chemesthetic sensitivity was carried out with chili powder.

Results

The evaluation of the SWLS test revealed no significant differences between the three groups. The PTC tasting status showed no correlation with oral tactile sensitivity. In addition, the results of the three groups were examined in the 3D letter test, where no significant difference was found. However, a trend can be seen that the group with olfactory and gustatory disorders recognized only larger letters and therefore had a lower oral tactile sensitivity (control 16.9mm vs. olfac 15.5mm vs. olfac/gust 18.7mm). A weak negative correlation was found between the values of the letter test and the values of the taste strip test ($r_{87}=-0.33$, $p=0.002$). The correlation between the olfactory function and the oral tactile sensitivity showed a moderately negative correlation ($r_{50}=-0.42$, $p=0.002$). The partial correlation between olfactory sensitivity and oral tactile sensitivity under the control variable gustatory sensitivity showed a moderately negative correlation ($r_{47}=-0.33$; $p=0.018$). A significant difference was found between the healthy group and the group of patients with olfactory disorders in the capsaicin test ($p=0.023$).

Conclusion

The results of the study show that taste and olfactory disorders have a negative effect on chemesthetic function, especially lingual tactile sensitivity and oral irritation compared to healthy control group. This suggests that there is an interaction between lingual sensitivity and the suprathreshold of olfactory and gustatory perception - this indicates a multimodal sensory integration for which further research has to be conducted. Patients with olfactory and gustatory disorders should be diagnosed holistically. In future studies, the seven-iTT test should be applied in combination with the 3D letter test in order to include lingual sensitivity as well as the testing of adstringency and trigeminal sensitivity. In addition, it is recommended to test patients with an isolated gustatory disorder.

10 Literaturverzeichnis

- Adler, E., Hoon, M. A., Mueller, K. L., Chandrashekar, J., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2000). A Novel Family of Mammalian Taste Receptors. *Cell*, *100*(6), 693–702. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)80705-9](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)80705-9)
- Appiani, M., Rabitti, N. S., Methven, L., Cattaneo, C., & Laureati, M. (2020). Assessment of Lingual Tactile Sensitivity in Children and Adults: Methodological Suitability and Challenges. *Foods*, *9*(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods9111594>
- Aroke, E. N., Powell-Roach, K. L., Jaime-Lara, R. B., Tesfaye, M., Roy, A., Jackson, P., & Joseph, P. V. (2020). Taste the Pain: The Role of TRP Channels in Pain and Taste Perception. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(16), 5929. <https://doi.org/10.3390/ijms21165929>
- Atkins, S., & Kyriakidou, E. (2021). Clinical outcomes of lingual nerve repair. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *59*(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.07.005>
- Aumüller, G., Aust, G., Engele, J., Kirsch, J., Maio, G., Mayerhofer, A., Mense, S., & Reißig, D. (2020). *Anatomie* (5., korrigierte Auflage). Thieme. <https://doi.org/10.1055/b-007-170976>
- Avery, J. A. (2021). Against gustotopic representation in the human brain: There is no Cartesian Restaurant. *Current opinion in physiology*, *20*, 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2021.01.005>
- Bailey, M. A., & Dhaun, N. (2024). Salt Sensitivity: Causes, Consequences, and Recent Advances. *Hypertension (Dallas, Tex. : 1979)*, *81*(3), 476–489. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.123.17959>
- Bangcuyo, R. G., & Simons, C. T. (2017). Lingual tactile sensitivity: Effect of age group, sex, and fungiform papillae density. *Experimental Brain Research*, *235*(9), 2679–2688. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5003-7>
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., Lucchina, L. A., Prutkin, J., & Fast, K. (1998). PROP (6-n-Propylthiouracil) Supertasters and the Saltiness of NaCl. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *855*(1), 793–796. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10660.x>
- Bartoshuk, L. M., Duffy, V. B., & Miller, I. J. (1994). PTC/PROP tasting: Anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiology & Behavior*, *56*(6), 1165–1171. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(94\)90361-1](https://doi.org/10.1016/0031-9384(94)90361-1)
- Beauchamp, G. K. (2016). Why do we like sweet taste: A bitter tale? *Physiology & Behavior*, *164*, 432–437. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.05.007>

- Besnard, P., Passilly-Degrace, P., & Khan, N. A. (2016). Taste of Fat: A Sixth Taste Modality? *Physiological Reviews*, *96*(1), 151–176. <https://doi.org/10.1152/physrev.00002.2015>
- Bogdanov, V., Reinhard, J., McGlone, F., Haehner, A., Simons, C. T., & Hummel, T. (2021). Oral Somatosensory Sensitivity in Patients With Taste Disturbance. *The Laryngoscope*, *131*(11), 2572–2577. <https://doi.org/10.1002/lary.29843>
- Bourne, M. C. (2002). *Food texture and viscosity: Concept and measurement* (2nd ed). Academic Press.
- Boyle, J. A., Heinke, M., Gerber, J., Frasnelli, J., & Hummel, T. (2007). Cerebral Activation to Intranasal Chemosensory Trigeminal Stimulation. *Chemical Senses*, *32*(4), 343–353. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjm004>
- Brand, J. G., Teeter, J. H., & Silver, W. L. (1985). Inhibition by amiloride of chorda tympani responses evoked by monovalent salts. *Brain Research*, *334*(2), 207–214. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(85\)90212-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(85)90212-4)
- Braud, A., & Boucher, Y. (2020). Intra-oral trigeminal-mediated sensations influencing taste perception: A systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*, *47*(2), 258–269. <https://doi.org/10.1111/joor.12889>
- Brewer, A. A., & Barton, B. (2023). Cortical field maps across human sensory cortex. *Frontiers in Computational Neuroscience*, *17*, 1232005. <https://doi.org/10.3389/fncom.2023.1232005>
- Brill, N., Tryde, G., Edwards, C., & Thomas, H. (1974). Age changes in the two-point discrimination threshold in human oral mucosa. *Journal of Oral Rehabilitation*, *1*(4), 323–333. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1974.tb01477.x>
- Bull, T. R. (1965). Taste and the Chorda Tympani. *The Journal of Laryngology & Otology*, *79*(6), 479–493. <https://doi.org/10.1017/S0022215100063969>
- Bult, J. H., De Wijk, R. A., & Hummel, T. (2007). Investigations on multimodal sensory integration: Texture, taste, and ortho-and retronasal olfactory stimuli in concert. *Neuroscience letters*, *411*(1), 6–10.
- Cartoni, C., Yasumatsu, K., Ohkuri, T., Shigemura, N., Yoshida, R., Godinot, N., Coutre, J. le, Ninomiya, Y., & Damak, S. (2010). Taste Preference for Fatty Acids Is Mediated by GPR40 and GPR120. *Journal of Neuroscience*, *30*(25), 8376–8382. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0496-10.2010>
- Casselmann, J., Mermuys, K., Delanote, J., Ghekiere, J., & Coenegrachts, K. (2008). MRI of the Cranial Nerves—More than Meets the Eye: Technical Considerations and Advanced Anatomy. *Neuroimaging Clinics of North America*, *18*(2), 197–231. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2008.02.002>

- Caterina, M. J., Schumacher, M. A., Tominaga, M., Rosen, T. A., Levine, J. D., & Julius, D. (1997). The capsaicin receptor: A heat-activated ion channel in the pain pathway. *Nature*, *389*(6653), Article 6653. <https://doi.org/10.1038/39807>
- Cattaneo, C., Liu, J., Bech, A. C., Pagliarini, E., & Bredie, W. L. P. (2020). Cross-cultural differences in lingual tactile acuity, taste sensitivity phenotypical markers, and preferred oral processing behaviors. *Food Quality and Preference*, *80*, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103803>
- Cavazzana, A., Knaapila, A., Roßkopf, F., Han, P., & Hummel, T. (2019). Detection thresholds for quinine, PTC, and PROP measured using taste strips. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *276*(3), 753–759. <https://doi.org/10.1007/s00405-018-05266-8>
- Chandrashekar, J., Hoon, M. A., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2006). The receptors and cells for mammalian taste. *Nature*, *444*(7117), Article 7117. <https://doi.org/10.1038/nature05401>
- Chandrashekar, J., Kuhn, C., Oka, Y., Yarmolinsky, D. A., Hummler, E., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2010). The cells and peripheral representation of sodium taste in mice. *Nature*, *464*(7286), Article 7286. <https://doi.org/10.1038/nature08783>
- Chang, W.-I., Chung, J.-W., Kim, Y.-K., Chung, S.-C., & Kho, H.-S. (2006). The relationship between phenylthiocarbamide (PTC) and 6-*n*-propylthiouracil (PROP) taster status and taste thresholds for sucrose and quinine. *Archives of Oral Biology*, *51*(5), 427–432. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2005.10.002>
- Chaudhari, N., & Roper, S. D. (2010). The cell biology of taste. *Journal of Cell Biology*, *190*(3), 285–296. <https://doi.org/10.1083/jcb.201003144>
- Chen, B., Benzien, C., Faria, V., Ning, Y., Cuevas, M., Linke, J., Croy, I., Haehner, A., & Hummel, T. (2021). Symptoms of Depression in Patients with Chemosensory Disorders. *ORL*, *83*(3), 135–143. <https://doi.org/10.1159/000513751>
- Chen, J. (2014). Food oral processing: Some important underpinning principles of eating and sensory perception. *Food Structure*, *1*(2), 91–105. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2014.03.001>
- Chen, X., Gabito, M., Peng, Y., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2011). A Gustotopic Map of Taste Qualities in the Mammalian Brain. *Science (New York, N. Y.)*, *333*(6047), 1262–1266. <https://doi.org/10.1126/science.1204076>
- Chia, C. W., Yeager, S. M., & Egan, J. M. (2023). Endocrinology of Taste with Aging. *Endocrinology and metabolism clinics of North America*, *52*(2), 295–315. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2022.10.002>

- Croy, I., Nordin, S., & Hummel, T. (2014). Olfactory Disorders and Quality of Life—An Updated Review. *Chemical Senses*, 39(3), 185–194. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjt072>
- Danilova, V., Danilov, Y., Roberts, T., Tinti, J.-M., Nofre, C., & Hellekant, G. (2002). Sense of Taste in a New World Monkey, the Common Marmoset: Recordings From the Chorda Tympani and Glossopharyngeal Nerves. *Journal of Neurophysiology*, 88(2), 579–594. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.2.579>
- de Wijk, R. A., Terpstra, M. E. J., Janssen, A. M., & Prinz, J. F. (2006). Perceived creaminess of semi-solid foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(8), 412–422. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.02.005>
- Deems, D. A., Doty, R. L., Settle, R. G., Moore-Gillon, V., Shaman, P., Mester, A. F., Kimmelman, C. P., Brightman, V. J., & Snow, J. B. (1991). Smell and taste disorders, a study of 750 patients from the University of Pennsylvania Smell and Taste Center. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, 117(5), 519–528. <https://doi.org/10.1001/archotol.1991.01870170065015>
- Deems, D. A., Yen, D. M., Kreshak, A., & Doty, R. L. (1996). Spontaneous resolution of dysgeusia. *Archives of Otolaryngology--Head & Neck Surgery*, 122(9), 961–963. <https://doi.org/10.1001/archotol.1996.01890210037009>
- DeFazio, R. A., Dvoryanchikov, G., Maruyama, Y., Kim, J. W., Pereira, E., Roper, S. D., & Chaudhari, N. (2006). Separate Populations of Receptor Cells and Presynaptic Cells in Mouse Taste Buds. *The Journal of Neuroscience*, 26(15), 3971–3980. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0515-06.2006>
- Deshpande, T. S., Blanchard, P., Wang, L., Foote, R. L., Zhang, X., & Frank, S. J. (2018). Radiation-Related Alterations of Taste Function in Patients With Head and Neck Cancer: A Systematic Review. *Current Treatment Options in Oncology*, 19(12), 72. <https://doi.org/10.1007/s11864-018-0580-7>
- Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J., & Griffin, S. (1985). The Satisfaction With Life Scale. *Journal of Personality Assessment*, 49(1), 71–75. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13
- Doty, R. L., & De Fonte, T. P. (2016). Relationship of Phenylthiocarbamide (PTC) Taster Status to Olfactory and Gustatory Function in Patients with Chemosensory Disturbances. *Chemical Senses*, 41(8), 685–696. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjw070>
- Doyle, M. E., Premathilake, H. U., Yao, Q., Mazucanti, C. H., & Egan, J. M. (2023). Physiology of the tongue with emphasis on taste transduction. *Physiological Reviews*, 103(2), 1193–1246. <https://doi.org/10.1152/physrev.00012.2022>

- Drewnowski, A., Kristal, A., & Cohen, J. (2001). Genetic Taste Responses to 6-n-Propylthiouracil Among Adults: A Screening Tool for Epidemiological Studies. *Chemical Senses*, 26(5), 483–489. <https://doi.org/10.1093/chemse/26.5.483>
- Driscoll, K. A., Perez, M., Cukrowicz, K. C., Butler, M., & Joiner, T. E. (2006). Associations of phenylthiocarbamide tasting to alcohol problems and family history of alcoholism differ by gender. *Psychiatry Research*, 143(1), 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2005.07.029>
- Duffy, V. B., Davidson, A. C., Kidd, J. R., Kidd, K. K., Speed, W. C., Pakstis, A. J., Reed, D. R., Snyder, D. J., & Bartoshuk, L. M. (2004). Bitter Receptor Gene (TAS2R38), 6-n-Propylthiouracil (PROP) Bitterness and Alcohol Intake. *Alcoholism, clinical and experimental research*, 28(11), 1629–1637. <https://doi.org/10.1097/01.ALC.0000145789.55183.D4>
- Essick, G. K., Chen, C. C., & Kelly, D. G. (1999). A letter-recognition task to assess lingual tactile acuity. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 57(11), 1324–1330. [https://doi.org/10.1016/S0278-2391\(99\)90871-6](https://doi.org/10.1016/S0278-2391(99)90871-6)
- Essick, G. K., Chopra, A., Guest, S., & McGlone, F. (2003). Lingual tactile acuity, taste perception, and the density and diameter of fungiform papillae in female subjects. *Physiology & Behavior*, 80(2), 289–302. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2003.08.007>
- Farbman, A. I. (1965). Fine structure of the taste bud. *Journal of Ultrastructure Research*, 12(3), 328–350. [https://doi.org/10.1016/S0022-5320\(65\)80103-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5320(65)80103-4)
- Fark, T., Hummel, C., Hähner, A., Nin, T., & Hummel, T. (2013). Characteristics of taste disorders. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 270(6), 1855–1860. <https://doi.org/10.1007/s00405-012-2310-2>
- Finger, T. E. (2005). Cell types and lineages in taste buds. *Chemical Senses*, 30 Suppl 1, i54-55. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh110>
- Frasnelli, J., & Hummel, T. (2007). Interactions between the chemical senses: Trigeminal function in patients with olfactory loss. *International Journal of Psychophysiology*, 65(3), 177–181. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.03.007>
- Frasnelli, J., Schuster, B., Zahnert, T., & Hummel, T. (2006). Chemosensory specific reduction of trigeminal sensitivity in subjects with olfactory dysfunction. *Neuroscience*, 142(2), 541–546. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.06.005>
- Fujii, R., Takahashi, T., Toyomura, A., Miyamoto, T., Ueno, T., & Yokoyama, A. (2011). Comparison of cerebral activation involved in oral and manual stereognosis. *Journal of Clinical Neuroscience*, 18(11), 1520–1523. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2011.03.005>

- Furukawa, N., Ito, Y., Tanaka, Y., Ito, W., & Hattori, Y. (2019). Preliminary exploration for evaluating acuity of oral texture perception. *Journal of Texture Studies*, *50*(3), 217–223. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12400>
- Gardiner, J., Barton, D., Vanslambrouck, J. M., Braet, F., Hall, D., Marc, J., & Overall, R. (2008). Defects in tongue papillae and taste sensation indicate a problem with neurotrophic support in various neurological diseases. *The Neuroscientist: A Review Journal Bringing Neurobiology, Neurology and Psychiatry*, *14*(3), 240–250. <https://doi.org/10.1177/1073858407312382>
- Gilbertson, T. A. (1992). Proton currents through amiloride-sensitive Na channels in hamster taste cells. Role in acid transduction. *The Journal of General Physiology*, *100*(5), 803–824.
- Gravina, S. A., Yep, G. L., & Khan, M. (2013). Human Biology of Taste. *Annals of Saudi Medicine*, *33*(3), 217–222. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2013.217>
- Green, B. G. (2012). Chemesthesis and the Chemical Senses as Components of a “Chemofensor Complex”. *Chemical Senses*, *37*(3), 201–206. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr119>
- Guinard, J.-X., & Mazzucchelli, R. (1996). The sensory perception of texture and mouth-feel. *Trends in Food Science & Technology*, *7*(7), 213–219. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10025-X](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10025-X)
- Gurvits, G. E., & Tan, A. (2013). Burning mouth syndrome. *World Journal of Gastroenterology: WJG*, *19*(5), 665–672. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i5.665>
- Haehner, A., Boesveldt, S., Berendse, H. W., Mackay-Sim, A., Fleischmann, J., Silburn, P. A., Johnston, A. N., Mellick, G. D., Herting, B., Reichmann, H., & Hummel, T. (2009). Prevalence of smell loss in Parkinson’s disease – A multicenter study. *Parkinsonism & Related Disorders*, *15*(7), 490–494. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2008.12.005>
- Haehner, A., Masala, C., Walter, S., Reichmann, H., & Hummel, T. (2019). Incidence of Parkinson’s disease in a large patient cohort with idiopathic smell and taste loss. *Journal of Neurology*, *266*(2), 339–345. <https://doi.org/10.1007/s00415-018-9135-x>
- Han, P., Fark, T., de Wijk, R. A., Roudnitzky, N., Iannilli, E., Seo, H.-S., & Hummel, T. (2019). Modulation of sensory perception of cheese attributes intensity and texture liking via ortho- and retro-nasal odors. *Food Quality and Preference*, *73*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.019>

- Han, P., Müller, L., & Hummel, T. (2022). Peri-threshold Trigeminal Stimulation with Capsaicin Increases Taste Sensitivity in Humans. *Chemosensory Perception*, 15(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s12078-021-09285-4>
- Han, P., Seo, H., Klockow, M., Yan, X., Hähner, A., & Hummel, T. (2021). Oral irritation in patients with chemosensory dysfunction. *Flavour and Fragrance Journal*, 36(4), 490–496. <https://doi.org/10.1002/ffj.3660>
- Harper, A. R., Dobson, R. C. J., Morris, V. K., & Moggré, G. (2022). Fermentation of plant-based dairy alternatives by lactic acid bacteria. *Microbial Biotechnology*, 15(5), 1404–1421. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14008>
- Heckmann, J. G., Heckmann, S. M., Lang, C. J. G., & Hummel, T. (2003). Neurological Aspects of Taste Disorders. *Archives of Neurology*, 60(5), 667–671. <https://doi.org/10.1001/archneur.60.5.667>
- Heckmann, J. G., Stössel, C., Lang, C. J. G., Neundörfer, B., Tomandl, B., & Hummel, T. (2005). Taste disorders in acute stroke: A prospective observational study on taste disorders in 102 stroke patients. *Stroke*, 36(8), 1690–1694. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000173174.79773.d3>
- Heckmann, S. M., Hujoel, P., Habiger, S., Friess, W., Wichmann, M., Heckmann, J. G., & Hummel, T. (2005). Zinc gluconate in the treatment of dysgeusia—A randomized clinical trial. *Journal of Dental Research*, 84(1), 35–38. <https://doi.org/10.1177/154405910508400105>
- Heiser, C., Landis, B. N., Giger, R., Cao Van, H., Guinand, N., Hörmann, K., & Stuck, B. A. (2012). Taste disorders after tonsillectomy: A long-term follow-up. *The Laryngoscope*, 122(6), 1265–1266. <https://doi.org/10.1002/lary.23270>
- Henkin, R. I., Gill, J. R., & Bartter, F. C. (1963). Studies on taste thresholds in normal man and in patients with adrenal cortical insufficiency: The role of adrenal cortical steroids and of serum sodium concentration. *Journal of Clinical Investigation*, 42(5), 727–735.
- Hiemae, K. (2004). Mechanisms of Food Reduction, Transport and Deglutition: How the Texture of Food Affects Feeding Behavior. *Journal of Texture Studies*, 35(2), 171–200. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2004.tb00832.x>
- Hirai, R., Takao, K., Onoda, K., Kokubun, S., & Ikeda, M. (2012). Patients with phantogeusia show increased expression of T2R taste receptor genes in their tongues. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology*, 121(2), 113–118. <https://doi.org/10.1177/000348941212100208>

- Horio, N., Yoshida, R., Yasumatsu, K., Yanagawa, Y., Ishimaru, Y., Matsunami, H., & Ninomiya, Y. (2011). Sour Taste Responses in Mice Lacking PKD Channels. *PLOS ONE*, 6(5), e20007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020007>
- Hotta, M., Endo, S., & Tomita, H. (2002). Taste Disturbance in Two Patients after Dental Anesthesia by Inferior Alveolar Nerve Block. *Acta Oto-Laryngologica*, 122(4), 94–98. <https://doi.org/10.1080/00016480260046463>
- Huang, A. L., Chen, X., Hoon, M. A., Chandrashekar, J., Guo, W., Tränkner, D., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2006). The Cells and Logic for Mammalian Sour Taste detection. *Nature*, 442(7105), 934–938. <https://doi.org/10.1038/nature05084>
- Hummel, T. (2005). Functional MRI of Intranasal Chemosensory Trigeminal Activation. *Chemical Senses*, 30(Supplement 1), i205–i206. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh186>
- Hummel, T., Landis, B. N., & Hüttenbrink, K.-B. (2012). Smell and taste disorders. *GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery*, 10, Doc04. <https://doi.org/10.3205/cto000077>
- Hummel, T., Sekinger, B., Wolf, S. R., Pauli, E., & Kobal, G. (1997). ‘Sniffin’ Sticks’: Olfactory Performance Assessed by the Combined Testing of Odor Identification, Odor Discrimination and Olfactory Threshold. *Chemical Senses*, 22(1), 39–52. <https://doi.org/10.1093/chemse/22.1.39>
- Hutchings, S., Alfante, R., Jacob, N., & Loveday, S. M. (2024). Dairy versus non-dairy cheese texture: Sensory and instrumental contrasts. *Journal of Texture Studies*, 55(4), e12863. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12863>
- Internationale Organisation für Normung. (2008). *ISO 5492:2008(en), Sensory analysis—Vocabulary*. [Aufruf am : 27.04.2025]. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5492:ed-2:v1:en>
- Jacobs, R., Serhal, C. B., & van Steenberghe, D. (1998). Oral stereognosis: A review of the literature. *Clinical Oral Investigations*, 2(1), 3–10. <https://doi.org/10.1007/s007840050035>
- Just, T., Pau, H. W., Steiner, S., & Hummel, T. (2007). Assessment of oral trigeminal sensitivity in humans. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 264(5), 545–551. <https://doi.org/10.1007/s00405-006-0218-4>
- Karrer, T., & Bartoshuk, L. (1991). Capsaicin desensitization and recovery on the human tongue. *Physiology & Behavior*, 49(4), 757–764. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(91\)90315-F](https://doi.org/10.1016/0031-9384(91)90315-F)
- Kim, E. H.-J., Paredes, D., Motoi, L., Eckert, M., Wadamori, Y., Tartaglia, J., Wade, C., Green, C., Hedderley, D. H., & Morgenstern, M. P. (2021). Subthreshold

- chemesthetic stimulation can enhance flavor lastingness of a soft chewable candy. *Food Research International*, 140, 109883. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109883>
- Kingsmill, V. J., Berkovitz, B. K. B., & Barrett, A. W. (2005). An immunohistochemical analysis of human Merkel cell density in gingival epithelium from dentate and edentulous subjects. *Archives of Oral Biology*, 50(10), 883–887. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2005.02.004>
- Klein, A. H. (2019). The orotrigeminal system. *Handbook of clinical neurology*, 164, 205–216. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63855-7.00013-7>
- Klinke, R., Pape, H.-C., Kurtz, A., & Silbernagl, S. (Hrsg.). (2010). 22 Geschmack und Geruch. In *Physiologie* (6. Auflage). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-002-46974>
- Kobal, G. (1985). Gustatory evoked potentials in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 62(6), 449–454. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(85\)90055-3](https://doi.org/10.1016/0168-5597(85)90055-3)
- Kurihara, K. (2009). Glutamate: From discovery as a food flavor to role as a basic taste (umami)12. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90(3), 719S-722S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27462D>
- Kurihara, K. (2015). Umami the Fifth Basic Taste: History of Studies on Receptor Mechanisms and Role as a Food Flavor. *BioMed Research International*, 2015, e189402. <https://doi.org/10.1155/2015/189402>
- Kusier, A. O., & Folker, A. P. (2021). The Satisfaction with Life Scale: Philosophical Foundation and Practical Limitations. *Health Care Analysis*, 29(1), 21–38. <https://doi.org/10.1007/s10728-020-00420-y>
- Laffitte, A., Neiers, F., & Briand, L. (2014). Functional roles of the sweet taste receptor in oral and extraoral tissues. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 17(4), 379–385. <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000058>
- Laing, D. G., & Jinks, A. (1996). Flavour perception mechanisms. *Trends in Food Science & Technology*, 7(12), 387–389. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(96\)10049-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(96)10049-2)
- Lamey, P. J., & Lamb, A. B. (1988). Prospective study of aetiological factors in burning mouth syndrome. *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 296(6631), 1243–1246. <https://doi.org/10.1136/bmj.296.6631.1243>
- Landis, B. N., Hummel, T., & Lacroix, J.-S. (2005). Basic and Clinical Aspects of Olfaction. In J. D. Pickard, N. Akalan, C. Di Rocco, V. V. Dolenc, R. Fahlbusch, J. Lobo Antunes, M. Sindou, N. de Tribolet, & C. A. F. Tulleken (Hrsg.), *Advances and*

- Technical Standards in Neurosurgery* (S. 69–105). Springer.
https://doi.org/10.1007/3-211-27208-9_3
- Landis, B. N., & Just, T. (2010). Schmeckstörungen. *HNO*, *58*, 650–655.
<https://doi.org/10.1007/s00106-010-2145-3>
- Landis, B. N., Welge-Luessen, A., Brämerson, A., Bende, M., Mueller, C. A., Nordin, S., & Hummel, T. (2009). “Taste Strips” – A rapid, lateralized, gustatory bedside identification test based on impregnated filter papers. *Journal of Neurology*, *256*(2), 242–248. <https://doi.org/10.1007/s00415-009-0088-y>
- Langan, M. J., & Yearick, E. (1976). The effects of improved oral hygiene on taste perception and nutrition of the elderly. *Journal of Gerontology*, *31*(4).
<https://doi.org/10.1093/geronj/31.4.413>
- Lawton, D. M., Furness, D. N., Lindemann, B., & Hackney, C. M. (2000). Localization of the glutamate–aspartate transporter, GLAST, in rat taste buds. *European Journal of Neuroscience*, *12*(9), 3163–3171. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2000.00207.x>
- Lee, C. B., & Lawless, H. T. (1991). Time-course of astringent sensations. *Chemical Senses*, *16*(3), 225–238. <https://doi.org/10.1093/chemse/16.3.225>
- Li, Q., Cui, Y., Jin, R., Lang, H., Yu, H., Sun, F., He, C., Ma, T., Li, Y., Zhou, X., Liu, D., Jia, H., Chen, X., & Zhu, Z. (2017). Enjoyment of Spicy Flavor Enhances Central Salty-Taste Perception and Reduces Salt Intake and Blood Pressure. *Hypertension (Dallas, Tex.: 1979)*, *70*(6), 1291–1299. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.117.09950>
- Li, X., Staszewski, L., Xu, H., Durick, K., Zoller, M., & Adler, E. (2002). Human receptors for sweet and umami taste. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *99*(7), 4692–4696.
<https://doi.org/10.1073/pnas.072090199>
- Liman, E. R., Zhang, Y. V., & Montell, C. (2014). Peripheral coding of taste. *Neuron*, *81*(5), 984–1000. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.02.022>
- Lin, W., Ogura, T., & Kinnamon, S. C. (2002). Acid-Activated Cation Currents in Rat Vallate Taste Receptor Cells. *Journal of Neurophysiology*, *88*(1), 133–141.
<https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.1.133>
- Lindemann, B. (1996). Taste reception. *Physiological Reviews*, *76*(3), 719–766.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1996.76.3.719>
- Lindemann, B. (2001). Receptors and transduction in taste. *Nature*, *413*(6852), Article 6852. <https://doi.org/10.1038/35093032>

- Loomis, J. M. (1982). Analysis of tactile and visual confusion matrices. *Perception & Psychophysics*, *31*(1), 41–52. <https://doi.org/10.3758/BF03206199>
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The Hallmarks of Aging. *Cell*, *153*(6), 1194–1217. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039>
- Lukasewycz, L. D., & Mennella, J. A. (2012). Lingual tactile acuity and food texture preferences among children and their mothers. *Food Quality and Preference*, *26*(1), 58. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.03.007>
- Lyckholm, L., Hedding, S. P., Parker, G., Coyne, P. J., Ramakrishnan, V., Smith, T. J., & Henkin, R. I. (2012). A Randomized, Placebo Controlled Trial of Oral Zinc for Chemotherapy-Related Taste and Smell Disorders. *Journal of pain & palliative care pharmacotherapy*, *26*(2), 111–114. <https://doi.org/10.3109/15360288.2012.676618>
- Manzi, B., & Hummel, T. (2014). Intensity of regionally applied tastes in relation to administration method: An investigation based on the “taste strips” test. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *271*(2), 411–415. <https://doi.org/10.1007/s00405-013-2748-x>
- Maruyama, Y., Yasuda, R., Kuroda, M., & Eto, Y. (2012). Kokumi Substances, Enhancers of Basic Tastes, Induce Responses in Calcium-Sensing Receptor Expressing Taste Cells. *PLOS ONE*, *7*(4), e34489. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034489>
- Masaoka, Y., Satoh, H., Akai, L., & Homma, I. (2010). Expiration: The moment we experience retronasal olfaction in flavor. *Neuroscience Letters*, *473*(2), 92–96. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.02.024>
- Mastinu, M., Pieniak, M., Wolf, A., Green, T., Hähner, A., Niv, M. Y., & Hummel, T. (2022). A Simple Taste Test for Clinical Assessment of Taste and Oral Somatosensory Function—The “Seven-iTT”. *Life*, *13*(1), 59. <https://doi.org/10.3390/life13010059>
- Mathlin, J., Courtier, N., & Hopkinson, J. (2023). Taste changes during radiotherapy for head and neck cancer. *Radiography*, *29*(4), 746–751. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2023.05.004>
- Medler, K. F., Margolskee, R. F., & Kinnamon, S. C. (2003). Electrophysiological Characterization of Voltage-Gated Currents in Defined Taste Cell Types of Mice. *The Journal of Neuroscience*, *23*(7), 2608–2617. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-07-02608.2003>

- Merkonidis, C., Grosse, F., Ninh, T., Hummel, C., Haehner, A., & Hummel, T. (2015). Characteristics of chemosensory disorders—Results from a survey. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, *272*(6), 1403–1416. <https://doi.org/10.1007/s00405-014-3210-4>
- Miles, B. L., Van Simaey, K., Whitecotton, M., & Simons, C. T. (2018). Comparative tactile sensitivity of the fingertip and apical tongue using complex and pure tactile tasks. *Physiology & Behavior*, *194*, 515–521. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.07.002>
- Miller, I. J., & Reedy, F. E. (1990). Variations in human taste bud density and taste intensity perception. *Physiology & Behavior*, *47*(6), 1213–1219. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(90\)90374-D](https://doi.org/10.1016/0031-9384(90)90374-D)
- Milosavljevic, M., Koch, C., & Rangel, A. (2011). Consumers can make decisions in as little as a third of a second. *Judgment and Decision Making*, *6*(6), 520–530. <https://doi.org/10.1017/S1930297500002485>
- Mistretta, C. M., & Bradley, R. M. (2021). The Fungiform Papilla Is a Complex, Multimodal, Oral Sensory Organ. *Current opinion in physiology*, *20*, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.cophys.2021.01.012>
- Miura, H., Scott, J. K., Harada, S., & Barlow, L. A. (2014). Sonic hedgehog-expressing basal cells are general post-mitotic precursors of functional taste receptor cells. *Developmental dynamics : an official publication of the American Association of Anatomists*, *243*(10), 1286–1297. <https://doi.org/10.1002/dvdy.24121>
- Moayedi, Y., Xu, S., Obayashi, S. K., Hoffman, B. U., Gerling, G. J., & Lumpkin, E. A. (2023). The cellular basis of mechanosensation in mammalian tongue. *Cell reports*, *42*(2), 112087. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2023.112087>
- Mosca, A. C., & Chen, J. (2017). Food-saliva interactions: Mechanisms and implications. *Trends in Food Science & Technology*, *66*, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.005>
- Mossman, K., Shatzman, A., & Chencharick, J. (1982). Long-term effects of radiotherapy on taste and salivary function in man. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, *8*(6), 991–997. [https://doi.org/10.1016/0360-3016\(82\)90166-3](https://doi.org/10.1016/0360-3016(82)90166-3)
- Mu, L., & Sanders, I. (2010). Human Tongue Neuroanatomy: Nerve Supply and Motor Endplates. *Clinical anatomy (New York, N.Y.)*, *23*(7), 777–791. <https://doi.org/10.1002/ca.21011>

- Mueller, C., Kallert, S., Renner, B., Stiassny, K., Temmel, A. F. P., Hummel, T., & Kobal, G. (2003). *Quantitative assessment of gustatory function in a clinical context using impregnated "taste strips"*.
- Müller, C. A., & Renner, B. (2022). Riechstörungen evidenzbasiert diagnostizieren und behandeln. Der unterschätzte Sinn – neue Erkenntnisse belegen die Bedeutung und Leistungsfähigkeit des menschlichen Geruchssinns. *Wiener Medizinische Wochenschrift (1946)*, 172(1–2), 8–13. <https://doi.org/10.1007/s10354-021-00895-x>
- Murray, R. G., & Murray, A. (1967). Fine structure of taste buds of rabbit foliate papillae. *Journal of Ultrastructure Research*, 19(3), 327–353. [https://doi.org/10.1016/S0022-5320\(67\)80224-7](https://doi.org/10.1016/S0022-5320(67)80224-7)
- Murray, R. G., Murray, A., & Fujimoto, S. (1969). Fine structure of gustatory cells in rabbit taste buds. *Journal of Ultrastructure Research*, 27(5), 444–461. [https://doi.org/10.1016/S0022-5320\(69\)80043-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5320(69)80043-2)
- Niklassen, A. S., Sakthivel, S., Fjaeldstad, A. W., & Ovesen, T. (2022). Danish Validation of a Retronasal Olfactory Powder Test and Development of a Novel Quick Retronasal Olfactory Test. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 26(04), e615–e623. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1740597>
- Nissim, I., Dagan-Wiener, A., & Niv, M. Y. (2017). The taste of toxicity: A quantitative analysis of bitter and toxic molecules. *IUBMB Life*, 69(12), 938–946. <https://doi.org/10.1002/iub.1694>
- Ohla, K., Hudry, J., & Coutre, J. (2009). The Cortical Chronometry of Electrogustatory Event-related Potentials. *Brain topography*, 22, 73–82. <https://doi.org/10.1007/s10548-009-0076-7>
- Ohsu, T., Amino, Y., Nagasaki, H., Yamanaka, T., Takeshita, S., Hatanaka, T., Maruyama, Y., Miyamura, N., & Eto, Y. (2010). Involvement of the Calcium-sensing Receptor in Human Taste Perception. *The Journal of Biological Chemistry*, 285(2), 1016. <https://doi.org/10.1074/jbc.M109.029165>
- Oka, Y., Butnaru, M., von Buchholtz, L., Ryba, N. J. P., & Zuker, C. S. (2013). High salt recruits aversive taste pathways. *Nature*, 494(7438), 472–475. <https://doi.org/10.1038/nature11905>
- Onoda, K., Hirai, R., Takao, K., Kokubun, S., & Ikeda, M. (2011). Patients with hypogeusia show changes in expression of T2R taste receptor genes in their tongues. *The Laryngoscope*, 121(12), 2592–2597. <https://doi.org/10.1002/lary.22368>

- Pangborn, R. M., Gibbs, Z. M., & Tassan, C. (1978). Effect of Hydrocolloids on Apparent Viscosity and Sensory Properties of Selected Beverages. *Journal of Texture Studies*, 9(4), 415–436. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1978.tb01216.x>
- Pangborn, R. M., & Szczesniak, A. S. (1974). Effect of Hydrocolloids and Viscosity on Flavor and Odor Intensities of Aromatic Flavor Compounds. *Journal of Texture Studies*, 4(4), 467–482. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1974.tb00857.x>
- Pavlidis, P., Gouveris, H., Anogeianaki, A., Koutsonikolas, D., Anogianakis, G., & Kekes, G. (2013). Age-related Changes in Electrogustometry Thresholds, Tongue Tip Vascularization, Density, and Form of the Fungiform Papillae in Humans. *Chemical Senses*, 38(1), 35–43. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjs076>
- Pavlos, P., Vasilios, N., Antonia, A., Dimitrios, K., Georgios, K., & Georgios, A. (2009). Evaluation of young smokers and non-smokers with Electrogustometry and Contact Endoscopy. *BMC Ear, Nose, and Throat Disorders*, 9, 9. <https://doi.org/10.1186/1472-6815-9-9>
- Pavot, W., & Diener, E. (2008). The Satisfaction With Life Scale and the emerging construct of life satisfaction. *The Journal of Positive Psychology*, 3(2), 137–152. <https://doi.org/10.1080/17439760701756946>
- Pepino, M. Y., Kuda, O., Samovski, D., & Abumrad, N. A. (2014). Structure-Function of CD36 and Importance of Fatty Acid Signal Transduction in Fat Metabolism. *Annual Review of Nutrition*, 34(Volume 34, 2014), 281–303. <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071812-161220>
- Perea-Martinez, I., Nagai, T., & Chaudhari, N. (2013). Functional Cell Types in Taste Buds Have Distinct Longevities. *PLOS ONE*, 8(1), e53399. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053399>
- Pereira, T., Barroso, S., & Gil, M. M. (2021). Food Texture Design by 3D Printing: A Review. *Foods*, 10(2), 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
- Phillips, J. R., Johnson, K. O., & Browne, H. M. (1983). A comparison of visual and two modes of tactual letter resolution. *Perception & Psychophysics*, 34(3), 243–249. <https://doi.org/10.3758/BF03202952>
- Pitzer, A. L., Van Beusecum, J. P., Kleyman, T. R., & Kirabo, A. (2020). ENaC in Salt-Sensitive Hypertension: Kidney and Beyond. *Current Hypertension Reports*, 22(9), 69. <https://doi.org/10.1007/s11906-020-01067-9>
- Reiter, E. R., DiNardo, L. J., & Costanzo, R. M. (2004). Effects of head injury on olfaction and taste. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 37(6), 1167–1184. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2004.06.005>

- Rhyu, M.-R., Kim, Y., & Lyall, V. (2021). Interactions between Chemesthesis and Taste: Role of TRPA1 and TRPV1. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3360. <https://doi.org/10.3390/ijms22073360>
- Riantiningtyas, R. R., Dougkas, A., Kwiecien, C., Carrouel, F., Giboreau, A., & Bredie, W. L. P. (2024). A review of assessment methods for measuring individual differences in oral somatosensory perception. *Journal of Texture Studies*, 55(4), e12849. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12849>
- Rolls, B. J. (1999). Do Chemosensory Changes Influence Food Intake in the Elderly? *Physiology & Behavior*, 66(2), 193–197. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(98\)00264-9](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(98)00264-9)
- Rolls, E., & Baylis, L. (1994). Gustatory, olfactory, and visual convergence within the primate orbitofrontal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 14(9), 5437–5452. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-09-05437.1994>
- Rolls, E. T. (2020). The texture and taste of food in the brain. *Journal of Texture Studies*, 51(1), 23–44. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12488>
- Roper, S. D. (2014). TRPs in Taste and Chemesthesis. *Handbook of experimental pharmacology*, 223, 827–871. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05161-1_5
- Roper, S. D., & Chaudhari, N. (2017). Taste buds: Cells, signals and synapses. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(8), Article 8. <https://doi.org/10.1038/nrn.2017.68>
- Rosenthal, A., & Chen, J. (2024). *Food Texturology: Measurement and Perception of Food Textural Properties* (2.Auflage).
- Roudnitzky, N., Behrens, M., Engel, A., Kohl, S., Thalmann, S., Hübner, S., Lossow, K., Wooding, S. P., & Meyerhof, W. (2015). Receptor Polymorphism and Genomic Structure Interact to Shape Bitter Taste Perception. *PLOS Genetics*, 11(9), e1005530. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1005530>
- Roukka, S., Puputti, S., Aisala, H., Hoppu, U., Seppä, L., & Sandell, M. A. (2021). The Individual Differences in the Perception of Oral Chemesthesis Are Linked to Taste Sensitivity. *Foods*, 10(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/foods10112730>
- Rudenga, K., Green, B., Nachtigal, D., & Small, D. M. (2010). Evidence for an Integrated Oral Sensory Module in the Human Anterior Ventral Insula. *Chemical Senses*, 35(8), 693–703. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjq068>
- Running, C. A., Craig, B. A., & Mattes, R. D. (2015). Oleogustus: The Unique Taste of Fat. *Chemical Senses*, 40(7), 507–516. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjv036>
- Saito, T., Manabe, Y., Shibamori, Y., Yamagishi, T., Igawa, H., Tokuriki, M., Fukuoka, Y., Noda, I., Ohtsubo, T., & Saito, H. (2001). Long-term follow-up results of

- electrogustometry and subjective taste disorder after middle ear surgery. *The Laryngoscope*, 111(11 Pt 1), 2064–2070. <https://doi.org/10.1097/00005537-2001111000-00037>
- Samuelsen, C. L., Gardner, M. P. H., & Fontanini, A. (2013). Thalamic Contribution to Cortical Processing of Taste and Expectation. *The Journal of Neuroscience*, 33(5), 1815–1827. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4026-12.2013>
- Sasano, T., Satoh-Kuriwada, S., Shoji, N., Sekine-Hayakawa, Y., Kawai, M., & Uneyama, H. (2010). Application of Umami Taste Stimulation to Remedy Hypogeusia Based on Reflex Salivation. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 33(11), 1791–1795. <https://doi.org/10.1248/bpb.33.1791>
- Scala, A., Checchi, L., Montevecchi, M., Marini, I., & Giamberardino, M. A. (2003). Update on burning mouth syndrome: Overview and patient management. *Critical Reviews in Oral Biology and Medicine: An Official Publication of the American Association of Oral Biologists*, 14(4), 275–291. <https://doi.org/10.1177/154411130301400405>
- Schiffman, S. S. (2000). Taste quality and neural coding: Implications from psychophysics and neurophysiology. *Physiology & Behavior*, 69(1), 147–159. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(00\)00198-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(00)00198-0)
- Schiffman, S. S. (2018). Influence of medications on taste and smell. *World Journal of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*, 4(1), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.wjorl.2018.02.005>
- Schuster, B., Iannilli, E., Gudziol, V., & Landis, B. (2009). Gustatory testing for clinicians. *B-ENT*, 5 Suppl 13, 109–113.
- Seo, H.-S., & Hummel, T. (2017). Cross-Modal Integration in Olfactory Perception. In A. Buettner (Hrsg.), *Springer Handbook of Odor* (S. 115–116). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26932-0_47
- Shahbake, M., Hutchinson, I., Laing, D. G., & Jinks, A. L. (2005). Rapid quantitative assessment of fungiform papillae density in the human tongue. *Brain Research*, 1052(2), 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.06.031>
- Sherman, P. (1969). A Texture Profile of Foodstuffs Based upon Well-defined Rheological Properties. *Journal of Food Science*, 34(5), 458–462. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1969.tb12804.x>
- Shin, D. C., & Johnson, D. M. (1978). Avowed happiness as an overall assessment of the quality of life. *Social Indicators Research*, 5(1), 475–492. <https://doi.org/10.1007/BF00352944>

- Sienkiewicz-Jarosz, H., Scinska, A., Kuran, W., Ryglewicz, D., Rogowski, A., Wrobel, E., Korkosz, A., Kukwa, A., Kostowski, W., & Bienkowski, P. (2005). Taste responses in patients with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *76*(1), 40–46. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2003.033373>
- Silva, C. S., Dias, V. R., Almeida, J. A. R., Brazil, J. M., Santos, R. A., & Milagres, M. P. (2016). Effect of Heavy Consumption of Alcoholic Beverages on the Perception of Sweet and Salty Taste. *Alcohol and Alcoholism*, *51*(3), 302–306. <https://doi.org/10.1093/alcalc/agv116>
- Simon, S. A., & de Araujo, I. E. (2005). The Salty and Burning Taste of Capsaicin. *The Journal of General Physiology*, *125*(6), 531–534. <https://doi.org/10.1085/jgp.200509329>
- Simon, S. A., de Araujo, I. E., Gutierrez, R., & Nicolelis, M. A. L. (2006). The neural mechanisms of gustation: A distributed processing code. *Nature Reviews Neuroscience*, *7*(11), 890–901. <https://doi.org/10.1038/nrn2006>
- Small, D. M. (2012). Flavor is in the brain. *Physiology & Behavior*, *107*(4), 540–552. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.011>
- Small, D. M., Voss, J., Mak, Y. E., Simmons, K. B., Parrish, T., & Gitelman, D. (2004). Experience-Dependent Neural Integration of Taste and Smell in the Human Brain. *Journal of Neurophysiology*, *92*(3), 1892–1903. <https://doi.org/10.1152/jn.00050.2004>
- Smutzer, G., Jacob, J. C., Tran, J. T., Shah, D. I., Gambhir, S., Devassy, R. K., Tran, E. B., Hoang, B. T., & McCune, J. F. (2018). Detection and modulation of capsaicin perception in the human oral cavity. *Physiology & Behavior*, *194*, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.05.004>
- Soter, A., Kim, J., Jackman, A., Tourbier, I., Kaul, A., & Doty, R. L. (2008). Accuracy of self-report in detecting taste dysfunction. *The Laryngoscope*, *118*(4), 611–617. <https://doi.org/10.1097/MLG.0b013e318161e53a>
- Spence, C., Hobkinson, C., Gallace, A., & Fiszman, B. P. (2013). A touch of gastronomy. *Flavour*, *2*(1), 14. <https://doi.org/10.1186/2044-7248-2-14>
- Steele, C. M., Hill, L., Stokely, S., & Peladeau-Pigeon, M. (2014). Age and Strength Influences on Lingual Tactile Acuity. *Journal of Texture Studies*, *45*(4), 317–323. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12076>
- Stefanidou, M., Mavrouli, C., Dona, A., & Spiliopoulou, C. (2006). Zinc: A multipurpose trace element. *Archives of Toxicology*, *80*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s00204-005-0009-5>

- Stewart-Knox, B. J., Simpson, E. E. A., Parr, H., Rae, G., Polito, A., Intorre, F., Sanchez, M. A., Meunier, N., O'Connor, J. M., Maiani, G., Coudray, C., & Strain, J. J. (2008). Taste acuity in response to zinc supplementation in older Europeans. *British Journal of Nutrition*, 99(1), 129–136. <https://doi.org/10.1017/S0007114507781485>
- Stillman, J. a., Morton, R. p., Hay, K. d., Ahmad, Z., & Goldsmith, D. (2003). Electrogustometry: Strengths, weaknesses, and clinical evidence of stimulus boundaries. *Clinical Otolaryngology & Allied Sciences*, 28(5), 406–410. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2273.2003.00729.x>
- Syed, Q., Hendler, K. T., & Koncilja, K. (2016). The Impact of Aging and Medical Status on Dysgeusia. *The American Journal of Medicine*, 129(7), 753.e1-753.e6. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2016.02.003>
- Tan, C., Toh, W. Y., Wong, G., & Li, L. (2024). Extrusion-based 3D food printing – Materials and machines. *International Journal of Bioprinting*, 4(2), 143. <https://doi.org/10.18063/ijb.v4i2.143>
- Tanasiewicz, M., Hildebrandt, T., & Obersztyn, I. (2016). Xerostomia of Various Etiologies: A Review of the Literature. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 25(1), 199–206. <https://doi.org/10.17219/acem/29375>
- Teng, B., Wilson, C. E., Tu, Y.-H., Joshi, N. R., Kinnamon, S. C., & Liman, E. R. (2019). Cellular and Neural Responses to Sour Stimuli Require the Proton Channel Otop1. *Current Biology: CB*, 29(21), 3647-3656.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.077>
- Tepper, B. J., White, E. A., Koelliker, Y., Lanzara, C., D'Adamo, P., & Gasparini, P. (2009). Genetic Variation in Taste Sensitivity to 6-n-Propylthiouracil and Its Relationship to Taste Perception and Food Selection. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1170(1), 126–139. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.03916.x>
- Tomchik, S. M., Berg, S., Kim, J. W., Chaudhari, N., & Roper, S. D. (2007). Breadth of tuning and taste coding in mammalian taste buds. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 27(40), 10840–10848. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1863-07.2007>
- Tomita, H., & Ikeda, M. (2002). Clinical use of electrogustometry: Strengths and limitations. *Acta Oto-Laryngologica. Supplementum*, 546, 27–38. <https://doi.org/10.1080/00016480260046391>

- Tong, C., Moayed, Y., & Lumpkin, E. A. (2024). Merkel cells and keratinocytes in oral mucosa are activated by mechanical stimulation. *Physiological Reports*, *12*(2), e15826. <https://doi.org/10.14814/phy2.15826>
- Tu, Y.-H., Cooper, A. J., Teng, B., Chang, R. B., Artiga, D. J., Turner, H. N., Mulhall, E. M., Ye, W., Smith, A. D., & Liman, E. R. (2018). An evolutionarily conserved gene family encodes proton-selective ion channels. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aao3264>
- Ueda, Y. (1990). *Characteristic Flavor Constituents in Water Extract of Garlic*. <https://www.tandfon-line.com/doi/epdf/10.1080/00021369.1990.10869909?needAccess=true>
- Ulfig, Norbert. (2019). *Kurzlehrbuch Histologie*. <https://doi.org/10.1055/b-006-166358>
- Vandenbeuch, A., Clapp, T. R., & Kinnamon, S. C. (2008). Amiloride-sensitive channels in type I fungiform taste cells in mouse. *BMC Neuroscience*, *9*, 1. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-9-1>
- Vennemann, M. M., Hummel, T., & Berger, K. (2008). The association between smoking and smell and taste impairment in the general population. *Journal of Neurology*, *255*(8), 1121–1126. <https://doi.org/10.1007/s00415-008-0807-9>
- Viana, F. (2010). Chemosensory Properties of the Trigeminal System. *ACS Chemical Neuroscience*, *2*(1), 38–50. <https://doi.org/10.1021/cn100102c>
- Walliczek, U., Negoias, S., Hähner, A., & Hummel, T. (2016). Assessment of Chemosensory Function Using „Sniffin’ Sticks“, Taste Strips, Taste Sprays, and Retro-nasal Olfactory Tests. *Current Pharmaceutical Design*, *22*(15), 2245–2252. <https://doi.org/10.2174/1381612822666160216150625>
- Walliczek-Dworschak, U., Schöps, F., Feron, G., Brignot, H., Hähner, A., & Hummel, T. (2017). Differences in the Density of Fungiform Papillae and Composition of Saliva in Patients With Taste Disorders Compared to Healthy Controls. *Chemical Senses*, *42*(8), 699–708. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjx054>
- Wastesson, J. W., Morin, L., Tan, E. C. K., & Johnell, K. (2018). An update on the clinical consequences of polypharmacy in older adults: A narrative review. *Expert Opinion on Drug Safety*, *17*(12), 1185–1196. <https://doi.org/10.1080/14740338.2018.1546841>
- Welge-Lüssen, A., Dörig, P., Wolfensberger, M., Krone, F., & Hummel, T. (2011). A study about the frequency of taste disorders. *Journal of Neurology*, *258*(3), 386–392. <https://doi.org/10.1007/s00415-010-5763-5>
- Welge-Lüssen, A., & Hummel, T. (2008). *Riech- und Schmeckstörungen: Physiologie, Pathophysiologie und therapeutische Ansätze*. Georg Thieme Verlag.

- Witt, M. (2019). Anatomy and development of the human taste system. In *Handbook of Clinical Neurology* (Bd. 164, S. 147–171). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63855-7.00010-1>
- Wolf, A., Varga, L., Wittibschlager, L., Renner, B., & Mueller, C. A. (2016). A self-administered test of taste function using “Taste Strips”. *International Forum of Allergy & Rhinology*, 6(4), 362–366. <https://doi.org/10.1002/alr.21681>
- Wooding, S. P., Ramirez, V. A., & Behrens, M. (2021). Bitter taste receptors. *Evolution, Medicine, and Public Health*, 9(1), 431–447. <https://doi.org/10.1093/emph/e-oab031>
- Yarmolinsky, D. A., Zuker, C. S., & Ryba, N. J. P. (2009). Common Sense about Taste: From Mammals to Insects. *Cell*, 139(2), 234–244. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2009.10.001>
- Younes, S. (2024). The impact of micronutrients on the sense of taste. *Human Nutrition & Metabolism*, 35, 200231. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2023.200231>
- Zhang, J., Jin, H., Zhang, W., Ding, C., O’Keeffe, S., Ye, M., & Zuker, C. S. (2019). Sour Sensing from the Tongue to the Brain. *Cell*, 179(2), 392–402.e15. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2019.08.031>
- Zhang, Y., Hoon, M. A., Chandrashekar, J., Mueller, K. L., Cook, B., Wu, D., Zuker, C. S., & Ryba, N. J. P. (2003). Coding of Sweet, Bitter, and Umami Tastes: Different Receptor Cells Sharing Similar Signaling Pathways. *Cell*, 112(3), 293–301. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(03\)00071-0](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(03)00071-0)
- Zihni, C., Mills, C., Matter, K., & Balda, M. S. (2016). Tight junctions: From simple barriers to multifunctional molecular gates. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 17(9), 564–580. <https://doi.org/10.1038/nrm.2016.80>

11 Anhang

11.1 Anamnesebogen



Wie ist Ihr Riechvermögen?	<input type="checkbox"/> sehr gut <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> normal <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> sehr schlecht <input type="checkbox"/> kein RV
----------------------------	--

	<p>Mundtrockenheit: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> sehr stark <input type="checkbox"/> weniger stark</p> <p>Brennen: <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> sehr intensiv <input type="checkbox"/> wenig intensiv</p> <p><input type="checkbox"/> konstant <input type="checkbox"/> zunehmend im Tagesverlauf <input type="checkbox"/> beim Essen/Trinken weniger</p>
Seite des Riech/Schmeckproblems?	<input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> gleich
Haben Sie wegen des Problems <input type="checkbox"/> zugenommen <input type="checkbox"/> abgenommen:	<p><input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> jakg/.....Monaten</p> <p>Wie ist Ihr Gewicht? Wie groß sind Sie?</p>
Nehmen Sie Medikamente ein?	<p><input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja – welche?</p> <p>Bitte Medikamente hier eintragen:</p>
Leiden Sie an chronischen Krankheiten?	<p><input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja – welche?</p> <p><input type="checkbox"/> Diabetes <input type="checkbox"/> Bluthochdruck <input type="checkbox"/> Neoplasien</p> <p><input type="checkbox"/> sonstige:</p>
Sind Sie schwanger?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja
Rauchen Sie?	<input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja – ggf. wieviel?
Trinken Sie Alkohol?	<p><input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja</p> <p>Wenn ja, <input type="checkbox"/> gelegentlich <input type="checkbox"/> regelmäßig</p>
Welchen Beruf führen Sie aus?	<p>..... Ist Riechen dabei wichtig? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja</p> <p>Exposition zu Stäuben, Chemikalien? <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja</p>
Erkrankungen in der Familie?	Parkinson in der Familie <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ja

11.2 Satisfaction with Life Scale Fragebogen

		stimmt über- haupt nicht	stimmt nicht	stimmt eher nicht	weder/ noch	stimmt eher	stimmt	stimmt genau
1	In den meisten Berei- chen entspricht mein Leben meinen Ideal- vorstellungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2	Meine Lebensbedin- gungen sind ausge- zeichnet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3	Ich bin mit meinem Le- ben zufrieden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4	Bisher habe ich die wesentliche Dinge er- reicht, die ich mir für mein Leben wünsche.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5	Wenn ich mein Leben noch einmal leben könnte, würde ich kaum etwas ändern.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Diener, E., Emmons, R. A., Larsen, R. J. & Griffin, S. (1985). "The Satisfaction with Life Scale". *Journal of Personality Assessment*, 49, 71- 75.

Deutsche Übersetzung: Jörg Schumacher: "SWLS Satisfaction with Life Scale", <http://www.praxis-schumacher.net/swls.html>.

11.3 PTC, Schmeckspray, Schmeckstreifen, 3D-Buchstaben

Schmeckspray Testbogen

Grün	<input type="checkbox"/> süß	<input type="checkbox"/> salzig	<input type="checkbox"/> sauer	<input type="checkbox"/> bitter	<input type="checkbox"/> umami
Weiß	<input type="checkbox"/> süß	<input type="checkbox"/> salzig	<input type="checkbox"/> sauer	<input type="checkbox"/> bitter	<input type="checkbox"/> umami
Blau	<input type="checkbox"/> süß	<input type="checkbox"/> salzig	<input type="checkbox"/> sauer	<input type="checkbox"/> bitter	<input type="checkbox"/> umami
Rot	<input type="checkbox"/> süß	<input type="checkbox"/> salzig	<input type="checkbox"/> sauer	<input type="checkbox"/> bitter	<input type="checkbox"/> umami

Gelb	<input type="checkbox"/> süß	<input type="checkbox"/> salzig	<input type="checkbox"/> sauer	<input type="checkbox"/> bitter	<input type="checkbox"/> umami
PTC	nicht wahrge- nommen	kaum wahrge- nommen	eindeutig bitter	sehr bitter	
PTC	Erst beim Schlucken als bitter wahrgenommen <input type="checkbox"/>				

Schmeckstreifen Testbogen

Reihenfolge	süß	sauer	bitter	salzig	
4					
12					
16					
8					
7					
3					
11					
15					
14					
6					
2					
5					
13					
10					
9					
1					Summe
Ergebnis					

3D-Buchstaben Testbogen

	1. Durchgang ↑	2. Durchgang ↓	3. Durchgang ↑
8 mm			
7 mm			
6 mm			
5 mm			
4 mm			
3 mm			

2 mm			
------	--	--	--

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswertung des SWLS-Test (Pavot and Diener, 2008 S.141)..... 35

Tabelle 3: Aufteilung der Geschlechter bezüglich des PTC-Schmeckstatus..... 43

Tabelle 4: Mittelwerte und Standartabweichung in cm und in % zu den vier unterschiedlichen Konzentrationen der Capsaicinkapseln aus der Beurteilung der Analogskala..... 45

Tabelle 5: Mittelwerte und Standartabweichung der Gruppen und der drei Durchgänge (letter1, 2, 3). 46

Tabelle 6: Mittelwerte und Standartabweichung des 3D-Buchstabentests (Buchstabe 123) in mm..... 47

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Boxplotdiagramm zeigt die erreichten SWLS-Punktzahlen der jeweiligen Gruppen. Der Medianwert der Gruppe olfac/gust ist mit 25 Punkten am niedrigsten..... 41

Abbildung 2: Ergebniswerte der Schmeckspraytestung der drei Gruppen im Vergleich. Die Balken geben den Mittelwert und die Standardfehler des Mittelwerts an. 42

Abbildung 3: Ergebniswerte der Schmeckstreifentestung der drei Gruppen im Vergleich. Die Balken geben den Mittelwert und die Standardfehler des Mittelwerts an. 43

Abbildung 4 : Ergebniswerte der PTC-Testung im Vergleich Frauen und Männer..... 44

Abbildung 5: Das Boxplotdiagramm zeigt den Vergleich der Non-Taster und Taster in Bezug auf das orale Texturempfinden. Die y-Achse präsentiert die Punktzahl, welche im Rahmen des 3D-Buchstabentests nach drei Durchgängen erzielt wurde. Eine niedrige Punktzahl lässt auf ein besseres Tastempfinden schließen. 44

Abbildung 6: Das Liniendiagramm zeigt den Vergleich der Gruppen im Verlauf der verschiedenen Intensitäten des Schärfetests mit Capsaicin. Auf der x-Achse sind die Kapseln mit den unterschiedlichen Intensitäten aufgetragen, auf der y-Achse die Werte der Analogskala..... 46

Abbildung 7: Liniendiagramm zeigt die erreichten Werte beim 3D-Buchstabentest für die drei Gruppen. Die x-Achse beschreibt die Durchgänge beim 3D-Buchstabentest. Die y-Achse zeigt die möglichen Werte in mm. 47

Abbildung 8: Das Boxplotdiagramm zeigt die Auswertung des 3D-Buchstabentests. Die x-Achse zeigt die Gruppen im Vergleich. Auf der y-Achse sind die aufsummierten Werte der drei Durchgänge. 48

Abbildung 9: Streudiagramm über den Zusammenhang zwischen dem oralen Texturempfinden und der allgemeinen Schmeckempfindlichkeit. Eine hohe allgemeine Schmeckleistung (x-Achse) geht mit einer hohen oralen Texturempfindung (y-Achse) einher und umgekehrt. 49

Abbildung 10: Streudiagramm zum Zusammenhang zwischen dem oralen Texturempfinden und der überschwelligen Riechempfindung (DI). Eine hohe überschwellige Riechleistung (x-Achse) geht mit einer hohen oralen Texturempfindung (y-Achse) einher und umgekehrt. 50

14 Veröffentlichung

1. Xu X, Flemming K, Mastinu M, Haehner A, Hummel T. (2025). Oral Somatosensory Sensitivity in the Clinical Assessment of Gustatory Dysfunction. *The Laryngoscope*. doi:10.1002/lary.32204