

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde in Zusammenarbeit mit der
Abteilung für Orofaziale Prothetik und Funktionslehre des Medizinischen
Zentrums für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde

Direktor: Prof. Dr. med. Boris A. Stuck
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Qualitative und quantitative Untersuchung des Riech- und Schmeckvermögens von Zahnprothesenträgern

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten
Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Marius Wolke aus Salzkotten

Marburg, 2023

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 07.02.2023

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin

Dekanin: Prof. Dr. rer. nat. Denise Hilfiker-Kleiner

Referentin: Prof. Dr. med. Silke Steinbach-Hundt

1. Korreferent: Prof. Dr. med. dent. Ulrich Lotzmann

Für meine Mutter

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ziel der Arbeit.....	8
1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen	11
1.2.1 Anatomie der Nase.....	11
1.2.2 Lokalisation, Aufbau und Funktion des Riechepithels	13
1.2.3 Weg des Duftstoffes zum Rezeptor	15
1.2.4 Physiologie der Riechrezeptoren.....	15
1.2.5 Bulbus olfactorius	16
1.2.6 Olfaktorischer Kortex.....	16
1.2.7 Riechstörungen	18
1.3 Anatomie und Physiologie des Schmeckens	21
1.3.1 Anatomie und Lokalisation der Schmecksinneszellen.....	21
1.3.2 Aufbau der Schmeckknospen.....	23
1.3.3 Die Schmeckrezeptoren	23
1.3.4 Zentrale Verarbeitung von gustatorischen Reizen.....	25
1.3.5 Schmeckstörungen.....	28
1.4 Zahnprothesen.....	31
1.4.1 Epidemiologie – Prävalenz von Zahnlosigkeit	31
1.4.2 Anatomische Veränderungen infolge von Zahnlosigkeit.....	32
1.4.3 Haltemechanismen von Zahnprothesen	33
1.4.4 Aufbau und Herstellung von Zahnprothesen	34
1.4.4.1 Konventionelles Herstellungsverfahren	34
1.4.4.2 Digitale Herstellungsverfahren (CAD/CAM).....	35
2 Methoden und Untersuchungsablauf	37
2.1 Teilnehmer	37
2.1.1 Die „Sniffin‘ Stick“-Test-Batterie	40
2.1.2 Subtest Riechschwelle mittels „Sniffin‘ Sticks“	41
2.2 Schmecktest	45

2.3	HNO-Fragebogen.....	47
2.4	Statistische Auswertung.....	47
3	Ergebnisse	48
3.1	Riechvermögen mit und ohne Prothese	48
3.2	Schmeckvermögen mit und ohne Prothese	49
3.3	Einfluss der erhobenen Patientenmerkmale auf das Testergebnis	51
3.4	Ergebnisse des HNO Fragebogens	53
3.5	Korrelation der Selbsteinschätzung (VAS) mit den Werten der Riechschwellentestung und den Schmecktestwerten	55
3.6	Vergleich der Ergebnisse des Riechschwellentests mit Normdatenkollektiv von Hummel et al. 2007	57
3.7	Vergleich der Ergebnisse des Taste Strips-Tests mit Normdaten von Mueller et al. 2003 und Landis et al. 2009	58
4	Diskussion.....	60
4.1	Mögliche Ursachen für Änderungen des Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern.....	60
4.1.1	Orale Temperaturveränderungen durch Zahnprothesen	60
4.1.2	Auswirkungen von Zahnprothesen auf das trigeminale System	62
4.1.3	Zahnprothesen als räumliche Barriere zwischen Stimulus und Rezeptor.....	64
4.1.4	Auswirkungen von Zahnprothesen auf Speichelfluss und Kaubewegungen	65
4.1.5	Veränderungen des oralen Mikrobioms und ihr Einfluss auf das Schmeckvermögen.....	65
4.2	Mögliche Ursachen für Änderungen des Riechvermögens bei Zahnprothesenträgern.....	67
4.2.1	Änderungen des Luftstroms im Mund und Oro- bzw. Nasopharynx	67
4.2.2	Änderungen des Kauen und der Zungenposition durch Zahnprothesen	68
4.2.3	Trigeminale Einflüsse auf das Riechvermögen	69
4.2.4	Einfluss von Zahnprothesen auf den Speichel	70

4.2.5	Veränderungen des oralen Mikrobioms und ihr Einfluss auf das Riechvermögen	70
4.3	Vergleich mit anderen Studien	72
4.3.1	Fragebogenbasierte Studien	72
4.3.2	Testungen mittels Taste Strips und aromatisiertem Filterpapier....	73
4.3.3	Testungen mittels in Wasser gelöster Aromen	74
4.3.4	Studien zum Einfluss von Zahnprothesen auf das Riechvermögen	75
4.3.5	Studien zum Einfluss des Alters auf das Schmeckvermögen.....	77
4.3.6	Kulturelle Einflüsse auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung....	78
4.3.7	Tabellarische Übersicht der Studien zu Zahnprothesen und ihrem Einfluss auf das Riechen und Schmecken	80
4.4	Studienkritik	83
4.4.1	Methodenkritik	83
4.4.2	Mögliche Ursachen für die Diskrepanz zwischen Fragebogen und Testergebnissen.....	84
4.4.3	Wahrnehmung von PTC/PROP als möglicher Hinweis auf eine besondere genetische Disposition zum Schmecken von Bitterstoffen	85
4.5	Ausblick.....	86
5	Zusammenfassung.....	88
6	Summary.....	90
7	Literaturverzeichnis	92
8	Anhang.....	123
8.1	Patientenaufklärung	123
8.2	Einverständniserklärung.....	125
8.3	HNO-Fragebogen.....	127
a.	Verzeichnis der akademischen Lehrer/-innen	131
b.	Danksagung	132

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Knöchernes und knorpeliges Skelett der Nasenscheidewand und Nasenflügelknorpel der linken Seite.....	12
Abbildung 2:	Schleimhautrelief der seitlichen rechten Nasenwand.....	12
Abbildung 3:	Darstellung des Schleimhautreliefs der seitlichen Nasenwand und des Nasenseptums.....	13
Abbildung 4:	Struktur des olfaktorischen Systems.....	17
Abbildung 5:	Somatosensibilität der Zungenoberfläche und Geschmacksinnervation.....	22
Abbildung 6:	Grafische Darstellung des Ablaufs des Riechschwellentests mittels „Sniffin‘ Sticks“.....	43
Abbildung 7:	Auswertungsblatt des Riechschwellentests.....	44
Abbildung 8:	Darstellung der verwendeten Taste Strips.....	46
Abbildung 9:	Ergebnisse Riechschwellentest.....	48
Abbildung 10:	Ergebnisse Geschmackstest.....	50
Abbildung 11:	Ergebnisse HNO Fragebogen.....	54
Abbildung 12:	Vergleich der Ergebnisse des Taste-Strips-Test mit Normdaten.....	57
Abbildung 13:	Vergleich der Ergebnisse des Sniffin'-Sticks-Test mit Normdaten.....	59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einteilung von Riechstörungen	19
Tabelle 2 Somatosensorische und sensible Innervation der Zunge und des Gaumens	22
Tabelle 3: Klinische Daten der Studienteilnehmer.....	38
Tabelle 4: Einfluss der erhobenen Patientenmerkmale auf das Ergebnis OP – MP.....	52
Tabelle 5: Korrelation der Selbsteinschätzung (VAS) mit den Werten der Riech- und Schmecktests.....	56
Tabelle 6: Tabellarische Übersicht der Studien zu Zahnprothesen und ihrem Einfluss auf das Riechen und Schmecken.....	80

Abkürzungsverzeichnis

MP: mit Prothese

OP: ohne Prothese

OP- MP: Differenz zwischen Ergebnissen ohne und mit Prothese

VAS: visuelle Analogskala

1 Einleitung

1.1 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Einfluss von Zahnprothesen auf das Riech- und Schmeckvermögen. Eine funktionelle Einschränkung dieser Sinne hat einen negativen Einfluss auf die Lebensqualität und kann durch geänderte Ernährungsgewohnheiten (z.B vermehrtes Salzen oder Süßen) zu weiteren Erkrankungen, wie z.B. Bluthochdruck oder Diabetes mellitus führen (Deems et al., 1991). Außerdem zeigt sich, dass Menschen mit eingeschränktem Riechsinn statistisch häufiger einem potenziell lebensgefährlichen Ereignis, wie Kochunfällen, dem Verzehr von verdorbenen oder gar giftigen Speisen oder einer Rauchexposition mit erhöhtem Pneumonierisiko ausgesetzt sind (Pence et al., 2014). Dies steht dem in der Satzung der WHO festgeschriebenen Ziel, Gesundheit als physisches, psychisches und soziales Wohlbefinden zu erhalten, entgegen (International Health Conference, 2002).

Die Häufigkeit einer zahnprothetischen Versorgung aufgrund fehlender Zähne steigt mit zunehmendem Lebensalter. Laut der letzten Deutschen Mundgesundheitsstudie von 2016 (DMS V) sind 12,4 % der 65- bis 74-Jährigen sowie 32,8 % der 75- bis 100-Jährigen in Deutschland zahnlos (Nitschke und Stark, 2016a, 2016b). Bei der zahnprothetischen Versorgung dieser Menschen wird größtenteils eine herausnehmbare Totalprothese verwendet. 43 % aller herausnehmbaren Prothesen bei 65- bis 74-Jährigen und 58,8 % aller herausnehmbaren Prothesen bei 75- bis 100-Jährigen sind Totalprothesen (Nitschke und Stark, 2016a, 2016b).

In mehreren Studien über Zahnprothesenträger wird eine ungesündere Ernährungsweise postuliert. So ernähren sich Zahnprothesenträger signifikant weniger ballaststoff- und vitaminreich, der Anteil an fettreichen Speisen gegenüber der Referenzbevölkerung ist erhöht (Jauhiainen et al., 2017; Nowjack-Raymer und Sheiham, 2003; Quandt et al., 2010; Watson et al., 2019). Eine derartige Ernährungsweise ist ihrerseits mit einem erhöhten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen vergesellschaftet (Bianchi, 2020).

Eine mögliche Ursache für die veränderten Essgewohnheiten könnte eine Beeinträchtigung des Riechens und Schmeckens bei Zahnprothesenträgern sein. Das Wahrnehmen von Speisen erfolgt insbesondere durch eine Kombination von Riech- und Schmeckvermögen und wird zusätzlich durch die zentrale Integration trigeminaler sensorischer Afferenzen (Schmerz, Temperatur, Konsistenz) komplettiert. Außerdem tragen auch das Hörvermögen (z.B. durch Abbeißgeräusche) und das Sehvermögen (z.B. Farbe, Konsistenz) zur Speisenwahrnehmung bei. Mit Ausnahme des Sehvermögens kann jede dieser genannten Sinneswahrnehmungen beim Tragen von Zahnprothesen beeinflusst werden. Durch ihre Konstruktionsweise verdecken herkömmliche Oberkieferprothesen einen Teil der oralen Schleimhaut durch eine Gaumenplatte und könnten z. B. Schmeckknospen bedecken. Darüber hinaus könnte die Motilität von Zungen-, Kau- und Rachenmuskulatur eingeschränkt werden, sodass die Freisetzung von Aromen aus der Nahrung und die ungestörte retronasale Luftzirkulation zwischen Mund- und Nasenhöhle behindert wird.

Die Konsistenz und Form der Nahrung und das propriozeptive Feedback über den Spannungszustand der Muskulatur beim Kauen wird auf zentralnervöser Ebene ebenfalls in die Generierung eines ganzheitlichen Schmeckseindrucks integriert. Zahnprothesen könnten auch über unphysiologische taktile Stimulation der epikritischen und protopathischen Afferenzen des N. trigeminus, welcher schon auf Ebene des Nuclues tractus solitarii mit den speziellen Viszeroafferenzen des N. facialis, vagus und glossopharyngeus konvergiert, das Schmecken verändern (Braud und Boucher, 2020; Contreras et al., 1982).

Des Weiteren könnte eine Zahnprothese die orale Temperatur durch Anregung oder Reduktion der mukosalen Durchblutung beeinflussen, die Zusammensetzung des oralen Mikrobioms verschieben oder die Exkretion der Speicheldrüsen beeinträchtigen.

Bisherige Studien über einen Zusammenhang zwischen dem Tragen einer Zahnprothese und einem verminderten Riechvermögen zeigen inkonsistente Ergebnisse, wobei die Riechschwellenmessungen mit unterschiedlichen Methoden erfasst sind und dies die Vergleichbarkeit erschwert (Duffy et al.,

1999; Ghaffari et al., 2009; Griep et al., 1997).

Bezüglich des Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern werden verschiedene, häufig nicht ausreichend validierte Methoden benutzt. Die Studiendesigns sowie die Probandenzahlen der verschiedenen Studien unterscheiden sich ebenfalls stark, sodass sich insgesamt ein uneinheitliches Bild ergibt. Einige Studien können einen Einfluss von Zahnprothesen auf das Schmecken nachweisen (Henkin et. al, 1967; Wayler et al., 1990; Yoshinaka et al., 2007), andere hingegen nicht (Ghaffari et al., 2009; Nilsson, 1979; Solemdal et al., 2012; Yoshinaka et al., 2016).

In der von uns durchgeführten Studie werden die gut validierten (Hummel et al., 2007; Landis et al., 2009) und durch die Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde für diese Zwecke empfohlenen „Sniffin‘ Sticks“ und „Taste Strips“ für die Testung des Riech- und Schmeckvermögens verwendet (Damm et al., 2016). Um möglichst nur den Einfluss des Zahnersatzes zu erfassen, werden die Probanden zunächst mit Zahnprothese und direkt im Anschluss ohne Zahnprothese jeweils beiden Tests unterzogen. Durch den intraindividuellen Vergleich mit und ohne Prothese können Einflussfaktoren wie unterschiedliche Messzeiten über den Tag, Alter, Speichelbildung oder Medikamenteneinnahme weitgehend minimiert werden.

Eine zusätzliche Fragestellung dieser Studie ist es, die objektiven Ergebnisse der Riech- und Schmecktests mit dem subjektiven Empfinden der Teilnehmer in Beziehung zu setzen. Die subjektiv empfundenen olfaktorischen und gustatorischen Fähigkeiten werden mit einem Fragebogen erhoben und unter Zuhilfenahme einer visuellen Analogskala von den Probanden bewertet. Dies soll einen Einblick liefern, inwiefern Defizite von den Probanden bewusst als Einschränkung empfunden werden oder diesen sogar ein Krankheitswert zugemessen wird.

1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen

1.2.1 Anatomie der Nase

Das äußere Nasengerüst wird knöchern durch die beiden Os nasale und die beiden Processus frontalis maxillae sowie knorpelig durch die beiden Nasenflügel (Aumüller, 2010). Das Innere der Nase wird durch das im vorderen Teil knorpelige, und im hinteren Teil knöcherne Septum (bestehend aus Vomer und Anteilen von Os nasale, ethmoidale, Os sphenoidale, Os palatinum und Maxilla) in zwei Nasenhaupthöhlen getrennt (Abb. 1). In diesen beiden befinden sich wiederum drei mit Schleimhaut überzogene Nasenmuscheln (Abb. 2), wobei die untere aus einem eigenen Knochen besteht (Smith et al., 2015). Unterhalb der oberen Nasenmuscheln münden die Ausführungsgänge des Sinus ethmoidalis posterior, unterhalb der mittleren Nasenmuscheln die Ausführungsgänge des Sinus maxillaris und des Sinus ethmoidalis anterior in die Nasenhaupthöhle. Unter den unteren Nasenmuscheln mündet der Ductus nasolacrimalis beidseits in die Nasenhaupthöhle (Tillmann, 2016).

Die Schleimhaut der gesamten Nasenhaupthöhle sowie der Nasennebenhöhlen ist mit respiratorischem Flimmerepithel ausgekleidet. Von besonderer Bedeutung sind die Zilien-tragenden Zellen, die durch ihre nach außen gerichtete Bewegung Fremdpartikel abtransportieren können und durch diesen Selbstreinigungsmechanismus essentiell für die Reinhaltung der Nase und für die Infektabwehr sind. Weiterhin produzieren die Becherzellen den Nasenschleim, welcher einen Schutz vor chemischen, physikalischen oder mechanischem Reizen bietet und in Verbindung mit der Zilienbewegung ebenfalls eine wichtige Rolle in der Infektabwehr und Reinigung der Nase spielt (Aumüller, 2010).

Die craniale Begrenzung der inneren Nasenhöhle wird unter anderem durch die Lamina cribrosa des Os ethmoidale gebildet. In diesem oberen Anteil der Nase ist auch das Riechepithel lokalisiert. Von den Riechrezeptorzellen des Riechepithels ziehen die Fila olfactoria durch die Lamina cribrosa zu den paarigen Bulbi olfactorii (Tillmann, 2016).

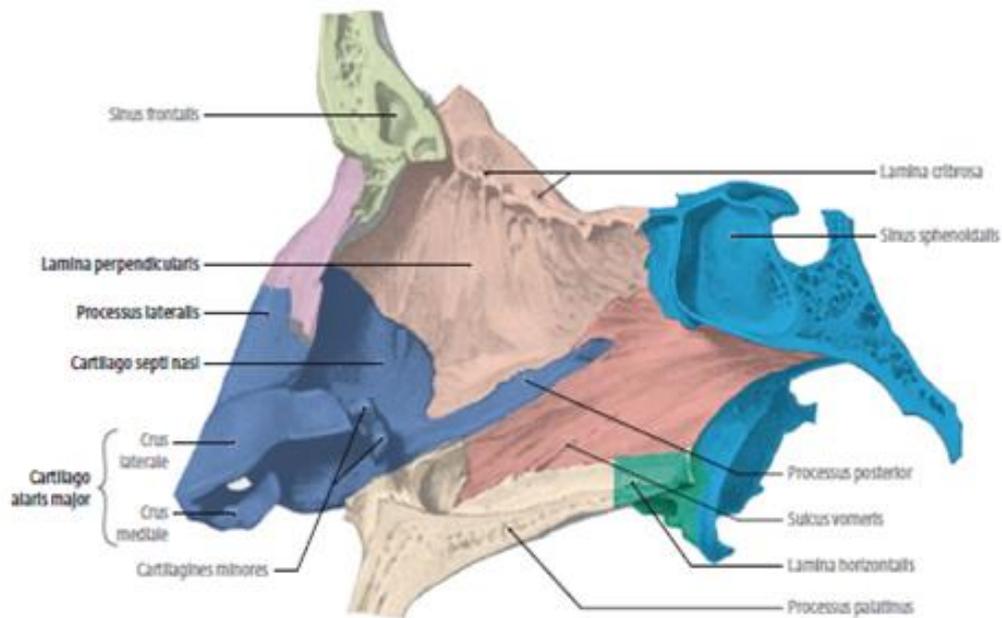


Abbildung 1: Knöchernes und knorpeliges Skelett der Nasenscheidewand und Nasenflügelknorpel der linken Seite, Ansicht von lateral (Tillmann, 2016). Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

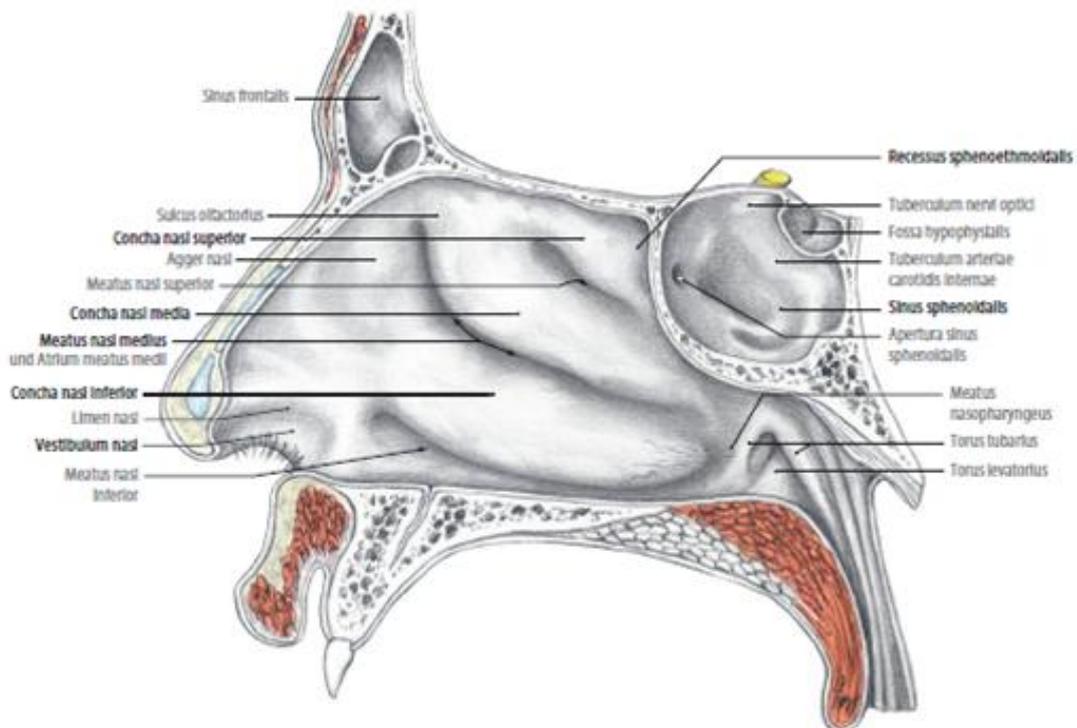


Abbildung 2: Schleimhautrelief der seitlichen rechten Nasenwand, Mediansagittalschnitt, Ansicht der rechten Seite von lateral (Tillmann, 2016). Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

1.2.2 Lokalisation, Aufbau und Funktion des Riechepithels

Die genaue Lokalisation und Größe des Riechepithels ist umstritten. Die meisten Quellen führen eine Größe von ca. 1 – 2 cm² an (Moran et al., 1982). Eine exakte Lokalisation und Flächendetermination erscheint schwierig, da das olfaktorische Epithel nicht immer einen einheitlichen Bereich innerhalb des oberen Teils der Nasenhöhle bildet und interindividuell stark variiert. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen (Morrison und Costanzo, 1990) zeigen, dass das Riechepithel von anderen in der Nase vorkommenden Epithelien, v. a. von respiratorischem Epithel, zusätzlich durchsetzt und unterbrochen wird. Weitere Arbeiten haben außerdem das Vorkommen von zusätzlichem Riechepithel im Bereich der vorderen mittleren Nasenmuschel und an weiter anterior gelegenen Bereiche des Septums bestätigt (Abb. 3; Féron et al., 1998; Leopold et al., 2000).

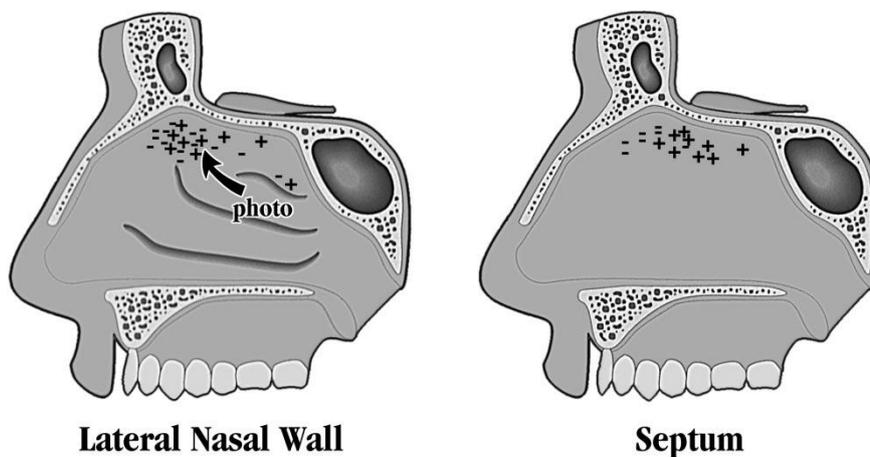


Abbildung 3: Darstellung des Schleimhautreliefs der seitlichen Nasenwand und des Nasenseptums. Die Pluszeichen (+) und die Minuszeichen (-) kennzeichnen Entnahmestellen von Biopsieproben aus der Nasenschleimhaut. Das Minuszeichen (-) gibt an, dass in der Biopsieprobe kein olfaktorisches Epithel nachgewiesen werden konnte, das Pluszeichen (+) zeigt an, dass olfaktorisches Epithel in der Biopsieprobe vorhanden war (Leopold et al., 2000). Der Pfeil mit der Beschriftung „photo“ weist auf ein Foto einer elektronenmikroskopischen Aufnahme hin, welches hier nicht mit aufgeführt ist. Mit freundlicher Genehmigung von John Wiley and Sons - Books.

Das Riechepithel besteht aus verschiedenen Zelltypen mit jeweils unterschiedlichen Aufgaben. Die olfaktorischen Rezeptorneurone (ORN) sind die primären, bipolaren Neurone im Riechepithel. Ein einzelner Dendrit des ORN entspringt dem 5 – 7 μm großen Zellkörper und führt apikal an die Epitheloberfläche, wo 5 – 30 Riechzilien einer Verdickung des Dendriten, dem sogenannten Riechkegel, entspringen (vgl. Abb. 4, S. 17). Die Zilien dienen der starken Vergrößerung der absoluten chemorezeptiven Oberfläche (Dennis et al., 2015). Diese Zilien tragen die Riechrezeptoren, die für die Erkennung der Duftstoffe zuständig sind (Draghun, 2010). Es wird angenommen, dass jedes olfaktorische Rezeptorneuron nur einen einzigen Typ von olfaktorischen Rezeptoren (OR) auf seinen Zilien exprimiert (Mombaerts, 2004). Insgesamt gibt es beim Menschen ca. 350 OR-Typen (Malnic et al., 2004), mit denen etwa 10 000 verschiedene Duftstoffe wahrgenommen werden können. Dies wird dadurch ermöglicht, dass ein Duftstoff nicht nur einen spezifischen Rezeptor aktiviert, sondern mit seinen verschiedenen funktionellen Gruppen viele OR mit unterschiedlicher Affinität aktiviert (Araneda et al., 2000; Zhao, 1998). Jeder Duftstoff stimuliert das Riechepithel so mit einem spezifischen Muster (Albrecht und Wiesmann, 2006).

An der Basis der olfaktorischen Neurone entspringt ein markloses Axon, das die Lamina cribrosa durchtritt und von dort, gebündelt mit mehr als 100 anderen Axonen (Jones, 2001) als Fila olfactoria zum Bulbus olfactorius zieht.

Die ORN verfügen über eine im menschlichen Körper einzigartige Regenerationsfähigkeit. Sogenannte horizontale Basalzellen sind vermutlich gewebsspezifische Stammzellen, die alle neuronalen und nicht-neuronalen Zellen des peripheren olfaktorischen Systems regenerieren können (Mackay-Sim, 2010). Sie stellen somit eine Reserve dar, aus denen sich das olfaktorische Epithel nach massiver Schädigung regenerieren kann. Die normale kontinuierliche Erneuerung ist allerdings Aufgabe der ständig proliferationsaktiven kugeligen Basalzellen (Beites et al., 2005; Nicolay et al., 2006). Weitere Zelltypen im Riechepithel sind Stützzellen und Drüsen, welche für die strukturelle Integrität, Schleimsekretion und Pathogenabwehr zuständig sind.

1.2.3 Weg des Duftstoffes zum Rezeptor

Die Duftstoffmoleküle gelangen über die eingeatmete Luft zum Riechepithel. Bei normaler Atmung erreicht nur ein kleiner Teil der eingeatmeten Luft tatsächlich das Riechepithel (Hahn et al., 1993). Erst durch forciertes kurzes Einatmen („Schnüffeln“) werden Duftstoffe in größeren Mengen in die oberen Nasenabschnitte verwirbelt (Albrecht und Wiesmann, 2006). Um durch die Schutzschicht aus hydrophobem Sekret zu den Riechrezeptoren zu gelangen, müssen die meisten Duftmoleküle an einen Transporter andocken. Diese Transporterfunktion wird durch sogenannte Odorant-binding-Proteine übernommen (Pevsner und Snyder, 1990; Tegoni et al., 2000).

Auch von retronasal gelangen aus der Nahrung herausgelöste Duftstoffe über die Mundhöhle und den Nasopharynx zum Riechepithel, sogenanntes retronasales Riechen. Die Wahrnehmung der Duftmoleküle aus der Nahrung trägt maßgeblich zum Wahrnehmen von Speisen bei, denn das Schmecken deckt nur die Qualitäten „süß“, „sauer“, „salzig“, „bitter“ und „umami“ ab, das Riechen hingegen alle Aromen der Speisen.

1.2.4 Physiologie der Riechrezeptoren

Die Riechrezeptoren selbst sind G-Protein-gekoppelte Rezeptoren (Buck und Axel, 1991). Kommt ein Riechrezeptor in Kontakt mit einem Duftstoff, kommt es zur Aktivierung von Gagolf, einem GTP-bindenden Protein (Jones und Reed, 1989). Dieses aktiviert wiederum eine Adenylcyclase vom Typ III, in dessen Folge es zu einem intrazellulären Anstieg von cAMP kommt (Bakalyar und Reed, 1990). Die erhöhte Konzentration von cAMP führt zu einer erhöhten Öffnungswahrscheinlichkeit von sogenannten CNG (cyclic nucleotide-gated) - Kanälen (Dhallan et al., 1990; Nakamura und Gold, 1987). Durch eine Öffnung der CNG wird die Zellmembran depolarisiert (Leinders-Zufall et al., 1997) und die Öffnung weiterer Cl-Kanäle bedingt (Kurahashi und Yau, 1993; Lowe und Gold, 1993). Dieser Cl-Ausstrom führt zum Aufbau eines Rezeptorpotenzials, welches am Axonhügel der Fila olfactoria ein Aktionspotenzial auslöst und dieses zum Bulbus olfactorius leitet.

1.2.5 Bulbus olfactorius

Der Bulbus olfactorius ist eine paarig angelegte, zylindrische Ausstülpung am vorderen Hirnpol, in der die Axone der Fila olfactoria konvergieren und über die Mitralzellen zur zentralen Verarbeitung umgeschaltet werden (Draghun, 2010; Ennis und Holy, 2015). Die Funktionseinheiten des Bulbus olfactorius sind die Glomeruli, in denen die Axone der ORN auf Mitral- und Büschelzellen verschaltet werden, welche die Riechinformationen weiter in Richtung Riechcortex leiten (Moon et al., 2014; vgl. Abbildung 4). Dabei ordnen sie die Informationsflut der ORN mit ihren verschiedenen Rezeptoren. Auf jedem Glomerulus konvergieren nur die Axone olfaktorischer Rezeptorneurone, welche den gleichen Riechrezeptor exprimieren (Mombaerts et al., 1996; Ressler et al., 1994; Vassar et al., 1994). Im Bulbus olfactorius kommt es zu einem "sensorischen Mapping". Eine duftstoffspezifische Aktivierung von olfaktorischen Rezeptorneuronen führt zu einer genau determinierten Aktivierung der korrespondierenden Glomeruli im Bulbus (Mori, 2003). Diese Verschaltung dient zur Informationsreduktion, welche die Diskrimination einzelner Düfte vereinfacht und die Wahrnehmung gering konzentrierter Duftstoffe durch den Konvergenzmechanismus verbessert (Albrecht und Wiesmann, 2006). Durch die Axone der ORN werden auch inhibitorische Zellen aktiviert. Diese sogenannten periglomerulären Zellen und Körnerzellen hemmen sowohl die Aktivität von gerade aktiven Glomeruli selbst als auch benachbarte Glomeruli (Draghun, 2010; Ennis und Holy, 2015). Dies führt zu einer „Kontrastverstärkung“ bei der Riechwahrnehmung.

1.2.6 Olfaktorischer Kortex

Die mit der Integration von olfaktorischen Reizen betrauten Cortexareale erhalten über den Tractus olfactorius direkte monosynaptische Afferenzen aus dem Bulbus olfactorius. Dazu zählen unter anderem das Tuberculum olfactorium, der piriforme Kortex, der entorhinale Kortex und die Amygdala (Wilson et al., 2015). Von dort aus existieren zahlreiche Projektionen in den Cortex orbitofrontalis, den Hippocampus, das ventrale Striatum und Pallidum, in Teile des Hypothalamus, Thalamus, Gyrus cinguli und den Inselkortex. Dieses sehr komplexe Projektionsnetzwerk erklärt die vielfältigen durch Duftstoffe

hervorgerufenen Einflüsse auf Verhalten, Emotionen und Erinnerungen (Albrecht und Wiesmann, 2006).

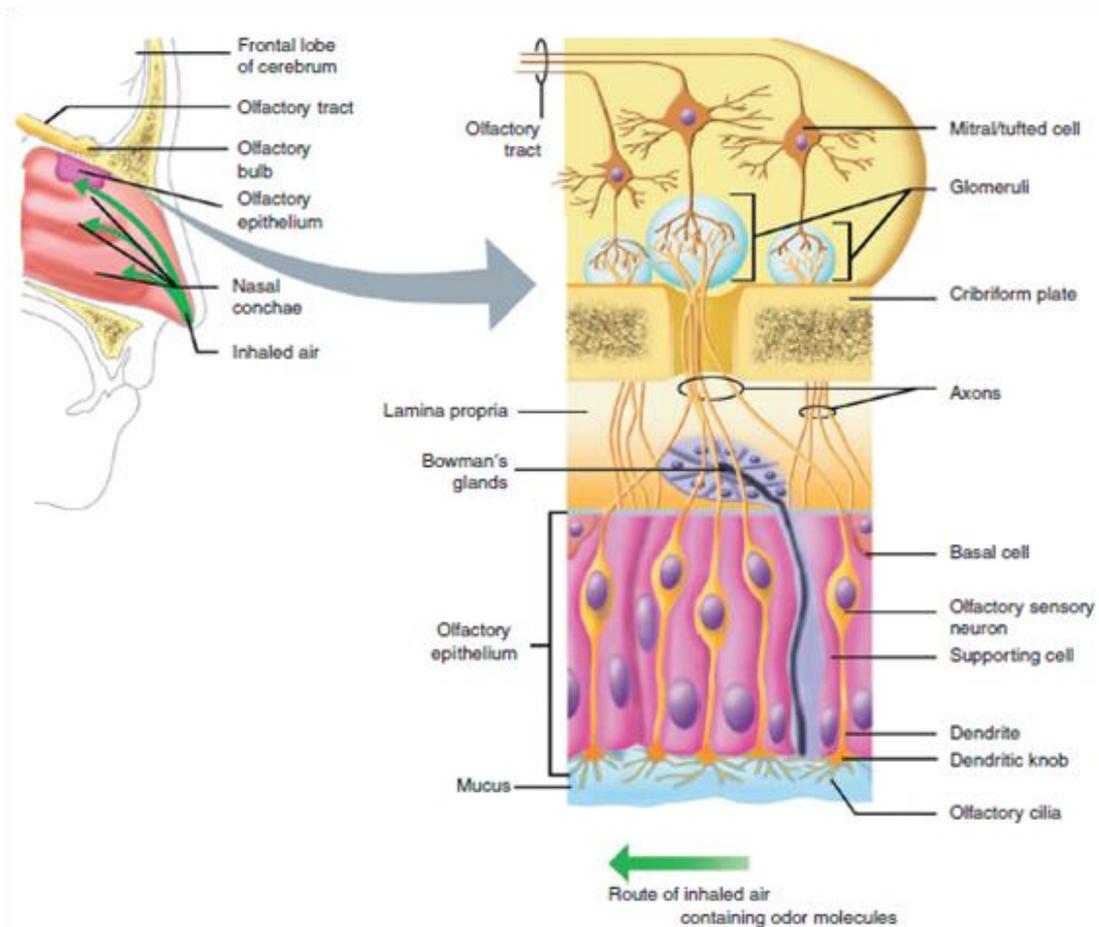


Abbildung 4: Struktur des olfaktorischen Systems. Duftstoffe erreichen über die eingeatmete Luft die Nasenschleimhäute und das olfaktorische Epithel. Es besteht aus olfaktorischen Rezeptorneuronen, Basalzellen und Stützzellen. Die olfaktorischen Rezeptorneurone sind bipolare Neurone deren Dendriten an die Epitheloberfläche ziehen und dort mittels mehrerer Zilien, welche die Riechrezeptoren tragen, für die Erkennung der Duftmoleküle zuständig sind. Die Axone der olfaktorischen Rezeptorneurone ziehen gebündelt durch die Lamina cribrosa und konvergieren in den Glomeruli des Bulbus olfactorius. Von dort werden sie über Mitralzellen zur zentralen Verarbeitung weitergeleitet (Moon et al., 2014). Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier Books.

1.2.7 Riechstörungen

Riechstörungen kommen recht häufig vor, werden aber oft nicht erkannt bzw. wahrgenommen. In einer repräsentativen Studie mit 1 240 Probanden konnte gezeigt werden, dass ca. 5 % der Allgemeinbevölkerung an einem nahezu kompletten Verlust des Riechvermögens leiden. (Landis et al., 2004). Ältere ab 60 Jahren sind sogar noch häufiger betroffen (Hoffman et al., 1998; Murphy et al., 2002). Die betroffenen Patienten beschreiben eine schlechtere Lebensqualität. Dies beinhaltet Schwierigkeiten beim Kochen (73 %), verminderte Freude am Essen und Appetitverlust (56 %) durch das Essen verkochter Speisen. Dies kann mit Gewichtsabnahme und Verschlechterung des psychischen Wohlbefindens einhergehen (Aschenbrenner et al., 2008; Deems et al., 1991; Temmel et al., 2002). Probleme bei der Wahrnehmung von Nahrung können eine Fehlernährung (erhöhter Konsum süßer Speisen, vermehrtes Salzen und Würzen) verursachen und letztlich Stoffwechselerkrankungen oder kardiale Erkrankungen fördern (Aschenbrenner et al., 2008; Duffy et al., 1995). Eine Studie zeigt außerdem, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von gefährlichen Situationen, wie z. B. der Verzehr verdorbener Nahrung oder das Nichtbemerken von Rauchentwicklung oder eines Gaslecks bei Menschen mit Riechstörungen signifikant erhöht ist (Santos et al., 2004). Weiterhin weisen die Studienergebnisse darauf hin, dass eine Einschränkung des Riechvermögens generell mit einer erhöhten Mortalität assoziiert ist (Wilson et al., 2011).

Die Einteilung von Riechstörungen kann quantitativ oder qualitativ erfolgen (Tabelle 1, S.19; Doty, 2015):

Tabelle 1: Einteilung von Riechstörungen

Quantitative Riechstörungen	
Komplette Anosmie	Fehlen jeglichen Riechvermögens
Partielle Anosmie	Teilweise fehlendes Riechvermögen (einige Duftstoffe können noch wahrgenommen werden)
Hyposmie	Verminderte Wahrnehmung von Duftstoffen
Hyperosmie	Abnormal gesteigerte Wahrnehmung von Duftstoffen
Qualitative Riechstörungen	
Parosmie	Falsche Wahrnehmung von Duftstoffen
Phantosmie	Wahrnehmung von Duftstoffen in Abwesenheit einer Duftquelle

Riechstörungen können auch eingeteilt werden je nach Genese der Störung. Diese sind sehr vielfältig, teilweise findet sich auch keine Ursache. Die häufigste Ursache basiert auf sinunasalen Pathologie (z.B. Septumdeviation, Polyposis nasalis, chronische Nasennebenhöhlenentzündung, Allergie mit Nasenmuschelhyperplasie). Postvirale Ursachen sind ebenfalls häufige Ursachen einer Riechstörung (z.B. Covid-19). Auch internistische (z. B. Diabetes mellitus, Schilddrüsenerkrankungen) und neurologische (z. B. Morbus Alzheimer, Morbus Parkinson, Mild cognitive impairment, Multiple Sklerose, Apoplex) Erkrankungen können eine Riechstörung bedingen (Steinbach et al., 2008b).

Bei einem Sturz auf den Kopf oder bei Unfällen können die Fila olfactoria z.B. durch eine Scherbewegung im Bereich der Lamina cribrosa abgerissen werden und eine posttraumatische Riechstörung auslösen.

Riechstörungen können außerdem toxisch bedingt oder angeboren sein (z.B. Kallmann-Syndrom).

Als therapeutische Optionen stehen bei sinunasalen oder traumatisch bedingten Riechstörungen operative Verfahren (z.B. Septumkorrektur, Frakturposition, endonasale Nasennebenhöhlenoperation) zur Verfügung.

Sowohl bei traumatischen, sinunasalen oder postviralen verursachten Riechstörungen können als konservative Therapieoption Kortikosteroide sowohl oral (als absteigendes Schema) als auch topisch-nasal mittels Sprays (Applikation in Mekkastellung) eingesetzt werden (Steinbach et al., 2008a). Verschiedene Studien zeigen, dass auch die topische Applikation von Natriumcitrat eine positive Wirkung auf das Riechvermögen hat (Whitcroft et al., 2016). Für Covid-Patienten eignet sich Coldastop Nasal (Vitamin A). Intensives Riechtraining mit Riechstiften (z.B. Duftquartett, Firma Burghardt, Wedel), kann ebenfalls zur Verbesserung des Riechvermögens beitragen (Hummel et al., 2009).

Weiterhin sollten Patienten, die unter einer Riechstörungen leiden, zur Erkennung einer Fehlernährung häufige Gewichtskontrollen durchführen und vermehrtes Salzen oder Süßen vermeiden. Stattdessen kann durch vermehrtes Würzen, durch Zusatz natürlicher oder künstlicher Aromen oder Glutamat die Intensität von Speisen erhöht werden. Speisen mit harten oder kantigen Texturen (z.B. Rohkost) können über Anregung des N. trigeminus gleichermaßen zu einer intensiveren Wahrnehmung beitragen und mehr Freude am Essen bewirken.

Außerdem sollten die Wohnräume von Patienten mit Riechstörungen mit Rauchmeldern ausgestattet werden und ein besonderes Augenmerk auf regelmäßiges Lüften gelegt werden (Steinbach et al., 2008a).

1.3 Anatomie und Physiologie des Schmeckens

1.3.1 Anatomie und Lokalisation der Schmecksinneszellen

Die Schmeckrezeptorzellen des Menschen sind in Schmeckknospen angeordnet. Im Bereich der Zunge sind sie auf drei unterschiedlichen Zungenpapillen zu finden. Schmeckknospen finden sich jedoch auch am Gaumen, im Oropharynx, im Larynx (Epiglottis) und im oberem Ösophagus (Witt und Reutter, 2015).

Die Zunge trägt vier unterschiedliche Papillen: die Papillae valatae (Wallpapillen), die Papillae fungiformes (Pilzpapillen) und die Papillae foliatae (Blattpapillen), sowie die Papillae filiformes (Fadenpapillen). Letztere sind non-gustatorische Papillen und nehmen vor allem Aufgaben des Tastsinns wahr. Die ca. 8 – 10 Wallpapillen sind v-förmig ventral entlang des Sulcus terminalis angeordnet und teilen die vorderen zwei Drittel der Zunge vom Zungengrund. Pro Papille enthalten sie 240+/-125 Schmeckknospen (Bartoshuk und Miller, 1991). Das sind rund 48 % aller Schmeckknospen (Witt und Reutter, 2015). Die Wallpapillen werden von Fasern des Nervus glossopharyngeus innerviert. Die Blattpapillen befinden sich an den hinteren bzw. seitlichen Teilen der Zunge und beherbergen insgesamt ca. 28 % der menschlichen Schmeckknospen (1120). Die Blattpapillen werden zum größten Teil vom Nervus glossopharyngeus innerviert, lediglich die anterior gelegenen Papillen erhalten auch Fasern aus der Chorda tympani (Witt und Reutter, 2015).

Die schätzungsweise 320 Pilzpapillen sind in unterschiedlicher Dichte über die vorderen $\frac{2}{3}$ der Zunge verteilt. Somit bilden sie die zahlenmäßig größte Gruppe unter den Zungenpapillen. Im Schnitt enthalten sie jedoch nur 3,5 Geschmacksknospen, weshalb sie nur 24 % aller Schmeckknospen insgesamt beinhalten (Witt und Reutter, 2015).

Die somatosensorische und sensible Innervation der Zunge ist in Tabelle 2 sowie Abbildung 5 dargestellt.

Tabelle 2 Somatosensorische und sensible Innervation der Zunge und des Gaumens

	vordere $\frac{2}{3}$ der Zunge	hinteres $\frac{1}{3}$ der Zunge	Gaumen/ Epiglottis
sensorisch	N. facialis (Chorda tympani)	N. glossopharyngeus)	N. nasopalatinus, N. palatinus major/ minor (N. maxillaris, V2) N. vagus (Epiglottis)
Sensibel	N. lingualis (N. trigeminus, V3)	N. glossopharyngeus	N. petrosus major (N. facialis)

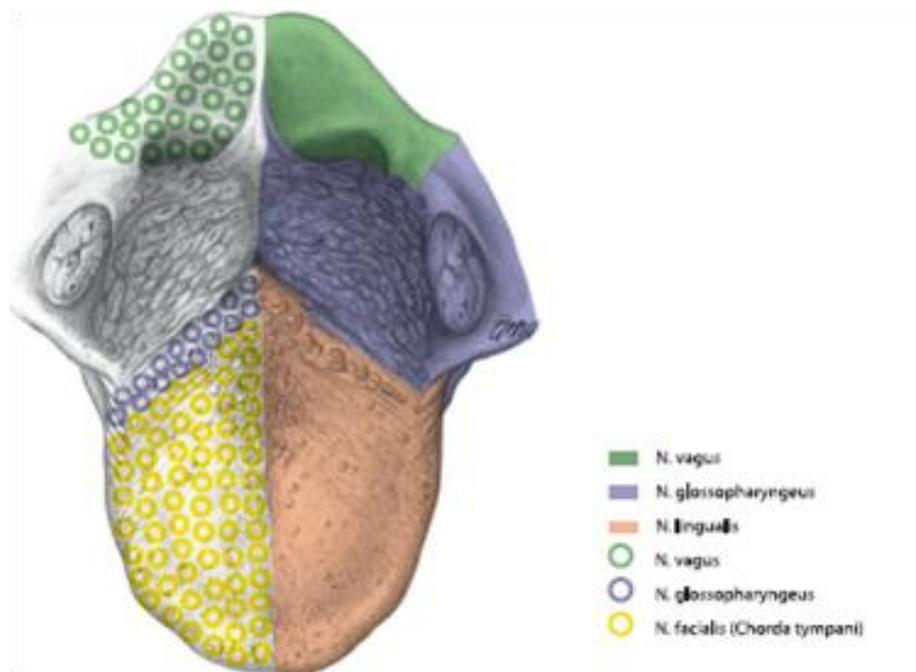


Abbildung 5: Somatosensibilität der Zungenoberfläche (linke Seite) und Geschmacksinnervation (rechte Seite) (Tillmann, 2016). Mit freundlicher Genehmigung von Springer Nature.

1.3.2 Aufbau der Schmeckknospen

Die Schmeckknospen setzen sich aus ca. 60 – 120 länglich angeordneten Zellen zusammen (Breslin und Huang, 2006). An ihrem apikalen Pol bilden diese Zellen Mikrovilli aus, die als vergrößerte Oberfläche in den Porus gustatorius münden. Der Porus gustatorius ist eine kleine flüssigkeitsgefüllte Struktur am apikalen Pol der Schmeckknospe.

Es können vier verschiedene Zelltypen in den Schmeckknospen unterschieden werden. Der häufigste Zelltyp sind die Typ-1-Zellen, die gliaähnlichen Zellen. Diese spindelförmigen Zellen haben vor allem sekretorische Funktion, indem sie die Flüssigkeit, die den Porus gustatorius ausfüllt, produzieren (Ohmura et al., 1989; Witt und Reutter, 2015). Typ-2-Zellen sind die Rezeptorzellen für die Schmeckqualitäten „süß“, „bitter“ und „umami“ (Matsunami et al., 2000; Tomchik et al., 2007). Die Typ-3-Zellen sind die Sinneszellen für die Schmeckqualitäten „sauer“ und „salzig“ (Huang et al., 2008).

Die Basalzellen bilden die Gruppe der Typ-4-Zellen. Sie bilden die Basis der Schmeckknospen und erreichen nicht den Porus gustatorius. Es wird angenommen, dass die Basalzellen undifferenzierte Stammzellen sind, aus denen sich die anderen drei Zelltypen etwa alle 10 – 15 Tage regenerieren können (Farbman, 1980; Roper, 1989).

1.3.3 Die Schmeckrezeptoren

Im Gegensatz zum olfaktorischen System werden im gustatorischen System in den Schmecksinneszellen verschiedene molekulare Mechanismen für die Ausbildung eines Rezeptorpotenzials genutzt. Diese sind je nach Schmeckqualität unterschiedlich.

Für die Erkennung der Schmeckqualität „sauer“ in Typ-3-Zellen spielt die Erkennung eines verminderten pH-Werts bzw. die erhöhte Konzentration von Protonen eine entscheidende Rolle. Dafür verantwortlich sind wahrscheinlich Kationenkanäle der TRP (transient receptor potential) -Ionenkanalfamilie, PKD2L1-Kanäle (Polycystic-Kidney-Disease-2 like 1 Ion Channel) und PKD1L3-Kanäle (Polycystic-Kidney-Disease-1 like 3 Ion Channel) (DeSimone et al., 2015).

Ebenso scheinen pH-sensitive Kaliumleckkanäle (K2P-Kanäle) in diesen Prozess involviert zu sein (Lin et al., 2004; Richter et al., 2004). Diese zum

Ruhemembranpotenzial beitragenden Kanäle werden durch H^+ -Ionen blockiert, wodurch es zu einem verminderten Ausstrom von K^+ -Ionen kommt, was wiederum zu einer Depolarisation führen kann.

Weitere Ionenkanäle, denen eine Rolle in der Erkennung der Schmeckqualität „sauer“ zugesprochen wird, sind die ASIC (acid-sensing ion channel, Ugawa et al., 1998), der direkte Protoneneinstrom über ENaC (epitheliale Natriumkanäle) (Gilbertson et al., 1992) und die Aktivierung von HCN-Kanälen (hyperpolarization-activated and cyclic nucleotide-gated ion channels, Stevens et al., 2001).

Die Erkennung der Schmeckqualität „salzig“ wird über den direkten Einstrom von Na^+ -Ionen durch apikale Ionenkanäle und anschließende Depolarisation vermittelt. Wichtigster Vertreter ist hier der Amilorid-sensitive epitheliale Natriumkanal, EnaC (Chandrashekar et al., 2010; Heck et al., 1984).

Möglicherweise spielen auch modifizierte TRPV1-Kanäle (vanilloid class of transient receptor potential channels) eine Rolle in der Transduktion von salzigen Schmeckinformationen, wobei entsprechende Versuche mit Knock-Out-Mäusen keine endgültigen Beweise liefern konnten (Ruiz et al., 2006; Treesukosol et al., 2007).

Die Schmeckqualität „süß“ wird über G-Protein-gekoppelte Rezeptoren der T1R-Familie auf Typ-2-Zellen vermittelt. Diese Rezeptoren reagieren auf die Anwesenheit von löslichen Kohlenhydraten und anderen süßen nicht-kohlenhydratartigen Molekülen (Lindemann, 2001). Bisher sind drei verschiedene Isoformen dieser Rezeptorfamilie bekannt: T1R1, T1R2 und T1R3. Allgemein anerkannt ist die Annahme, dass ein heterodimeres Rezeptorprotein bestehend aus den Subtypen T1R2 und T1R3 für die Erkennung süßer Schmeckmoleküle zuständig ist (Li et al., 2002). Durch Bindung eines Liganden an diesen Rezeptoren wird in der Sinneszelle ein G-Protein, Gustducin, aktiviert. Über die Aktivierung der nachfolgenden G-Protein-gekoppelten Kaskade (Aktivierung von Phospholipase C- β 2, Inositoltriphosphat und Diacylglycerol) kommt es zu einer Erhöhung der intrazellulären Ca^{2+} -Konzentration (Draghun, 2010) und unter anderem über die Öffnung von kalziumabhängigen TRPM5-Ionenkanälen (Liu und Liman, 2003) zur Zelldepolarisation.

Die Schmeckqualität „umami“ wird durch glutamatreiche Speisen, wie Hühnerbrühe, Fleisch oder alterndem Käse, erzeugt (Lindemann, 2001) und ebenfalls über Rezeptoren der TR1-Familie in Typ-2-Zellen vermittelt. Hierfür ist ein heterodimeres Rezeptorprotein mit der Subtypenkombination T1R1/ T1R3 verantwortlich. Die intrazelluläre Signalkaskade entspricht den oben beschriebenen Abläufen für die Schmeckqualität „süß“.

Bittere Schmeckeindrücke werden ebenfalls in den Typ-2-Zellen über die Familie der T2R-Rezeptoren wahrgenommen (Chandrashekar et al., 2000). Diese sind G-Protein gekoppelte Rezeptoren, die in ihren Eigenschaften den Rezeptoren der T1R-Familie ähneln. Es sind bisher 25 verschiedene derartige Rezeptoren bekannt. Sie arbeiten entweder als hetero- oder homodimere Rezeptoren, sodass insgesamt 325 verschiedene Rezeptoren aus verschiedenen Kombinationen der einzelnen Isoformen möglich sind (Kuhn et al., 2010). Die bei Kontakt mit einem bitteren Schmeckmolekül ablaufende Signaltransduktionskaskade entspricht der Signaltransduktionskaskade der T1R- Rezeptoren. Durch die große Anzahl der verschiedenen Rezeptoren für Bitterstoffe wird eine bessere Diskrimination einzelner Stoffe ermöglicht als es für andere Schmeckqualitäten möglich ist. Einzelne Bitterstoffe können spezifische Untergruppen von Rezeptorzellen aktivieren (Caicedo et al., 2001), einzelne Untergruppen von Rezeptorzellen jedoch auch von mehreren verschiedenen Bitterstoffen aktiviert werden (Meyerhof et al., 2010). So ist sichergestellt, dass der Mensch eine möglichst große Anzahl von potenziell gefährlichen Bitterstoffen, z. B. verschiedene Pflanzengifte, möglichst zuverlässig erkennen kann.

1.3.4 Zentrale Verarbeitung von gustatorischen Reizen

Die afferenten Fasern, die die Reizweiterleitung aus den in den Schmeckknospen gelegenen Sinneszellen zu höheren kortikalen Zentren gewährleisten, sind pseudounipolare Neurone des Nervus facialis, des Nervus glossopharyngeus und des Nervus vagus. Die Schmecksinneszellen haben als sekundäre Sinneszellen keine eigenen Axone, sondern vermitteln über die Sekretion von ATP (Typ-2-Zellen) oder Serotonin (5-HT; Typ-3-Zellen) als Neurotransmitter eine Erregung der sie umgebenden pseudounipolaren Sinneszellen (Huang und Roper, 2010; Huang et al., 2007; Romanov et al.,

2007). Die Afferenzen zu den Schmeckknospen der vorderen zwei Drittel der Zunge werden von der Chorda tympani gebildet (McManus et al., 2011). Ebenfalls vom Nervus facialis ausgehend versorgt der Nervus petrosus major die Schmeckknospen des weichen Gaumens (Hamilton und Norgren, 1984). Das hintere Drittel der Zunge liegt im Versorgungsbereich des Nervus glossopharyngeus. Die tief im Gaumen und im Rachen gelegenen Schmeckknospen werden teilweise ebenfalls über den Nervus glossopharyngeus, vor allem aber über den Nervus laryngeus superior, einen Ast des Nervus vagus, innerviert (Pritchard und Di Lorenzo, 2015; zur Geschmacksinnervation der Zunge siehe auch Abbildung 5).

Die Zellkerne der afferenten Axone liegen in den jeweils zugehörigen Ganglien (Ggl. geniculi, Ggl. petrosus, Ggl. nodosum). Die zentralen Fortsätze der Ganglienzellen enden dann im Nucleus tractus solitarii im kaudalen Hirnstamm in der Medulla oblongata. Hier erfolgt eine Umschaltung zu anderen Hirnstammkernen für die reflektorische Auslösung von Salivation und Schlundmuskulatur. Weiterhin projizieren Bahnen über eine weitere Umschaltung im Nucleus ventralis posterior des Thalamus zum primären Projektionsfeld der Schmeckbahn im Neokortex, zum Gyrus postcentralis. Höhere (sekundäre) Schmeckareale befinden sich im orbitofrontalen Kortex, wo die Integration der gustatorischen Informationen mit anderen Sinnesafferenzen erfolgt und letztlich das Essverhalten beeinflusst wird (Draghun, 2010).

Ein weiterer Faseranteil zieht unter Umgehung des Thalamus zum Hypothalamus und den Mandelkernen und erreicht so das limbische System. Hier gibt es gemeinsame Projektionsgebiete mit olfaktorischen Fasern, wodurch eine emotionale Bewertung von Speisen bzw. Gerüchen sowohl durch das gustatorische als auch das olfaktorische System gewährleistet ist.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Schmeckwahrnehmung sind somatosensorische Afferenzen aus dem Mundraum. Diese werden über verschiedene Rezeptortypen (Merkel-Zellen, Pacini-Körper, Meißner-Körper, etc.) vermittelt, welche eine Vielzahl verschiedener Sinneseindrücke wahrnehmen können (Haggard und de Boer, 2014). Es gibt starke Hinweise auf eine Konvergenz von gustatorischen und trigeminalen Afferenzen im Hirnstamm im Nucleus tractus solitarius und auch in höheren kortikalen Zentren. Im

Tiermodell konnte mittels verschiedener Methoden eine modulatorische Wirkung trigeminaler Afferenzen auf das gustatorische System nachgewiesen werden (Boucher et al., 2003; Braud et al., 2012; Felizardo et al., 2009).

1.3.5 Schmeckstörungen

Störungen des Schmeckens können für die betroffenen Patienten weitreichende Folgen haben. Ein eingeschränkter Schmecksinn vermindert nicht nur das Genusserebnis beim Verzehr von Speisen, sondern verändert auch die Speisenauswahl und die Essgewohnheiten. Dies kann eine Gewichtszunahme bewirken oder im Extremfall einen Gewichtsverlust bis hin zu einer manifesten Mangelernährung verursachen. Besonders Diabetiker oder Hypertoniker sind durch eine falsche Ernährung, im Sinne einer zu salz- oder zuckerhaltigen Kost, gefährdet, ihre Grunderkrankung zu verschlimmern und haben ein höheres Risiko, Folgeschäden davonzutragen. Ebenso ist bei einem beeinträchtigten Schmecksinn die Schutzfunktion vor giftigen oder verdorbenen Speisen aufgehoben.

Im klinischen Alltag ist zu beachten, dass sich hinter einer Schmeckstörung oftmals eine Riechstörung bzw. eine Kombination von beiden verbirgt.

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass anamnestisch erhobene Schmeckstörungen oftmals kein pathologisches gustatorisches Korrelat in der klinischen Untersuchung zeigen oder aber die Patienten eine olfaktorische Fehlfunktion aufweisen. Die Zahlen verschiedener Studien in denen Patienten, die sich mit Schmeckstörungen vorstellten, auch tatsächlich eine objektivierbare Schmeckstörung aufwiesen, reichen von 0,85 % (Pribitkin et al., 2003) über 8,7 % (Deems et al., 1991) bis 13 % (Goodspeed et al., 1987).

Schmeckstörungen sind sehr vielfältig. Zu unterscheiden sind quantitative und qualitative Störungen (Tabelle 3, Seite 29; Bromley und Doty, 2015):

Tabelle 3 Einteilung von Schmeckstörungen

Quantitative Schmeckstörungen	
Ageusie	Verlust des Schmeckvermögens
Hypogeusie	Einschränkung des Schmeckvermögens
Hypergeusie	Gesteigertes Schmeckvermögen
Qualitative Schmeckstörungen	
Dysgeusie	verfälschte Wahrnehmung alltäglicher Schmeckempfindungen
Phantogeusie	Wahrnehmung von Schmeckeindrücken in Abwesenheit einer Reizquelle
Gustatorische Agnosie	Unfähigkeit einen Schmeckreiz zu erkennen, obwohl keinerlei objektivierbare Störung des gustatorischen Systems vorliegt

Eine weitere Einteilung erfolgt nach Kausalität. Es werden epitheliale Ursachen von nervalen Ursachen unterschieden. Bei epithelialen Schäden handelt es sich um Schädigungen der Schmeckknospen bzw. der Zungenschleimhaut. Zu den Ursachen zählen u.a. die Xerostomie (Morris-Wiman et al., 2000), Epithelschäden verschiedenster Genese (infektiös, autoimmun, neoplastisch, odontogen usw.) oder auch eine iatrogene Schädigung (Medikamenteneinnahme, Antibiotika, Strahlentherapie, Chemotherapie) (Sahm K, 1999; Steinbach et al., 2009). Nervale Schäden sind entweder auf idiopathische, infektiöse, traumatische oder auch iatrogene Ursachen zurückzuführen (z. B. Ohr-Operation mit Schädigung der Chorda tympani, Apoplex usw.). Bei nervaler Schädigung manifestiert sich eine Schmeckstörung häufig einseitig und auf das Versorgungsgebiet des geschädigten Nerven beschränkt. Bei einer epithelialen Schädigung (z.B. durch Antibiotika) zeigt sich meist eine beidseitige bzw. den ganzen Mund betreffende Schmeckstörung.

In therapeutischer Hinsicht sollte, falls möglich, zu allererst die Ursachen-

beseitigung einer Schmeckstörung im Fokus stehen. Daher sollten Patienten einer eingehenden internistischen Untersuchung und Anamnesen unterzogen werden, um mögliche infektiöse, autoimmune, neoplastische Ursachen sowie Vitamin-oder Spurenelementmangelerkrankungen als Auslöser einer Schmeckstörung auszuschließen.

Als weitere allgemeine Therapiemaßnahmen können z.B. OraBrush-Zungenbürsten genutzt werden, was zu einer signifikanten Verbesserung der Schmeckfähigkeit führt (Timmesfeld et al., 2021). Trotz geringer Evidenz kann auch die orale Applikation von Zink zur Linderung einer Schmeckstörung beitragen (Heckmann et al., 2005; Sakai et al., 2002).

Patienten, die unter einer Schmeckstörung leiden, sollten eine ausführliche Aufklärung bezüglich möglicher Folgen bekommen, wobei v.a. die Aufklärung über Strategien zur Vermeidung von Fehlernährung (übermäßiger Salz- oder Zuckerkonsum) im Fokus stehen sollte.

1.4 Zahnprothesen

Da Zahnprothesen den zentralen Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit (i. e. den untersuchten Einflussfaktor auf das Riechen und Schmecken) darstellen, soll im Folgenden auf Epidemiologie, Therapieziele sowie auf den Aufbau und die Herstellung von Total- und Teilprothesen eingegangen werden.

1.4.1 Epidemiologie – Prävalenz von Zahnlosigkeit

Laut der letzten Deutschen Mundgesundheitsstudie (DMS V) waren 2016 12,4 % aller 65- bis 74-Jährigen in Deutschland zahnlos. Im Vergleich zu 1997 ist dies ein deutlicher prozentualer Rückgang. Damals waren noch 25 % aller 65- bis 74-Jährigen zahnlos. Auch die Anzahl der verbleibenden eigenen Zähne stieg in dieser Altersgruppe zwischen 1997 und 2016 von durchschnittlich 10,4 auf 16,9 Zähne deutlich an (Lenz, 1999; Nitschke und Stark, 2016a).

Bezüglich der absoluten Behandlungszahlen gibt die Abrechnungsstatistik der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung einen guten Überblick. Sie führt für 2018 für die Befundpositionen 4.2 (zahnloser Oberkiefer) und 4.4 (zahnloser Unterkiefer) 273 000 bzw. 158 000 Abrechnungen auf. Der Versorgungsbedarf mit Zahnprothesen in Deutschland ist also trotz des oben genannten prozentualen Rückgangs der Prävalenz von Zahnlosigkeit weiterhin hoch.

Die internationale Entwicklung zeigt einen ähnlichen Trend. In den USA entwickelte sich die Prävalenz von Zahnlosigkeit in der Allgemeinbevölkerung von 18,9 % in den 1950er Jahren hin zu 4,9 % im Jahr 2012. Eine Projektion für das Jahr 2050 sagt eine Prävalenz von 2,6 % voraus, was in absoluten Zahlen einer Gruppe von ca. 8,6 Mio. Bürgern entspricht (Slade et al., 2014).

Auch die globale Entwicklung unterstreicht den weiter vorhandenen Versorgungsbedarf mit Zahnprothesen. Eine Metaanalyse von 2014 berechnete einen Rückgang der weltweiten Prävalenz von Zahnlosigkeit von 4,4 % im Jahre 1990 auf 2,4 % im Jahr 2010 (Kassebaum et al., 2014). In absoluten Zahlen entspricht dies trotzdem mehreren hundert Millionen Patienten weltweit, auf die bezüglich einer möglichen Riech- und/ oder Schmeckstörung geachtet werden sollte.

1.4.2 Anatomische Veränderungen infolge von Zahnlosigkeit

Eine hauptsächliche Folgeerscheinung des Zahnverlusts sind die Resorptionsvorgänge an den Alveolarfortsätzen und die damit verbundene Atrophie des zahnlosen Kieferkamms (Atwood, 1963; Carlsson, 1998; Ulm et al., 1992). Der zeitliche Ablauf der Resorptionsvorgänge ist exponentiell, d.h. in den ersten Monaten nach Zahnverlust sind sie am stärksten ausgeprägt (Tallgren, 1972). Die Resorptionsvorgänge bergen ein großes Risiko für die Stabilität der Knochenstruktur und können sogar Frakturen der Kieferknochen begünstigen (Monaco et al., 1966). Außerdem verringert sich bei fortschreitender Resorption die Auflagefläche für die Prothesen und kann Anpassungen erforderlich machen.

Am Kiefergelenk kommt es ebenfalls zu Veränderung infolge von Zahnlosigkeit. Durch die fehlende dentale Abstützung benötigt das Kiefergelenk einen größeren Bewegungsspielraum, um weiterhin eine suffiziente Nahrungszerkleinerung zwischen Maxilla und Mandibula zu gewährleisten. Dies führt zu einer Abflachung der Tubercula mandibularia (Alzarea, 2015; Hongchen et al., 1992; Setz und Körber, 2017). Daraus resultierende pathologische Zustände (Temporomandibular Disorders) treten nach aktueller Forschungslage bei Zahnlosen und/oder Zahnprothesenträgern jedoch nicht gehäuft auf.

Neuroanatomisch ist bei Zahnlosen eine deutliche Beeinträchtigung der sensorischen Funktion des Mundraums zu beobachten. Es konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass die Anzahl von Rezeptoren im periodontalen Ligament nach Zahnextraktion signifikant abnimmt (Abarca et al., 2006). Damit einhergehend wurde im Tiermodell ein Verlust von afferenten Fasern im Canalis mandibularis beobachtet (Linden und Scott, 1989). Zum einen nimmt hierdurch die Fähigkeit, Nahrung oder Gegenstände im Mundraum zu erkennen, ab. Zum anderen üben die somatosensorischen Afferenzen aus dem periodontalen Ligament auch eine modulatorische Wirkung auf die Funktion der Kiefergelenke und deren Muskulatur aus (Lobbezoo et al., 2002).

Aufgrund der genannten Veränderungen ist das Kauen bei Zahnlosen deutlich ineffektiver als bei voll Bezahnten (Setz und Körber, 2017). Auch das Tragen einer Zahnprothese schafft hier keine komplette Abhilfe. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass Zahnprothesenträger deutlich ineffizienter

Kauen als eine zahngesunde Vergleichsgruppe (Fontijn-Tekamp et al., 2000). Auffällig sind besonders strukturelle Veränderungen im M. masseter und den medialen M. pterygoidei. Bei Zahnprothesenträgern weisen diese deutliche Atrophiezeichen auf, was die geringere Bisskraft und die kürzeren Kauzyklen erklären könnte (Newton et al., 1993, 1987; Raustia et al., 1996).

Letztlich wäre über die genannten anatomischen Veränderungen infolge von Zahnlosigkeit auch eine Beeinflussung des Riech- und Schmeckvermögens denkbar. Insbesondere die Veränderungen der somatoafferenten Strukturen der Zähne und des Alveolarkamms könnten auch die taktile Perzeption von Nahrungsbestandteilen beeinflussen. Die mit den Veränderungen des Kiefergelenks und seiner Muskulatur einhergehende Abnahme der Bisskraft und der Kaumechanik könnte zu einer schlechteren Lösung von Aromen aus der Nahrung führen.

1.4.3 Haltemechanismen von Zahnprothesen

Der Prothesenhalt wird in der Praxis im Wesentlichen aus dem komplexen Zusammenspiel von physikalischen Faktoren, Okklusion und Muskelarbeit erreicht.

Kinesiographische Untersuchungen in verschiedenen Arbeiten haben gezeigt, dass Zahnprothesen während des Kauens in ständiger Bewegung sind (Compagnoni et al., 2003; de Souza et al., 2009; Maeda et al., 1984; Marin et al., 2014), wobei diese disloziert aber auch stabilisiert werden. Unter Berücksichtigung der oben erwähnten neuroanatomischen Veränderungen ist anzunehmen, dass dies ohne das Erlernen neuer Bewegungsmuster der Kaumuskulatur nicht möglich wäre (Setz und Körber, 2017).

Neben diesen muskulären Haltemechanismen ist das Zusammenspiel verschiedener physikalischer Faktoren essentiell für einen guten Prothesenhalt. Darvell et al. (2000) sehen die Oberflächenspannung von Flüssigkeiten im Allgemeinen sowie die Viskosität des Speichels als entscheidende physikalische Faktoren für den Prothesenhalt. Die daraus resultierenden Adhäsionskräfte sind umso größer, desto besser die Passform der Prothese ist (Darvell und Clark, 2000). Sie muss optimalen Sitz auf der Mukosa bieten sowie eine korrekte Abdichtung der Prothesenränder gewährleisten.

Die Okklusion, also das korrekte Aufeinanderpassen der Ober- und Unterkieferprothese beim Kauen, ist ein weiterer wichtiger Faktor für guten Prothesenhalt. Bei guter Okklusion bleibt der Spalt zwischen Prothese und Mukosa möglichst klein und Adhäsionskräfte können somit optimal wirken.

1.4.4 Aufbau und Herstellung von Zahnprothesen

Totalprothesen sind aus drei wesentlichen Teilen aufgebaut: Prothesenbasis, Prothesenaußenflächen und den künstlichen Zähnen.

Die Prothesenbasis stellt die Auflagefläche der Prothesen auf dem Alveolarfortsatz und auf dem Gaumen dar und überträgt somit alle Druckkräfte, die beim Kauen und Beißen auftreten, auf die Schleimhaut und den Kieferknochen. Um eine möglichst große Verteilung der Druckkräfte und minimale Druckeinwirkung auf einzelne Stellen zu erzielen, sollte die Prothesenbasis einerseits maximal groß sein. Andererseits ist die Aktivität der oralen Muskulatur zu beachten, was eine natürliche Begrenzung der Größe der Prothesenbasis bedingt. Um einen optimalen Kompromiss zwischen Größe und möglichst ungestörter Muskelaktivität zu erreichen, wird zur Herstellung der Prothesenbasis das Prinzip der „Funktionsabformung“ verwendet (Setz und Körber, 2017).

1.4.4.1 Konventionelles Herstellungsverfahren

Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Vorgehensweisen und Herstellungsverfahren sollen hier nur exemplarisch die wesentlichen Arbeitsschritte dargestellt werden, die vom Prinzip her bei allen konventionellen Verfahren angewendet werden.

Zuerst wird zur Erstellung individueller Abformlöffel eine anatomische Abformung der Kiefer vorgenommen. Hierbei wird nur der Kiefer mit seinen Schleimhäuten dargestellt, ohne dass die sich aus der Muskelbewegung von Zunge, Lippen und Wangen ergebende dynamische Komponente berücksichtigt wird (Kobes, 1991).

Die zweite Abformung mit dem individuellen Löffel erfolgt nun funktionell. Hierzu muss der Patient den Mund öffnen, den Kiefer nach links und rechts bewegen sowie die Lippen spitzen und den Mund spreizen. Durch dieses Verfahren soll die möglichst genaue Anpassung des inneren und äußeren Randes an die

Alveolarfortsätze gelingen und eine möglichst passgenaue Prothesenbasis erstellt werden, die bei allen Bewegungen des Mundes einen guten Tragekomfort bietet (Kobes, 1991).

Im nächsten Schritt erfolgt die exakte Bestimmung der vertikalen und horizontalen Kieferkorrelation. Hierdurch soll eine möglichst optimale dem natürlichen Gebiss nachempfundene Lippen- und Gesichtsform erreicht werden. Bei fehlerhafter Korrelationsbestimmung können sowohl funktionelle als auch kosmetische Probleme auftreten (Palla, 1991).

Die sich anschließende Zahnaufstellung erfolgt bei der Aufstellung der Frontzähne im Wesentlichen nach kosmetischen Aspekten, während die Aufstellung der Seitenzähne eher funktionell-dynamischen Notwendigkeiten folgt.

1.4.4.2 Digitale Herstellungsverfahren (CAD/CAM)

Neben der oben beschriebenen klassischen analogen Herstellung von Zahnprothesen nehmen auch im Bereich der Prothetik digitale Herstellungsverfahren immer mehr Raum ein. Diese werden als CAD/CAM-Verfahren bezeichnet (computer-aided design/computer-aided manufacture).

CAD/CAM-Systeme bestehen im Wesentlichen aus folgenden Teilen (Galhano et al., 2012):

- einer Aufnahmeeinheit, die den analogen Abformungsprozess ersetzt;
- einer Verarbeitungssoftware, welche aus den erhobenen Daten ein virtuelles und digital bearbeitbares Modell erstellt;
- einer computergesteuerten Fräß- und Schleifeinheit (z. B. CNC-Fräse).

Es existieren eine Vielzahl verschiedener CAD/CAM-Systeme unterschiedlicher Hersteller (Steinmassl et al., 2017), die jedoch letztlich alle auf dem oben beschriebenen Funktionsprinzip beruhen.

Die digitalen Herstellungsverfahren bieten gegenüber den konventionellen Fertigungsmethoden u. a. den Vorteil einer kürzeren Behandlungs- und Fertigungszeit sowie die Möglichkeit einer digitalen Archivierung der Patientendaten (Janeva et al., 2018). Außerdem gibt es Hinweise für ein besseres klinisches Outcome hinsichtlich der Passgenauigkeit und der Stabilität der Prothesen sowie in Bezug auf die Patientenzufriedenheit im Allgemeinen

(Bidra et al., 2016; Kattadiyil et al., 2015; Steinmassl et al., 2018).

Laboruntersuchungen bezüglich der mechanisch-physikalischen Materialeigenschaften scheinen ebenfalls eine Überlegenheit digital hergestellter Zahnprothesen zu bestätigen (Srinivasan et al., 2017).

Eine Studie von 2018 konnte außerdem den ökonomischen Nutzen des CAD/CAM-Verfahrens belegen. Insgesamt fallen die Kosten aufgrund der Einsparungen bei Behandlungszeit, Personal etc. niedriger aus als beim konventionellen Herstellungsverfahren (Srinivasan et al., 2019).

2 Methoden und Untersuchungsablauf

2.1 Teilnehmer

Es wurden insgesamt 41 Teilnehmer in der Zahnklinik und der HNO-Abteilung des Universitätsklinikums Marburg rekrutiert. Als Einschlusskriterium wurde das Tragen herausnehmbarer Voll- oder Teilzahnprothesen definiert.

Ausschlusskriterien waren bekannte Riech- oder Schmeckstörungen vor Studienbeginn, Tumorerkrankungen oder –therapie (Radiochemotherapie) im Kopf-Hals-Bereich, eine vorangegangene Tracheotomie und andere akute Erkrankungen, wie z. B. eine Infektion der oberen Atemwege, oder eine neurologische Erkrankung (z.B. Parkinsonerkrankung, Demenz).

Die klinischen Daten der Teilnehmer sind in der Tabelle 2 aufgeführt. Die Teilnehmer wurden mündlich und schriftlich über den Hintergrund, mögliche Risiken und die Maßnahmen zum personenbezogenen Datenschutz dieser Studie aufgeklärt. Die Einwilligung zur Teilnahme erfolgte schriftlich und freiwillig. Ein Rücktritt von der Studienteilnahme war ohne Angabe von Gründen und ohne daraus resultierende Nachteile jederzeit möglich. Diese Studie wurde mit vorherigem Einverständnis der Ethikkommission der Philipps Universität Marburg durchgeführt (Ethikvotum Nr. 156/15). Es mussten keine Teilnehmer von der Studie ausgeschlossen werden.

Um den direkten Einfluss des Zahnersatzes auf das Riech- und Schmeckvermögen zu untersuchen, wurde die Studie so konzipiert, dass nur intra-individuelle Unterschiede zwischen Tragen oder Nicht-Tragen einer Prothese eine Rolle spielen sollten. Die Testungen wurden daher nacheinander ausgeführt, zuerst mit Prothese und direkt im Anschluss ohne Prothese. Außerdem sollte die Teilnehmer eine Stunde vor Testbeginn nichts mehr essen und nur noch Wasser trinken sowie nicht mehr rauchen. Eventuelle Einflussfaktoren wie Alter, Speichelbildung zu verschiedenen Tages- oder Jahreszeiten oder Medikamenteneinnahme konnten damit minimiert werden.

Tabelle 4: Klinische Daten der Studienteilnehmer

Anzahl der Teilnehmer	n = 41
Alter	71,6 ± 8,01*
Geschlecht:	
weiblich	18 (43,9 %)
männlich	23 (56,1 %)
BMI	28,1 ± 6,69*
Raucher:	
Ja (Ø 13 Zigaretten)	8 (19,5 %)
nein	33 (80,5 %)
Art der Prothese	
Oberkiefer- und Unterkieferprothese	33 (80,5 %)
davon Vollprothesen Oberkiefer	33 (100%)
davon Teilprothesen Oberkiefer	0
davon Vollprothesen Unterkiefer	22 (66,7%)
davon Teilprothesen Unterkiefer	11 (33,3%)
Nur Oberkieferprothese	8 (19,5 %)
davon Vollprothesen Oberkiefer	6 (75%)
davon Teilprothesen Oberkiefer	2 (25%)
Nur Unterkieferprothese	0
Verwendung von Haftcreme	
ja	11 (26,8 %)
nein	30 (73,2 %)

* Mittelwert ± Standardabweichung

Tabelle 5 Medikation der Teilnehmer

Medikament	Anzahl der Patienten (n=41)
ASS 100mg	15 (36%)
Marcumar	5 (12%)
β-Blocker	17 (41%)
ACE-Hemmer /Sartan	14 (34%)
andere Antihypertensiva	8 (19%)
Verapamil	2 (5%)
Diuretika	5 (12%)
Metformin	5 (12%)
Andere Antidiabetika	4 (10%)
PPI	9 (22%)
Statin	8 (20%)
Gabapentin	3 (7%)
LABA,SABA	3 (7%)
L-Thyroxin	4 (10%)
SSRI	2 (5%)

2.1.1 Die „Sniffin‘ Stick“-Test-Batterie

Zur Untersuchung des Riechvermögens wurde der „Sniffin‘ Sticks“-Test der Firma Burghart Messtechnik (Wedel, Deutschland) verwendet. Das Testverfahren ist gut validiert und zeichnet sich durch eine hohe Test-Retest-Reliabilität aus, welche beim vorliegenden Studiendesign aufgrund der Testung mit und ohne Prothese besonders wichtig ist (Fjaeldstad et al., 2015; Neumann et al., 2012; Wolfensberger et al., 2000).

Bei den „Sniffin‘ Sticks“ handelt es sich um Stifte, die mit in Propylenglycol gelösten Duftstoffen befüllt sind (Hummel et al., 2007). Hummel et al untersuchten 3 282 gesunde Probanden aller Altersklassen mit dem „Sniffin‘ Sticks“-Verfahren. Dies stellt eine große Normdatenbasis zum Vergleich zu in anderen Forschungsszenarien erhobenen Daten dar (Hummel et al., 2007).

Der „Sniffin‘ Stick“-Test besteht aus 3 Subtests für Diskrimination, Identifikation und Riechschwelle (Hummel et al., 2007, 1997), wobei die Identifikation (16 Stifte) und Diskrimination (16 Stiftetriplets) überschwellig getestet werden. Beim Identifikationstest werden je 16 Stifte mit verschiedenen alltäglichen und möglichst eindeutigen Düften einzeln unter die Nase gehalten. Um den Duft zu benennen, werden dem Teilnehmer je Stift 4 Beschreibungen zur Auswahl angeboten (z.B. Zwiebel, Sauerkraut Möhren, Knoblauch für Stift 9). Daher können Testwerte von 0-16 Punkten erreicht werden.

Beim Diskriminationstest werden dem Teilnehmer 16 Triplets angeboten, wobei ein Stift des Triplets einen anderen überschwelligen Duft hat als die anderen beiden Stifte. Der Teilnehmer wird aufgefordert, diesen anders riechenden Stick von den anderen beiden zu unterscheiden/zu diskriminieren.

Beide Tests bieten überschwellig bekannte Düfte an und sind daher kognitiv beeinflussbar bzw. bei Wiederholungen stellt sich ein Lerneffekt ein.

Um hingegen dies zu vermeiden bietet sich die Riechschwellentestung an. Jones-Gotman et al. und Moberg et al. fanden bei Patienten mit substantziellen zerebralen Defekten keine auffälligen Ergebnisse des Riechschwellentests, was als dessen periphere Spezifität interpretiert wurde (Jones-Gotman und Zatorre, 1988; Moberg, 1999). Lötsch et al. konnten ebenfalls zeigen, dass der Schwellentest am sensitivsten von allen drei Subtests eine Riechstörung anzeigt (Lötsch et al., 2008). Der Identifikations- und Diskriminationstest

scheinen zu einem größeren Grad als der Schwellen-test durch die zentrale Riechverarbeitung und die Gedächtnisleistung beeinflusst. So konnten beispielsweise Hornung et al. eine Assoziation zwischen einem schlechten Abschneiden im Identifikationstest und einer AIDS-assoziierten Demenz aufzeigen; für den Schwellentest ergab sich keine Assoziation zwischen dem Vorhandensein einer Demenz und dem Ergebnis (Hornung et al., 1998; Lötsch et al., 2008). Um diesen zentralnervösen Einfluss zu vermeiden, wurde während der Planung der Studie entschieden, nur den Subtest „Riechschwelle“ mit den „Sniffin‘ Sticks“ durchzuführen.

2.1.2 Subtest Riechschwelle mittels „Sniffin‘ Sticks“

Der Schwellentest besteht aus 16 Stiftetriplets, wovon jeweils ein Stift des Triplets mit N-Iso-Butanol in absteigender Konzentration (Triplet Nr.1: 4 %, Triplet Nr.16: 0,00012 %) befüllt ist. Die beiden anderen Stifte des Triplets enthalten hingegen jeweils nur das Lösungsmittel Propylenglycol. Die drei Stifte eines jeden Triplets (1x N-Iso-Butanol, 2x Lösungsmittel) wurden den Teilnehmern nacheinander in einer zufälligen Reihenfolge in einem Abstand von ca. 2 cm unter die Nase gehalten. Es sollte der mit N-Iso-Butanol gefüllte Stift des Triplets identifiziert werden. Gemäß der „forced-choice“-Technik mussten sie sich auch bei Unsicherheit für einen der drei Stifte entscheiden. Die Messung fand in einem gut belüfteten, ruhigen Raum statt. Die Augen der Probanden wurden verdeckt. Den Teilnehmern wurde als Vorbereitung der Stift mit der höchsten Konzentration von N-Iso-Butanol gereicht, um sich mit dem Duft von N-Iso-Butanol vertraut zu machen.

Danach wurde das Triplet Nummer 16 mit der niedrigsten N-Iso-Butanol Konzentration präsentiert. In aufsteigender Konzentrationsreihenfolge wurden den Teilnehmern weitere Triplets präsentiert, bis sie zweimal hintereinander den mit N-Iso-Butanol befüllten Stift im Triplet identifizieren konnten. Dieser Wert wurde in der Auswertungstabelle als Startpunkt der Messung notiert. Daraufhin wurde dem Patienten das Triplet mit der nächstniedrigeren Konzentration präsentiert und so lange in absteigender Konzentrationsreihenfolge weiter getestet, bis der Patient einen mit N-Iso-Butanol befüllten Stift nicht identifizieren konnte. Dies wurde als sogenannter Wendepunkt notiert.

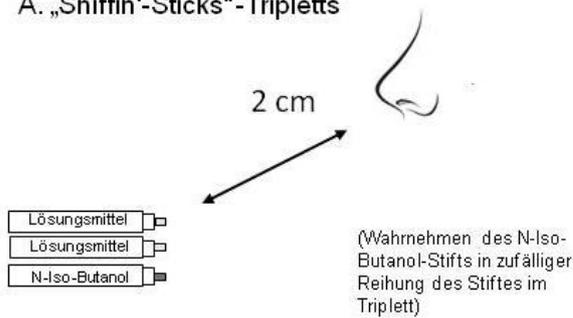
Danach wurde dem Teilnehmer wieder das Triplet mit der nächsthöheren Konzentration zur Testung gegeben und die Messung mit aufsteigender Konzentrationsreihenfolge weiter durchgeführt. Sobald erneut 2-mal hintereinander der N-Iso-Butanol-Stift erkannt und der Wert notiert wurde, ging es in umgekehrter Konzentrationsreihenfolge weiter (Abbildung 6). Dieser Vorgang wurde solange wiederholt bis 7 Messwerte erhoben waren. Die letzten 4 Messpunkte wurden dann zur Mittelwertberechnung herangezogen, welcher den ermittelten Riechschwellenwert darstellte (Abbildung 7). Maximal konnten 16 Punkte und minimal 1 Punkt erreicht werden.

Hummel et al veröffentlichten 2007 für die Altersgruppe > 55 Jahre Normdaten von 289 gesunden Probanden (Hummel et al., 2007). Im Mittel erreichten Männer dieser Altersgruppe $7,15 \pm 3,59$ Punkte (Median = 7,50, IQR₂₅₋₇₅ = 4,44 - 9,25) und Frauen $7,44 \pm 3,51$ Punkte (Median = 7,25, IQR₂₅₋₇₅ = 5,50 - 9,00).

Ein Messergebnis unterhalb der 10. Perzentile des Normkollektivs spricht für eine Hyposmie (Kobal et al., 2000). Dies entspricht in der erwähnten Veröffentlichung von Hummel et al. einem Messwert < 2,75 bei Frauen und < 2,25 bei Männern (Hummel et al., 2007).

Riechschwellentest

A. „Sniffin'-Sticks“-Tripletts



B. Beispielhafter Ablauf der Testung

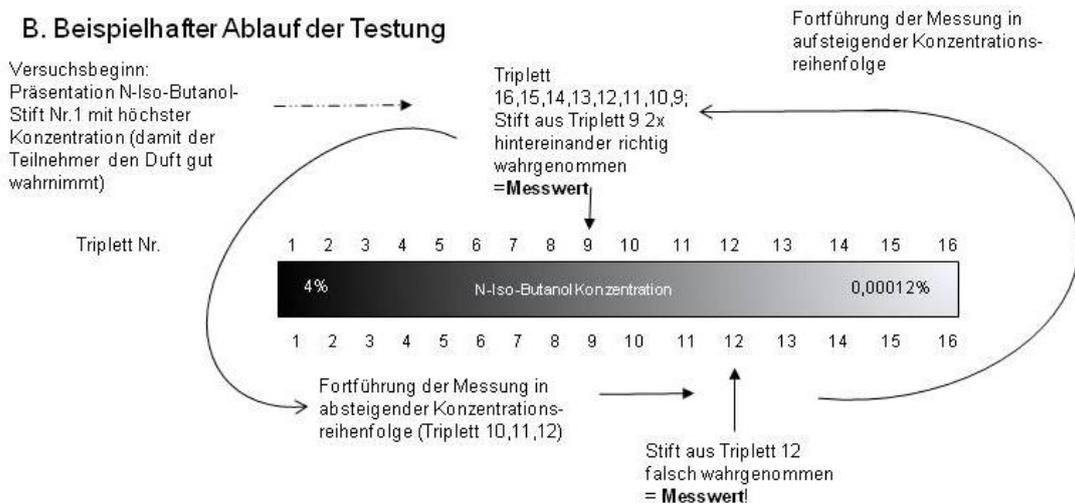


Abbildung 6: Grafische Darstellung des Ablaufs des Riechschwellentests mittels „Sniffin‘ Sticks“. **A:** Ein Stiftetriplett (insgesamt 16 Tripletts) bestand aus zwei mit Lösungsmittel gefüllten Stiftes und einem mit N-Iso-Butanol gefüllten Stift. Die Stiftes wurden den Probanden in einem Abstand von 2 cm unter die Nase gehalten. Der mit N-Iso-Butanol gefüllte Stift musste per „forced-choice“-Technik identifiziert werden. **B:** Die Messung begann mit Tripletts 1 und wurde in aufsteigender Konzentrationsreihenfolge fortgesetzt, bis der mit N-Iso-Butanol gefüllte Stift zweimal hintereinander richtig identifiziert wurde (1. Messwert). Dann wurde die Messung in absteigender Konzentrationsreihenfolge fortgesetzt, bis ein Tripletts falsch identifiziert wurde (Wendepunkt). Anschließend wurde wieder in aufsteigender Konzentrationsreihenfolge gemessen, bis der mit N-Iso-Butanol gefüllte Stift erneut richtig identifiziert wurde (2. Messwert). Diese Prozedur wurde solange wiederholt, bis 7 Messwerte erhoben waren. Die letzten vier Messpunkte wurden dann zur Mittelwertberechnung herangezogen, welcher das Ergebnis des Tests darstellte. (Eigene Darstellung).

Riechtest - Schwelle

Triplett-Nr							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9	++				++		
10			++				++
11						--	
12		--					
13				--			
14							
15							
16							

$$13+9+11+10 = 43$$

$$43:4 = \mathbf{10,75}$$

Abbildung 7: Auswertungsblatt des Riechschwellentests. In diesem Beispiel wurde der N-Iso-Butanol-Stift aus Triplett 9 zum ersten Mal zweimal hintereinander richtig wahrgenommen (Spalte 2: ++ = 1.Messwert). Im Folgenden wurden auch die Stifte aus Triplet 10 und 11wahrgenommen. Der Stift aus Triplett 12 wurde nicht richtig wahrgenommen (Spalte 3: --=2. Messwert) Dann wurde die Messung mit Triplett 11 fortgeführt, welches nicht richtig wahrgenommen wurde. Triplett 10 wurde dann wieder richtig wahrgenommen.

Nach diesem Muster wurde die Messung fortgeführt bis 7 Messwerte erhoben wurden. Die letzten 4 Messpunkte dienten zur Mittelwertberechnung; in diesem Fall 10,75 Punkte.

2.2 Schmecktest

Die Messung des Schmeckvermögens der Teilnehmer erfolgte mithilfe des „Taste Strips“-Test der Firma Burghart Messtechnik (Wedel, Deutschland). Es handelt sich um ein gut validiertes Verfahren (Mueller et al., 2003) und wird von der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Olfaktologie/ Gustologie empfohlen.

Die Schmeckstreifen sind ca. 8 cm lange Papierstreifen, deren Enden auf einer Fläche von ca. 2 cm² mit einer Lösung imprägniert sind. Das Test-Kit besteht aus 16 dieser Schmeckstreifen, wobei jeweils 4 Schmeckstreifen für die Prüfung der Schmeckqualitäten „süß“, „sauer“, „salzig“ und „bitter“ in verschiedenen Konzentrationen zur Verfügung stehen. Folgende Konzentrationen werden verwendet (Mueller et al., 2003):

süß: 0,4, 0,2, 0,1, 0,05 g/ml Saccharose

sauer: 0,3, 0,165, 0,09, 0,05 g/ml Citronensäure

salzig: 0,25, 0,1, 0,04, 0,016 g/ml Natriumchlorid

bitter: 0,006, 0,0024, 0,0009, 0,0004 g/ml Chininhydrochlorid

Für die Messung wurden den Teilnehmern die 16 Schmeckstreifen in randomisierter Reihenfolge und aufsteigender Konzentration gereicht. Es wurde eine Ganzmundtestung durchgeführt. Die Teilnehmer wurden gebeten die Schmeckstreifen auf die Zunge zu legen, den Mund zu schließen und dann die Schmeckqualität zu identifizieren.

Für jede richtig erkannte Schmeckqualität wurde ein Punkt vergeben. Bei 4 Schmeckqualitäten konnten daher je Einzelqualität 0 bis 4 Punkte und im Gesamttest 0 bis 16 Punkte erzielt werden.

Mueller et al. 2003 stellten in ihrer Arbeit Normdaten für die Ganzmundtestung mittels Taste Strips vor: süß: $3,3 \pm 0,8$ Punkte (Median = 4,0; IQR₁₀₋₉₀ = 2,0 - 4,0); sauer: $3,0 \pm 0,8$ Punkte (Median = 3,0; IQR₁₀₋₉₀ = 2,0 - 4,0); salzig: $3,1 \pm 0,9$ Punkte (Median = 3,0; IQR₁₀₋₉₀ = 2,0 - 4,0); bitter: $3,0 \pm 1,1$ Punkte (Median = 3,0; IQR₁₀₋₉₀ = 1,0 - 4,0); gesamt: $12,4 \pm 2,3$ Punkte (Median = 13,0; IQR₁₀₋₉₀ = 9,0 - 15,0). Ein Gesamtergebnis von weniger als 9 Punkten wurde als eine Hypogeusie betrachtet. Die Daten basieren auf den Ergebnissen von 69 relativ jungen Studienteilnehmern (29 Jahre im Mittel, 2 Probanden in der Altersgruppe 55 - 75 Jahre).

Weitere Daten für ein Normkollektiv bietet die Arbeit von Landis et al. 2009. Hier wurden 537 gesunde Probanden im Alter von 18 – 87 Jahren mit dem „Taste Strips“-Verfahren untersucht. Auch die Altersgruppe > 60 Jahre war mit 106 Personen noch relativ groß. Allerdings führten Landis et al. separate Testungen für die rechte und linke Seite der Zunge durch und addierten die jeweils erreichten Punktwerte. Daher konnte 0 bis 32 Punkte erreicht werden. Für Frauen (n = 55) ergab sich in dieser Gruppe durchschnittlich ein Ergebnis von $20,6 \pm 6,5$ Punkten (Median = 22; IQR₂₅₋₇₅ = 16,0 - 26,0) und für Männer (n = 51) $18,2 \pm 5,9$ Punkten (Median = 19; IQR₂₅₋₇₅ = 13,0 - 24,0). Werte unterhalb der 10. Perzentile wurden als pathologisch und verdächtig auf eine Hypogeusie angesehen. Dies entspricht in der Altersgruppe > 60 Jahre einem erreichten Gesamtergebnis von ≤ 10 Punkten (Landis et al., 2009). Eine genauere Aussage bezüglich der Messergebnisse für die einzelnen Schmeckqualitäten wurde leider nicht getroffen.



Abbildung 8: Darstellung der verwendeten Taste-Strips (links). Die Anwendung erfolgt bei Überprüfung des Ganzmund-Schmeckvermögens durch Auflegen der Taste-Strips auf die Zunge und Schließen des Mundes (rechts; Burghart Messtechnik GmbH, 2021). Mit freundlicher Genehmigung von Burghart Messtechnik GmbH, Wedel, Deutschland.

2.3 HNO-Fragebogen

Alle Patienten beantworteten vor Beginn der Testungen einen Fragebogen zur subjektiven Einschätzung ihres Riech- und Schmeckvermögens. Die Fragen sollten mithilfe einer visuellen Analogskala (VAS) von 0 (trifft überhaupt nicht zu) bis 100 (trifft voll zu) beantwortet werden. Hierzu wurde eine horizontale Linie verwendet, deren Anfang mit 0 und deren Ende mit 100 markiert wurde. Die Probanden sollten hierauf kennzeichnen, wie sie sich selbst einschätzen. Auf diese Weise wurde das subjektive Schmeck- und Riechvermögen sowie der Appetit erfragt. Auch die einzelnen Schmeckqualitäten wurden mittels VAS abgefragt, das heißt, ob Speisen gerne gesüßt oder stark gesalzen werden oder ob saure, bittere oder fettige Speisen bevorzugt werden. Ein bevorzugtes Süßen oder Salzen könnte als eine Einschränkung des Schmeckvermögens dieser Qualitäten interpretiert werden.

Ebenfalls mittels VAS wurden die Zufriedenheit mit der Passform der Zahnprothese, das Auftreten abnormen Speichelflusses, Zungenbelag und parodontitische Beschwerden abgefragt. Mittels direkter Fragen wurden Größe, Gewicht, BMI, Begleiterkrankungen, Medikamenteneinnahme und Nikotinkonsum dokumentiert. Der verwendete Fragebogen findet sich im Anhang.

Bei der Erhebung der Antworten wurde keine Unterscheidung zwischen der Selbsteinschätzung mit oder ohne Prothese gemacht.

2.4 Statistische Auswertung

Zum Vergleich der Ergebnisse des Riechschwellentests sowie der Ergebnisse des Schmecktests jeweils mit und ohne Prothese wurde der gepaarte Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test genutzt. Bei den vorliegenden Daten handelt es sich um nicht normalverteilte Daten. Dies wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft. Die Ergebnisse mit und ohne Prothese sind nicht unabhängig, da dieselben Personen getestet wurden.

3 Ergebnisse

3.1 Riechvermögen mit und ohne Prothese

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Testergebnis des Riechschwellentests MP (= mit Prothese) und OP (= ohne Prothese; $p < 0,0001$). Der Median des Schwellenwertes OP (Median = 7,75, $IQR_{25-75} = 6,0 - 9,0$) lag 1,25 Punkte ($IQR_{25-75} = 0,25 - 2,15$) über dem Medianwert MP (Median = 6,75, $IQR_{25-75} = 4,75 - 7,75$). Da die Messwerte für MP und OP nicht unabhängig voneinander sind (dieselben Personen wurden unter unterschiedlichen Bedingungen getestet) wurde der gepaarte Wilcoxon-Rang-Vorzeichen-Test genutzt.

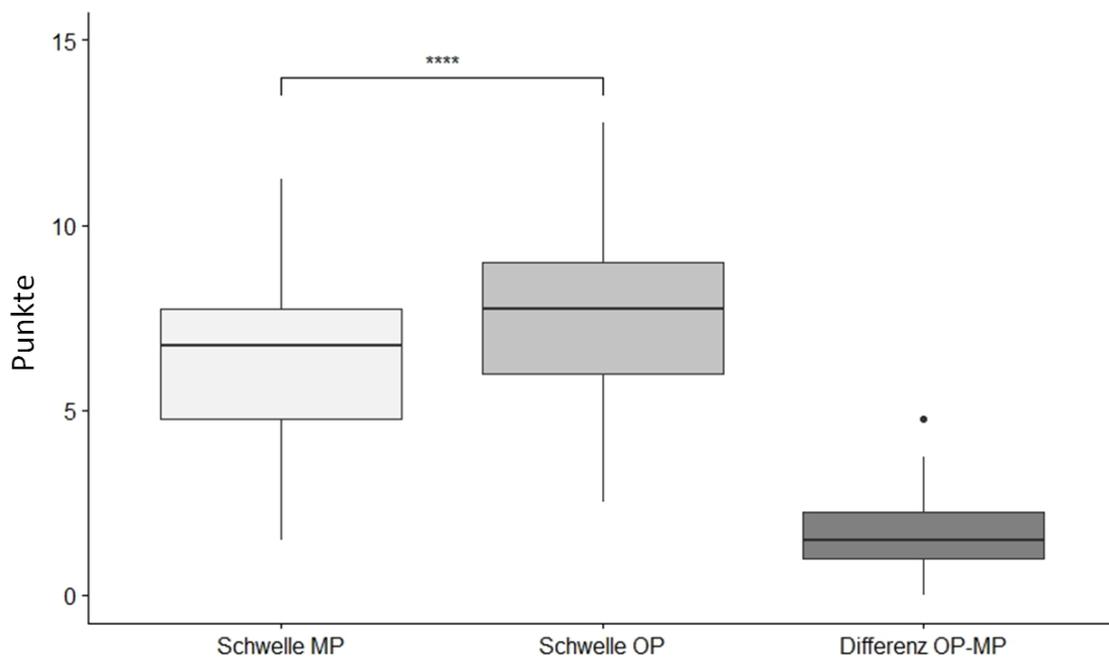


Abbildung 9: Ergebnisse Riechschwellentest

Die Grafik zeigt die Ergebnisse des Riechschwellentests MP (Median = 6,75, $IQR_{25-75} = 4,75 - 7,75$) und OP (Median = 7,75, $IQR_{25-75} = 6,0 - 9,0$) sowie die Differenzwerte OP und MP (Median = 1,25, $IQR_{25-75} = 0,25 - 2,15$) als Boxplot-Diagramme. Die horizontale Linie markiert den Median. Die Boxen schließen den 25 % - 75 % Quartilsabstand (ICR) ein. Die Whisker schließen die 10. und 90. Perzentile ein. Ausreißer sind als Punkt dargestellt; Gruppenvergleiche wurden mit dem gepaarten non-parametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Signifikante Unterschiede sind durch Sternchen gekennzeichnet (**** $p < 0,0001$).

3.2 Schmeckvermögen mit und ohne Prothese

Es zeigte sich beim Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahlen des Schmecktests mit den Taste Strips MP (Median = 8, IQR₂₅₋₇₅ = 8,0 - 12,0) und OP (Median = 10, IQR₂₅₋₇₅ = 11,0 - 13,0) ein signifikant schlechterer Testwert im Gesamtscore MP ($p < 0,001$).

Bezüglich der einzelnen Schmeckqualitäten ergab sich für „süß“-MP (Median = 4, IQR₂₅₋₇₅ = 3,0 - 4,0) und für „süß“-OP (Median = 4, IQR₂₅₋₇₅ = 3,0 - 4,0) sowie für „sauer“-MP (Median = 3, IQR₂₅₋₇₅ = 2,0 - 3,0) und für „sauer“-OP (Median = 3, IQR₂₅₋₇₅ = 2,0 - 3,0) kein signifikanter Unterschied.

Die Schmeckqualität „bitter“ wurde MP (Median = 3, IQR₂₅₋₇₅ = 1,0 - 3,0) signifikant ($p = 0,002$) schlechter geschmeckt als OP (Median = 3, IQR₂₅₋₇₅ = 3,0 - 4,0). Die Qualität „salzig“ wurde MP (Median = 2, IQR₂₅₋₇₅ = 1,0 - 3,0) ebenfalls signifikant ($p = 0,001$) schlechter geschmeckt als OP (Median = 3, IQR₂₅₋₇₅ = 1,0 - 4,0).

Beim Vergleich der intraindividuellen Differenzen OP - MP der erreichten Punktzahlen im Test für die einzeln untersuchten Qualitäten sowie des Gesamtwerts ergab sich für „süß“ im Mittel eine Differenz von ~ 0,05 Punkten, für „sauer“ von ~ 0,07 Punkten, für „salzig“ von ~ 0,61 Punkten und für „bitter“ ebenfalls von ~ 0,61 Punkten, sowie gesamt von ~ 1,34 Punkten.

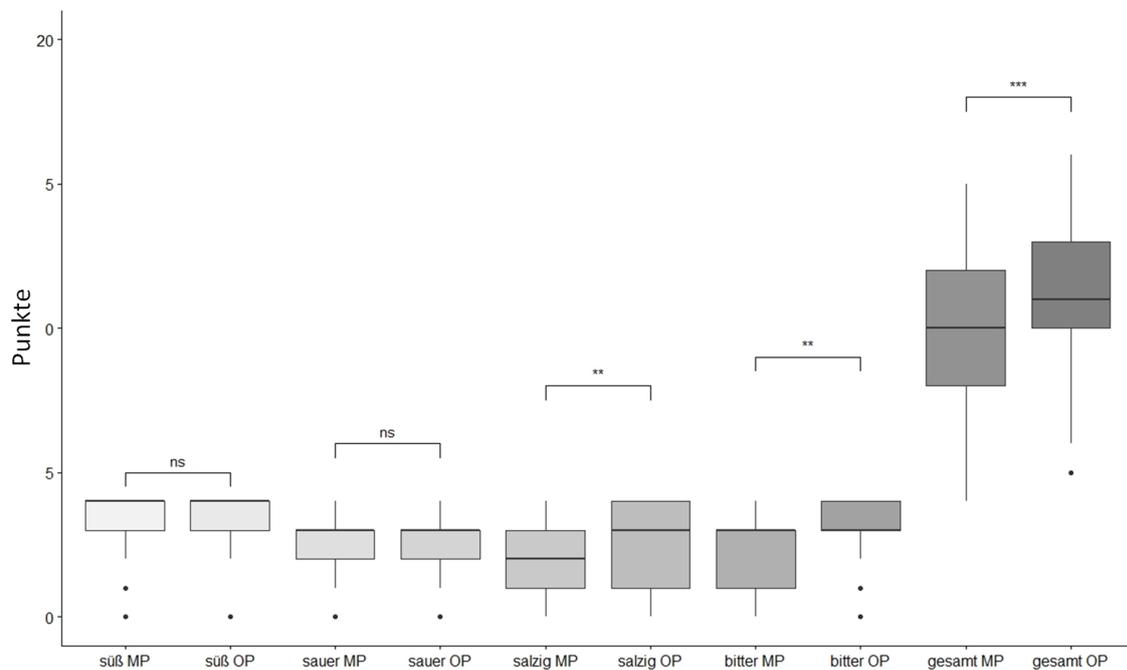


Abbildung 10: Ergebnisse „Taste Strips“

Die Boxplots zeigen die Testergebnisse für die Qualitäten „süß“, „sauer“, „salzig“, „bitter“ und die Gesamtwerte mit Prothese (MP) und ohne Prothese (OP). Die Box-Whisker-Plots zeigen die Ergebnisse der Gruppen einschließlich des Medians (horizontale Linie), der Quartillen (Grenzen der Box), der 10. und 90. Perzentile (Whisker) und Ausreißer (Punkte). Gruppenvergleiche wurden mit dem gepaarten non-parametrischen Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Signifikante Unterschiede wurden mit Sternchen markiert (* $p < 0.01$, ** $p < 0.001$, *** $p < 0,0001$, ns = nicht signifikant).

3.3 Einfluss der erhobenen Patientenmerkmale auf das Testergebnis

Die per Fragebogen erhobenen Merkmale bzw. Charakteristika der Patienten wurden mittels der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten Kendall's Tau auf ihren Einfluss auf das Ergebnis sowohl des Schmecktests als auch des Riechschwellentests überprüft. Kendall's Tau als Maß der Korrelation ist unempfindlich gegenüber Ausreißern, daher eignet es sich besonders für kleine, nicht normalverteilte Gruppen bzw. Datensätze. Ein Wert von -1 würde eine genau gegensätzliche Korrelation (negative Korrelation) und ein Wert von +1 eine komplett gemeinsame Korrelation (positive Korrelation) anzeigen.

Angesichts des Studiendesigns mit intraindividuelle Testung ohne randomisierte Kontrollgruppe wurde die Differenz des Testergebnisses OP - MP als Bezug für die Berechnung des Korrelationskoeffizienten ausgewählt. Ein Korrelationskoeffizient von +1 würde aussagen, dass ein bestimmtes Merkmal mit einer großen Punktdifferenz zwischen OP und MP einhergeht; ein Korrelationseffizient von -1 würde aussagen, dass ein bestimmtes Merkmal mit einer kleinen Differenz zwischen OP und MP einhergeht.

Die nachfolgende Tabelle 3 ist eine Matrix, in der die Korrelationskoeffizienten (Kendall's Tau) des jeweiligen Patientenmerkmals und der Differenz des Testergebnisses OP - MP der jeweiligen Kategorie aufgeführt sind. Die Werte befinden sich im Bereich von +0,2 und -0,2, d.h., es besteht allenfalls eine sehr schwache Korrelation zwischen den untersuchten Merkmalen und den Differenzen der Testergebnisse OP - MP.

Zur Überprüfung einer möglichen statistischen Signifikanz wurde der non-parametrische Signifikanztest, der Kendall-Mann-Test verwendet. Die p-Werte sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit aufgeführt. Die p-Werte lagen alle außerhalb des Signifikanzniveaus von -0,05 bis +0,05 und somit ist keiner der aufgeführten Korrelationskoeffizienten signifikant.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die aufgeführten Patientenmerkmale keinen signifikanten Einfluss auf die Differenz OP - MP haben und die gewählte intraindividuelle Testmethode tatsächlich nur den Einfluss der Zahnprothese auf die Ergebnisse im Riech- und Schmecktest abbildet.

Tabelle 6: Einfluss der erhobenen Patientenmerkmale auf das Ergebnis OP - MP. Die Zahlenwerte entsprechen Kendall's Tau als Maß der Korrelation. Die jeweiligen p-Werte lagen alle außerhalb des Signifikanzniveaus und sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mit aufgeführt. Keine der aufgeführten Zusammenhänge zeigten eine statistisch signifikante Korrelation. (UK = Unterkiefer, BMI = Body-Mass-Index)

	Schwellentest	Schmecken gesamt	bitter	süß	salzig	sauer
Geschlecht	-0,086	0,158	0,124	0,209	0,056	0,020
Rauchen	0,165	0,158	-0,171	-0,011	-0,159	0,197
UK-Prothese	0,105	0,122	0,082	-0,012	0,089	-0,066
Alter	0,053	0,078	0,197	0,082	0,065	-0,091
BMI	-0,114	0,112	0,076	0,135	0,093	-0,024
Parodontitis	0,26	-0,075	0,03	-0,14	-0,15	0,16
Zungenbelag	-0,03	-0,02	0,12	-0,17	0,11	-0,00
Passende Prothese	-0,01	0,06	-0,01	0,02	0,02	-0,04

3.4 Ergebnisse des HNO Fragebogens

Die Ergebnisse des HNO-Fragebogens finden sich in Abbildung 11. Die Mehrheit der Teilnehmer schätzten ihr subjektives Riechvermögen (Median = 100, $IQR_{25-75} = 70 - 100$), ihr subjektives Schmeckvermögen (Median = 100, $IQR_{25-75} = 80 - 100$) und den Appetit (Median = 90, $IQR_{25-75} = 80 - 100$) als „sehr gut“ bzw. „ohne Einschränkungen“ auf einer visuellen Analogskala ein. Bei der Vorliebe für individuelle Schmeckrichtungen ergab sich ein differenziertes Bild mit größeren Varianzen. Am größten war die Bevorzugung von süßen, salzigen und sauren Speisen. Fettige und bittere Speisen waren weniger beliebt. Die Varianzen sind interindividuell groß:

süß: Median = 50, $IQR_{25-75} = 10 - 70$;

salzig: Median = 50, $IQR_{25-75} = 25 - 60$;

fettig: Median = 30, $IQR_{25-75} = 5 - 60$;

bitter: Median = 10, $IQR_{25-75} = 0 - 50$;

sauer: Median = 50, $IQR_{25-75} = 20 - 70$.

27 % gaben ihren höchsten Wert auf der VAS für ein Süßen der Speisen an, 22 % für ein Salzen, 20 % bevorzugten fettige Speisen auf der VAS, 12 % bittere sowie 24 % saure Speisen. Die Summe der Anteile ist größer als 100 %, da bei gleichem Wert der VAS für zwei oder drei Schmeckqualitäten alle zwei oder drei Geschmacksqualitäten als bevorzugt gewertet wurden.

Die Einschätzung der Speichelproduktion zeigte eine große Varianz, wobei die Hälfte der Teilnehmer ($n = 20$) keine subjektive Überproduktion von Speichel angab (Median = 20, $IQR_{25-75} = 0 - 70$). Die meisten Teilnehmer waren mit der Passform ihrer Prothesen zufrieden (Median = 100, $IQR_{25-75} = 80 - 100$). Zungenbelag (Median = 0, $IQR_{25-75} = 0 - 10$) und Parodontitis (Median = 0, $IQR_{25-75} = 0 - 10$) wurden selten angegeben.

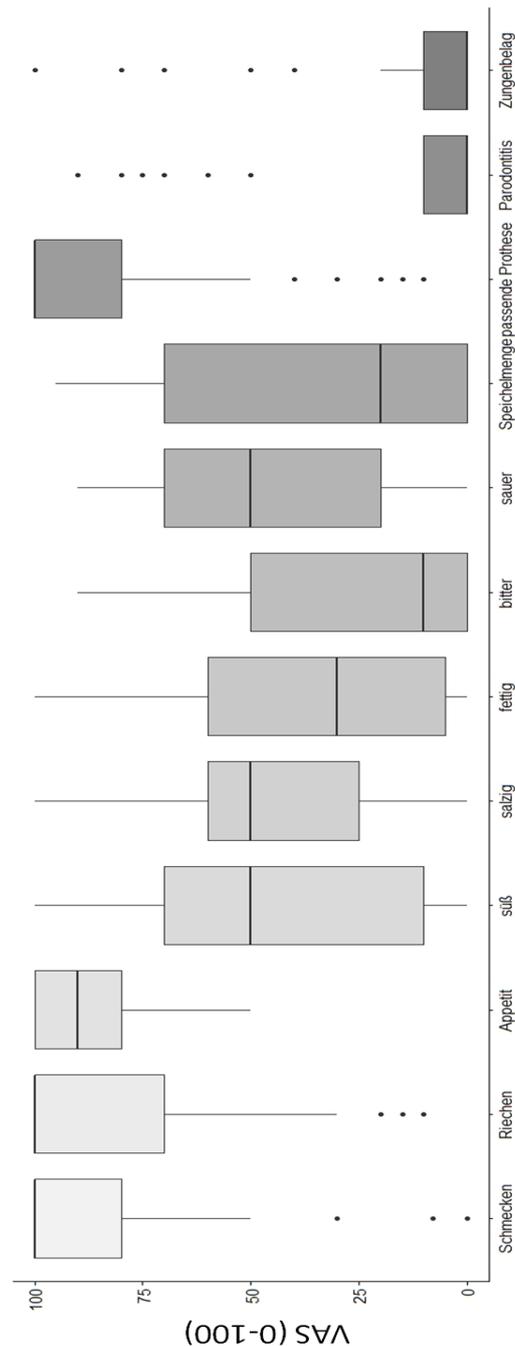


Abbildung 11: Ergebnisse HNO-Fragebogen. Die Boxplots zeigen die Ergebnisse des HNO-Fragebogens für die subjektive Einschätzung des Schmeckens (Schmecken), des Riechens (Riechen), des Appetits, ob Speisen gern gesüßt werden (süß), ob Speisen gern gesalzen werden (salzig), ob fettige, bittere oder saure Speisen bevorzugt werden (fettig, bitter, sauer), der Speichelmenge, dem Passen der Prothese, dem Grad an Parodontitis und des Zungenbelags. Die Box-Whisker-Plots zeigen die Ergebnisse der Gruppen einschließlich des Median (horizontale Linie), der Quartillen (Grenzen der Box), der 10. und 90. Perzentile (Whisker) und Ausreißer (Punkte). VAS = Visuelle Analogskala

3.5 Korrelation der Selbsteinschätzung (VAS) mit den Werten der Riechschwellentestung und den Schmecktestwerten

Die mittels VAS-Skala erhobenen Werte zur Selbsteinschätzung der Teilnehmer wurden mittels Bestimmung des Korrelationskoeffizienten Kendall's Tau auf ihren Einfluss auf die Ergebnisse des Riechschwellentest als auch des Schmecktests überprüft. Ein Ergebnis von +1 würde aussagen, dass ein bestimmtes Merkmal mit einem guten Testergebnis einhergeht; ein Ergebnis von -1 würde aussagen, dass ein bestimmtes Merkmal mit einem schlechten Testergebnis einhergeht. Die Korrelationskoeffizienten befinden sich alle im Bereich zwischen 0,2 und -0,2, d.h es besteht allenfalls eine schwache Korrelation zwischen der subjektiven Selbsteinschätzung und den Testergebnissen OP und MP. Zur Überprüfung der statistischen Signifikanz wurde der Kendall-Mann-Test verwendet. Die ermittelten p-Werte lagen alle außerhalb des Signifikanzniveaus von -0,05 bis 0,05.

Somit ist die Selbsteinschätzung der Patienten kein verlässlicher Parameter für die tatsächlich erzielten Ergebnisse im Riechschwellen- und Schmecktest.

Tabelle 7: Diese Tabelle zeigt die Korrelationskoeffizienten (Kendall's Tau) und die zum Koeffizienten gehörigen p-Werte zwischen den Ergebnissen des Riechschwellentests und der Schmecktest ohne Prothese (OP) und mit Prothese (MP) und der subjektiven Einschätzung der Riech- und Schmeckfähigkeiten der Probanden. Keine Korrelation war signifikant (vgl. Spalte „p“).

Ergebnis Testung	Ergebnis Fragebogen	Kendall's Tau	p
Riechschwelle OP	Riechen subjektiv	0,19	0,24
Süß OP	Süß subjektiv	0,17	0,29
Salzig OP	Salzig subjektiv	-0,20	0,20
Sauer OP	Sauer subjektiv	0,05	0,74
Bitter OP	Bitter subjektiv	-0,10	0,55
Riechschwelle MP	Riechen subjektiv	0,15	0,22
Süß MP	Süß subjektiv	0,23	0,07
Salzig MP	Salzig subjektiv	-0,10	0,38
Sauer MP	Sauer subjektiv	0,07	0,56
Bitter MP	Bitter subjektiv	-0,15	0,23

3.6 Vergleich der Ergebnisse des Riechschwellentests mit Normdatenkollektiv von Hummel et al. 2007

Hummel et al. erhoben für den Sniffin' Sticks-Test Normdaten von einem 3 282 Personen umfassenden Probandenkollektiv (Hummel et al., 2007). Bezüglich des Riechschwellentests liegen aus dieser Publikation Daten von 289 Probanden über 55 Jahre vor. Hiervon sind 147 Frauen (50,9%) und 142 Männer (49,1%). Das in der vorliegenden Arbeit untersuchte Patientenkollektiv besteht zu 44% aus Frauen und zu 56% aus Männern. Somit ist hinsichtlich der Geschlechtsverteilung eine gute Vergleichbarkeit gegeben. Hummel et al. machen keine Aussage über das Durchschnittsalter ihrer Studienteilnehmer. Das Durchschnittsalter des in der vorliegenden Studie untersuchten Patientenkollektivs betrug 71,6 Jahre.

Zwischen der 25. und 75. Perzentile lagen die erhobenen Ergebnisse im Wesentlichen im Bereich der Daten des Normkollektivs. Allerdings zeigte sich für OP eine leicht höhere Punktzahl als im Normkollektiv und für MP eine leicht niedrigere Punktzahl als im Normkollektiv. In den Randbereichen bis zur 25. bzw. über der 75. Perzentile wichen die Messergebnisse stark von denen des Normkollektivs ab. Es wurden die Gesamtheit, also Männer und Frauen, der jeweiligen Kollektive miteinander verglichen.

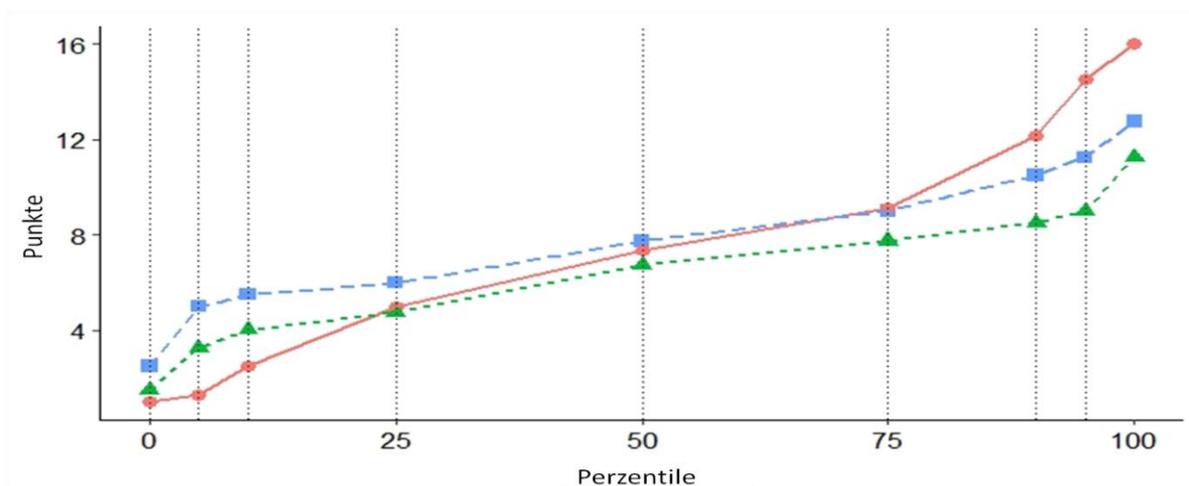


Abbildung 12: Vergleich mit den Normwerten vom Hummel et al. 2007

Die Grafik zeigt die Verteilung der Punkte der Gesamtergebnisse des Riechschwellentests mit den Sniffin' Sticks MP (▲) und OP (■) auf den Perzentilen (0, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95, 100) im Vergleich mit verfügbaren Normdaten aus Hummel et al. 2007 (●). OP = ohne Prothese; MP = mit Prothese.

3.7 Vergleich der Ergebnisse des Taste Strips-Tests mit Normdaten von Mueller et al. 2003 und Landis et al. 2009

Für die in dieser Studie verwendeten Taste Strips existieren Normdaten aus zwei klinischen Reihentestungen. Mueller et al. testeten 69 Probanden (36 weiblich und 33 männlich, 15 - 75 Jahre alt, im Mittel 29 Jahre alt) analog zu vorliegenden Studie mit einer Ganzmundtestung (Mueller et al., 2003). Landis et al. führten bei insgesamt 55 Frauen und 51 Männern über 60 Jahren eine seitengetrennte Testung der Zunge mittels den Taste Strips durch (Landis et al., 2009). Um diese Daten mit den Daten dieser Studie zu vergleichen, wurden die Punktwerte von Landis halbiert. Der Median des Alters unseres Kollektivs betrug 73,0 Jahre ($IQR_{25-75} = 66,0 - 76,0$). Da beide Publikationen keine kompletten Datensätze zur Verfügung stellten, wurde die Verteilung der Daten anhand der Perzentilen mit Ergebnissen OP und MP verglichen. (vgl. Abb. 13). Es zeigte sich, dass die 25., 50. und 75. Perzentile der Testung MP nah an den Daten von Landis et al. lagen. OP lagen die gemessenen Ergebnisse über den erreichten Punktzahlen von Landis et al., aber unter den Ergebnissen des wesentlich jüngeren Kollektivs von Mueller et al.

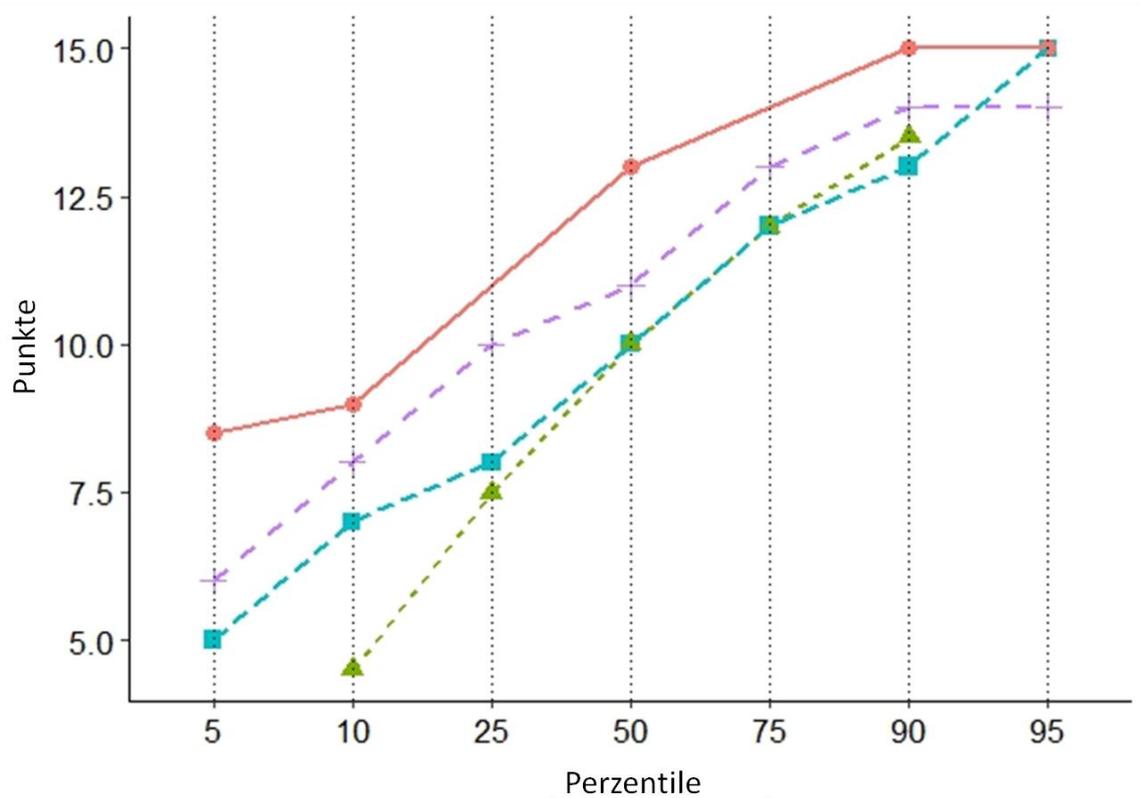


Abbildung 13: Vergleich der Ergebnisse des Taste Strips-Tests mit Normdaten Mueller et al. 2003 und Landis et al. 2009

Die Grafik zeigt die Verteilung der Punkte MP (■) und OP (+) auf den Perzentilen (5, 10, 25, 50, 75, 90, 95) im Vergleich mit verfügbaren Normdaten aus Mueller et al. 2003 (●) und Landis et al. 2009 (▲). Die Daten von Landis et al. wurden in der originalen Publikation aus einer bilateralen Testung generiert. Zum Vergleich mit den in unserer Studie erhobenen Daten wurden die Werte aus Landis et al. halbiert. Mueller et al. gaben in ihrer Publikation die Perzentilen 5, 10, 50, 90, 95 an; Landis et al. die Perzentilen 10, 25, 50, 75, 90. OP = ohne Prothese; MP = mit Prothese

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie zeigt sich intraindividuell, dass das Tragen von Zahnprothesen sowohl den Riechschwellenwert als die Werte des Schmecktests („Taste Strips“) signifikant herabsetzt. Werden die einzelnen Schmeckqualitäten separat angeschaut, zeigt sich ein herabgesetztes Schmeckvermögen bei den Qualitäten „bitter“ und „salzig“, nicht jedoch bei den Qualitäten „süß“ und „sauer“.

Zusätzlich zu der Verbesserung der Ergebnisse OP im Vergleich zu MP im intraindividuellen Setting zeigte sich auch im Vergleich zu den Normdatensammlungen von Hummel und Landis bei graphisch deskriptiver Betrachtung die Tendenz, dass die Messergebnisse OP besser waren als die des Normkollektivs. Aufgrund der nicht vorliegenden Rohdatensätze der Arbeiten von Hummel, Müller und Landis konnte kein statistischer Vergleich durchgeführt werden. Aus den genannten Publikationen geht nicht hervor, ob Zahnprothesenträger unter den Probanden waren. Allerdings wurde dies nicht als Ausschlusskriterium aufgeführt, und somit ist davon auszugehen, dass in den von Hummel und Landis untersuchten Altersgruppen (> 55 Jahre und > 60 Jahre) auch Zahnprothesenträger vorhanden waren.

4.1 Mögliche Ursachen für Änderungen des Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern

4.1.1 Orale Temperaturveränderungen durch Zahnprothesen

Es ist eine Vielzahl von Mechanismen denkbar, wie Zahnprothesen die olfaktorische-gustatorische Wahrnehmung beeinflussen können.

Es wird angenommen, dass das Tragen einer gaumenbedeckenden Zahnprothese zu einer Temperaturerhöhung unter deren Deckplatte und im gesamten Mundraum (Maeda et al., 1979) führen kann. Temperaturänderungen der Prothesendeckplatte werden nachweislich auf die Gaumenschleimhaut übertragen, wobei dieser Effekt je nach verwendetem Material unterschiedlich ausgeprägt ist (Kapur et al., 1981).

Die Temperatur wiederum scheint einen Einfluss auf die Perzeption des Schmeckvermögens zu haben (Kim et al., 2015; Talavera et al., 2006). Verschiedene Temperaturen führen zu unterschiedlich starker neuraler

Erregung bei Stimulierung der Schmeckrezeptoren. Es konnte im Maus-Experiment nachgewiesen werden, dass die durch Stimulation der Rezeptoren TRPM5 und TRPM4 ausgelöste Erregung der nachgeschalteten afferenten Schmeckfasern desto stärker ausfiel, je höher die Temperatur eingestellt wurde (Talavera et al., 2005). TRPM4 und TRPM5 sind für die Rezeption von süßen Schmeckstimuli verantwortlich. Allerdings scheinen solche temperaturabhängigen Effekte von Schmeckqualität zu Schmeckqualität und Schmeckstoff zu Schmeckstoff unterschiedlich ausgeprägt zu sein.

Elektrogustometrische Messungen konnten ebenfalls eine Temperaturabhängigkeit der nervalen Erregung durch süße und zusätzlich durch salzige Stimuli nachweisen (Li et al., 2015). Interessanterweise war die Veränderung der nervalen Antwort auf süße Stimuli bei fallender Temperatur (von 35°C auf 25°C) nur gering ausgeprägt. Diese Beobachtung spiegelt sich ebenfalls in der durchgeführten Testung wieder, bei welcher nach dem Herausnehmen der Prothese eine Abkühlung der oralen Mukosa postuliert werden kann. Es konnte kein Unterschied beim Schmecken der Schmeckqualität „süß“ MP und OP nachgewiesen werden.

Bei salzigen Stimuli in gekühlter Form reichte eine niedrigere Konzentration um nervale Antworten zu evozieren, was wiederum die in dieser Studie beobachteten besseren Messergebnisse ohne Prothese für die Schmeckqualität „salzig“ erklären könnte. Askwith et al. (2001) zeigten auch auf Rezeptorebene eine Temperaturabhängigkeit von EnaC-Kanälen, was durch mehrere Arbeiten bestätigt wurde (Awayda et al., 2004; Chraïbi et al., 2003). Der Einstrom von Na⁺-Ionen war bei niedrigeren Temperaturen höher als bei wärmeren Temperaturen. EnaC-Kanäle spielen nachgewiesenermaßen eine entscheidende Rolle bei der Perzeption von salzigen Schmeckstimuli.

Fujiyama et al. (2017) konnten letztlich auch klinisch bei einem Kollektiv von 249 jungen, gesunden Probanden eine Verbesserung der Schmeckwahrnehmung für gekühlte Stimuli für alle Schmeckqualitäten nachweisen. Im Umkehrschluss zu der Beobachtung, dass niedrigere Temperaturen mit verbesserter Schmeckwahrnehmung einhergehen, könnte eine Temperaturerhöhung unter der Deckplatte von Zahnprothesen für die schlechtere Schmeckwahrnehmung von Zahnprothesenträgern verantwortlich sein.

Auch ohne Stimulation von Schmeckrezeptoren führen Temperaturveränderungen im Mund zu Schmeckeindrücken. So führen eine Erwärmung der Schleimhaut zu eher „süßen“ Assoziationen und eine Kühlung der Schleimhaut zu „salzig-sauren“ Eindrücken (Cruz und Green, 2000).

Eine erhöhte Temperatur unter der Gaumenplatte der Prothesen wäre zum einen durch den Stau der von der Schleimhaut ausgehenden Körperwärme zu erklären. Zum anderen könnten aber auch zusätzliche Faktoren, wie Entzündungen kleinster, durch die Prothesenplatte verursachte Läsionen oder durch simplen mechanischen Druck provozierte lokale Hyperämien zu einer Temperaturerhöhung führen (Dorey et al., 1985).

Andere Untersuchungen zur Durchblutung der oralen Mukosa nach Insertion von Zahnprothesen zeigen, dass die Durchblutung in den ersten Tagen nach Insertion signifikant abnimmt, sich nach mehreren Monaten aber wieder erholt (Atasever et al., 1991; Binsu et al., 2017; Kocabalkan und Turgut, 2005; Xiao und Den, 1997). Der genaue Mechanismus einer Temperaturerhöhung unter der Gaumenplatte von Zahnprothesen bleibt, genauso wie eine genaue Quantifizierung dieser Temperaturerhöhung, unklar.

4.1.2 Auswirkungen von Zahnprothesen auf das trigeminale System

Ein weiterer denkbarer Mechanismus, wie Zahnprothesen einen Einfluss auf das Schmecken haben könnten, ist die Beeinflussung somatosensorischer Afferenzen aus dem Mundraum. Es gibt starke neurophysiologische Hinweise auf eine Konvergenz von somatosensorischen Afferenzen und Schmeckafferenzen auf Hirnstammebene. Im Tiermodell konnte gezeigt werden, dass Bahnen des N. trigeminus gemeinsam bzw. überlappend mit Anteilen der Chorda tympani zum Nucleus tractus solitarius (Contreras et al., 1982) ziehen. Eine neurophysiologisch funktionelle Studie konnte zeigen, dass die Erregung von im Nucleus tractus solitarius gelegenen Neuronen, welche die Schmeckwahrnehmung vermitteln, bei chirurgischer Unterbrechung der trigeminalen Afferenz vermindert war (Boucher et al., 2003). Zusätzlich weisen fMRT-Untersuchungen auf weitere Konvergenz und Integration von somatosensiblen und Schmeckafferenzen auf kortikaler Ebene hin (Cerf-Ducastel et al., 2001; Mascioli et al., 2015).

Verschiedene neuroanatomische Untersuchungen an Säugetieren fanden besonders viele sensorische Nervenendigungen in der Gaumenregion, woraus sich schließen lässt, dass der Gaumen eine neurophysiologisch sehr sensible Region ist (Halata et al., 1999; Werf et al., 1982). Ein ständiger Druckreiz, der von einer Zahnprothese mit Gaumenplatte auf diese Region ausgeübt wird, könnte dort zu Adaptionsprozessen der somatosensorischen Rezeptoren führen, um eine ständige (Über-)Stimulation zu verhindern. Dies könnte sekundär auch die zentrale Verarbeitung von Schmeckafferenzen aufgrund von Konvergenzen im Hirnstamm und Kortex beeinflussen. Gestützt wird diese These durch eine Untersuchung von Ishizaki et al. Hier konnte im Tiermodell eine statistisch signifikante Abnahme der Anzahl von Merkel-Zellen (Druckrezeptoren) in der Mukosa des Gaumens und damit wahrscheinlich eine Reduktion der gesamten Drucksensibilität des Gaumens von Hamstern als Reaktion auf kontinuierliche mechanische Stimulation beobachtet werden (Ishizaki et al., 2006).

Auch die Mukosa der Alveolarkante ist in ihrer Eigenschaft als Auflagepunkt von Zahnprothesen ständiger Druckbelastung ausgesetzt. Dies beeinflusst die nervale Antwort der vorhandenen sensorischen Nervenendigungen, welche ebenfalls trigeminaler Natur sind. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Erregungsschwellen dieser Nervenendigungen bei Zahnprothesenträgern höher waren als bei Zahngesunden (Kimoto et al., 2013, 2008). Diese Tatsache könnte durch das Modell der trigemino-gustatorischen Konvergenz ebenfalls zu einer Veränderung der Schmeckwahrnehmung beitragen.

Ein weiterer Untersuchungsgegenstand, welcher letztlich auf das trigeminale System abzielt, ist die orale Stereognosie. Dieser Begriff beschreibt den Sinneseindruck, der durch die Stimulation von somatosensorischen und/oder propriozeptiven Rezeptoren im Mundraum und der Weiterverarbeitung dieser Information im zentralen Nervensystem bewusst oder unbewusst entsteht (Batisse et al., 2017). Er bezeichnet somit die Erkennung der Beschaffenheit von Nahrung (Oberfläche, Form, Temperatur etc.). Es konnte gezeigt werden, dass unterschiedlich beschaffene Prothesenoberflächen die Erkennung von Nahrung beeinflussen (Tanaka et al., 2008). Untersuchungen mit Zahnprothesenmodellen mit einer kleinen Öffnung über dem weichen Gaumen

verbesserten sogar die Fähigkeit Nahrung zu erkennen (Koike et al., 2011). Andere Untersuchungen zur oralen Stereognosie zeigten dagegen keinen Einfluss von Zahnprothesen auf das Erkennen von Nahrung oder Gegenständen (Garrett et al., 1994; Grasso und Catalanatto, 1979). Ein stets zu berücksichtigender Einflussfaktor sollte die Tatsache sein, dass Zahnlosigkeit bzw. Zahnextraktionen an sich zu somatosensorischen Defiziten und zu Schmeckdefiziten führen (Boucher et al., 2006).

Somit bleibt der direkte Einfluss von Zahnprothesen auf die Stereognosie unklar. Nichtsdestotrotz stützen diese Beobachtungen die These, dass Zahnprothesen das trigeminale System beeinflussen. Über den oben beschriebenen Mechanismus der neurophysiologischen Konvergenz ist auch eine Modifikation der Schmeckwahrnehmung denkbar.

4.1.3 Zahnprothesen als räumliche Barriere zwischen Stimulus und Rezeptor

Des Weiteren ist es denkbar, dass die primäre Aktivierung von Schmeckrezeptoren durch die räumliche Abdeckung von Teilen der Mukosa durch die Prothese verschlechtert wird. Die Frage, ob am Gaumen überhaupt Schmeckrezeptoren in signifikanter Zahl und Funktion vorhanden sind, wird allerdings nur von wenigen Autoren behandelt. Jedoch konnte sowohl histologisch (Nilsson, 1979; Paulsen et al., 1998) als auch elektronen-mikroskopisch (Imfeld und Schroeder, 1992) das Vorkommen einzelner Schmeckknospen am weichen Gaumen nachgewiesen werden. Auch englischsprachige Lehrbücher beschreiben das Vorhandensein von Schmeckrezeptoren am Übergang vom harten zum weichen Gaumen (Simpson, 2018).

Hammond und al. (1983) konnten in einer kleinen Studie nachweisen, dass Affektionen des Gaumens, zum Beispiel durch chirurgische Eingriffe, durch Gaumenspalten, aber auch durch den Gaumen bedeckende Zahnprothesen (n = 3), zu erhöhten Schmeckschwellen führten. Dies führten die Autoren auf die Beeinträchtigung von Schmeckrezeptoren am Gaumen zurück (Hammond et al., 1983). Im Gegensatz dazu konnten Costa et al. (2010) bei einer Schmecktestung von 12 jungen Probanden keine Verschlechterung des Schmeckvermögens finden, wenn der Gaumen temporär durch eine Silikon-

schiene abgedeckt wurde (Costa et al., 2010). Somit bleibt die funktionelle Relevanz von Schmeckrezeptoren am Gaumen unklar.

4.1.4 Auswirkungen von Zahnprothesen auf Speichelfluss und Kaubewegungen

Weiterhin ist bekannt, dass Speichelflussrate, Amylase-Aktivität und pH-Wert des Speichels die Schmeckwahrnehmung beeinflussen (Braud und Boucher, 2020). Es gibt nur wenige Studien zum Einfluss von Zahnprothesen auf die Eigenschaften und Zusammensetzung des Speichels. Einige Arbeiten beschreiben einen erhöhten Speichelfluss bei Zahnprothesenträgern (Wolff et al., 2004; Yurdukoru et al., 2001). Andere Studien weisen im Gegensatz dazu auf eine erhöhte Prävalenz von Xerostomie unter Zahnprothesenträgern hin, wobei das Gefühl eines trockenen Mundes auch nicht immer mit objektiv verminderten Speichelflussraten einhergehen muss (Al-Dwairi und Lynch, 2014). Auch in der vorliegenden Studie zeigte sich bei der subjektiven Einschätzung der Speichelmenge ein ähnliches Bild. 17 Probanden gaben an, keine Beschwerden mit zu wenig Speichel zu haben. Allerdings gaben auch 13 Probanden an, zu wenig Speichel zu haben (> 70 auf der VAS). Insgesamt ist es denkbar, dass durch Zahnprothesen die Speicheleigenschaften verändert werden und somit auch das Schmeckvermögen verändert wird.

Zusätzlich haben Prothesen auch eine Veränderung der Kaubewegungen und Kaugeschwindigkeit zur Folge (Gonçalves et al., 2014). Dies könnte ebenfalls zu einer schlechteren Freisetzung von Schmeck- und Riechstoffen aus der Nahrung führen. Dieser Einflussfaktor ist bei der in der vorliegenden Studie durchgeführten Testung allerdings zu vernachlässigen, da die Testung mit Taste Strips keine Kaubewegungen erforderte.

4.1.5 Veränderungen des oralen Mikrobioms und ihr Einfluss auf das Schmeckvermögen

Die Nahrungsgewohnheiten von Zahnprothesenträgern unterscheiden sich nachgewiesenermaßen von denen der Referenzbevölkerung. Die Ernährungsweise eines Individuums hat wiederum einen direkten Einfluss auf die Zusammensetzung des oralen Mikrobioms durch das von der Nahrung abhängige Angebot an Metaboliten. Da die Stoffwechselprodukte (z. B. organische Säuren,

Kohlenhydrate) der Bakterien das Schmeckvermögen direkt beeinflussen, könnte also die Ernährungsweise von Zahnprothesenträgern indirekt einen Einfluss auf das Schmecken nehmen (Neyraud und Morzel, 2019). Analog dazu könnte durch das Vorhandensein einer Zahnprothese das Mikrobiom direkt verändert werden, dadurch andere Stoffwechselprodukte hervorbringen und somit ebenfalls das Schmecken beeinflussen. Zahnprothesen stellen im Mundraum einen Fremdkörper dar und werden als solche bevorzugt von Biofilmen aus Mikroorganismen besiedelt. Es setzen sich häufig sichtbare Plaques aus Mikroorganismen ab, welche die Zusammensetzung des oralen Mikrobioms unmittelbar verändern könnten (O'Donnell et al., 2015). Unterstützt werden diese Thesen durch eine Arbeit von Solemdal et al. (2012), in der gezeigt werden konnte, dass die Wahrnehmung der Schmeckqualität „sauer“ von der Konzentration von Lactobazillen abhängig war. Auch für das Schmecken der Qualität „bitter“ wurde eine Abhängigkeit von der Konzentration von Bacteroidetes beobachtet (Feng et al., 2018).

Neben dem direkten Metabolismus von Nahrungsbestandteilen werden durch das orale Mikrobiom auch Proteine und andere im Speichel und auf der Mukosa vorhandene Metaboliten verstoffwechselt, wenn keine Nahrung zugeführt wird (Gardner et al., 2020). Da Zahnprothesen die Speichelproduktion verändern und somit auch die für die oralen Bakterien vorhandenen Metaboliten, könnte dies bei Zahnprothesenträgern einen weiteren möglichen Einflussfaktor auf die gustatorische Wahrnehmung darstellen. Es konnte beispielsweise gezeigt werden, dass die Fähigkeit „bitter“ zu schmecken von der Proteinzusammensetzung des Speichels abhängt (Dsamou et al., 2012). Auch die Fähigkeit ungesättigte Fettsäuren wahrzunehmen, scheint von der Zusammensetzung des Speichels abzuhängen (Mounayar et al., 2014).

Zusammenfassend scheint es wahrscheinlich, dass das Tragen von Zahnprothesen einen Einfluss auf das orale Mikrobiom hat. Inwiefern aber die gustatorische und olfaktorische Perzeption durch eine solche Veränderung tatsächlich ursächlich beeinflusst wird, bleibt eine Frage von zukünftigen Studien.

4.2 Mögliche Ursachen für Änderungen des Riechvermögens bei Zahnprothesenträgern

Der Duftstofftransport zum Riechepithel kann sowohl über den orthonasalen als auch über den retronasalen Weg erfolgen. Das orthonasale Riechen beschreibt den Weg eines Duftstoffs aus der Umgebungsluft, welcher über den durch die Nase eingesogenen Luftstrom durch die Nasenlöcher und über die Nasenhöhle das Riechepithel erreicht (Shepherd, 2007). Das retronasale Riechen dagegen beschreibt die Wahrnehmung von Duftstoffen aus der Mundhöhle welche über den Oropharynx und Nasopharynx die Nasenhöhle und das Riechepithel auf dem retrograden Weg über die Choanen erreichen (Rozin, 1982).

In der vorliegenden Studie wurde bei der Durchführung des Riechschwellentests nicht zwischen orthonasalem und retronasalem Riechen unterschieden. Ein Schwerpunkt des Versuchsaufbaus lag auf dem orthonasalen Riechen, da die Riechstifte unter die Nasenlöcher gehalten wurden und die Teilnehmer diese erschnüffeln sollten. Allerdings gab es keine Anweisung den Mund zu schließen oder nicht intermittierend durch den Mund zu Atmen, sodass auch ein Einfluss des retronasalen Riechens auf das Messergebnis anzunehmen ist.

4.2.1 Änderungen des Luftstroms im Mund und Oro- bzw. Nasopharynx

Ein wichtiger Einflussfaktor für die ungehinderte Perzeption eines Duftmoleküls über den retronasalen Weg ist der ungehinderte Luftstrom, über den es nach seiner Freisetzung im Mundraum beim Ausatmen über die Nase das olfaktorische Epithel erreicht. Biophysikalische Untersuchungen an einem 3D-Modell zeigten, dass während des Ausatmens bei geschlossenem Mund der Transport von Duftmolekülen im Luftstrom perfekt auf den Nasopharynx ausgerichtet ist (Ni et al., 2015). Hier tritt er über die Choanen in die Nasenhöhle ein und die von ihm transportierten Duftmoleküle erreichen das Riechepithel. Beim Ausatmen über die Nase wird ein eher langsamer, laminarer Luftstrom erzeugt, wogegen beim Einatmen über die Nase ein schneller, turbulenter Luftstrom mit vielen Verwirbelungen erzeugt wird (Ishikawa et al., 2006). Für den orthonasalen Weg konnte gezeigt werden, dass schon kleinste anatomische Veränderungen im Bereich der Nase den Luftstrom und somit den Transport von Duftstoffen zum Riechepithel stark verändern können (Zhao et

al., 2004). Analog hierzu könnte auch das Vorhandensein einer Zahnprothese als Fremdkörper im Mundraum den Luftstrom während der Atmung verändern und somit für einen schlechteren retronasalen Transport der Duftstoffe zum Riechepithel verantwortlich sein. Spirometrische Untersuchungen an Zahnprothesenträgern liefern Hinweise für einen tatsächlichen Einfluss von Zahnprothesen auf den intraoralen und pharyngealen Luftstrom. Mit Zahnprothesen wurden in mehreren Studien schlechtere Ergebnisse als ohne Zahnprothesen erreicht (Bucca et al., 2001; Indrakumar et al., 2018; Shah Bukhari et al., 2021). Untersuchungen zu Zahnprothesenträgern mit obstruktivem Schlafapnoesyndrom (OSAS) zeigen ebenfalls, dass das Tragen von Zahnprothesen die Messwerte und Symptome bezüglich des OSAS verschlechtern können (Chen et al., 2017; Heidsieck et al., 2016).

4.2.2 Änderungen des Kauens und der Zungenposition durch Zahnprothesen

Zahnprothesenträger haben nachgewiesenermaßen eine geringere Kauleistung und -effizienz (Gonçalves et al., 2014; Kapur & Soman, 2006; Moraru et al., 2019). Elektromyographische Untersuchungen zeigen außerdem veränderte Aktivitätsmuster der Kaumuskulatur (Piancino et al., 2005; Tallgren et al., 1980) und auch strukturelle muskuläre Veränderungen konnten sowohl mittels Ultraschall (Bhojar et al., 2012) als auch histologisch nachgewiesen werden (Ringqvist, 1974). Die Bewegungen der Kaumuskulatur sind allerdings nicht nur essentiell für die Zerkleinerung von Nahrung. Durch konstante Auf- und Abwärtsbewegungen des weichen Gaumens und des Gaumenbogens während der Kaubewegung (Matsuo et al., 2010), wird der Luftaustausch und somit der Duftstofftransport zwischen Mund- und Nasenhöhle maßgeblich gewährleistet (Hodgson et al., 2003). Das Tragen einer Zahnprothese und schon geringe dadurch hervorgerufene muskuläre Veränderungen könnten dieses fein abgestimmte System stören und letztlich zu einer schlechteren retronasalen Riechkapazität führen.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass auch die Position der Zunge im Mundraum einen wesentlichen Einfluss auf die Freisetzung von Duftstoffen in den retronasalen Raum hat.

Es konnte experimentell nachgewiesen werden, dass eine hohe Zungenposition

nahe des Gaumens und ein damit verbundener kleinerer intraoraler Raum mit einer hohen Duftstoffkonzentration in der Nase korreliert (Mishellany-Dutour et al., 2012). Eine Zungenposition nahe am Gaumen könnte sich somit vorteilhaft auf das retronasale Riechvermögen auswirken. Das Vorhandensein einer Zahnprothese behindert eine solche Zungenposition und könnte somit zu einem schlechteren retronasalen Riechvermögen beitragen.

4.2.3 Trigemurale Einflüsse auf das Riechvermögen

Analog zum Schmecken spielt auch beim Riechen die multimodale Integration von olfaktorischen und trigeminalen Reizen eine große Rolle. Bezüglich des intranasalen Raums und somit vor allem für das orthonasale Riechen sind vielfältige Interaktionen zwischen trigeminalem und olfaktorischem System belegt. Auf zerebraler Ebene kommt es bei trigeminaler Stimulation beispielsweise zur gleichzeitigen Aktivierung des primären olfaktorischen Kortex. Auch funktionell konnte gezeigt werden, dass ein Riechverlust zu geringerer intranasaler trigeminaler Sensibilität führt und dass genauso eine Beeinträchtigung des trigeminalen Systems zu schlechter olfaktorischer Funktion führt (Hummel & Frasnelli, 2019).

Verschiedene Untersuchungen zeigen interessanterweise einen Zusammenhang zwischen der Struktur eines intraoralen Stimulus mit der Wahrnehmung eines ortho- oder retronasal präsentierten Riechstimulus (Bult et al., 2007; Roudnitzky et al., 2011; Visschers et al., 2006). Zwar scheinen der Zeitpunkt der Messung (zum Beispiel vor oder nach dem Schlucken), der kontextuelle Zusammenhang zwischen oralem und olfaktorischen Stimulus (ausgeprägter Effekt bei kontextuell passenden Stimuli, zum Beispiel Sahne und „süß“) und möglicherweise weitere Einflussfaktoren eine Rolle zu spielen, jedoch ist es denkbar, dass das Vorhandensein eines dauerhaften oralen Stimulus mit einer bestimmten Oberflächenstruktur, wie z.B. eine Zahnprothese, einen ähnlichen Effekt erzeugen könnte und somit einen Einfluss auf das Riechvermögen haben könnte.

4.2.4 Einfluss von Zahnprothesen auf den Speichel

Die Freisetzung von Duftstoffen aus dem intraoralen Raum ist weiterhin von der Art und Stärke der chemische Bindung eines Duftstoffs an Speichelproteine und von der Aktivität verschiedener Speichelenzyme abhängig (Guichard, 2006; Ployon et al., 2017). Friel et al. identifizierten verschiedenste Proteinbindungsmechanismen von flüchtigen Aromen an Speichelproteine (Friel and Taylor, 2001). Somit spielt die Zusammensetzung des Speichels eine zentrale Rolle bei der Freisetzung von Aromen (Muñoz-González et al., 2018) . Praxisnahe Forschung wurde zum Beispiel mit Wein durchgeführt, wobei sich eine klare Abhängigkeit des Wahrnehmungsvermögens verschiedener Weinduftstoffe von der Speichelzusammensetzung der Probanden zeigt (Piombino et al., 2019).

Bei Zahnprothesenträgern sind sowohl die Proteinzusammensetzung (Pajukoski et al., 1997) als auch die Viskosität des Speichels (Preoteasa et al., 2014) anders als bei Zahngesunden. Auch gibt es Hinweise auf Veränderungen des pH-Werts des Speichels bei Zahnprothesenträgern (Nikolopoulou & Tzortzopoulou, 2007)). Diese Unterschiede könnten ein weiterer Grund für ein schlechteres retronasales Riechvermögen bei Zahnprothesenträgern sein. Weiterhin hängt die Freisetzung von Aromen von der Speichelflussrate eines Individuums ab (Muñoz-González et al., 2019). Allerdings bleibt der tatsächliche Einfluss von Zahnprothesen auf die Speichelflussrate umstritten (Sonthalia et al., 2016; Yurdukoru et al., 2001).

4.2.5 Veränderungen des oralen Mikrobioms und ihr Einfluss auf das Riechvermögen

Mehrere Studien berichten, dass Zahnprothesenträger häufiger unter Mundgeruch (Halitosis) leiden als Zahngesunde (Costacurta et al., 2020; Nalcaci & Baran, 2008a), was auf die veränderte Zusammensetzung des oralen Mikrobioms von Zahnprothesenträgern zurückzuführen ist. Zahnprothesen beeinflussen das orale Mikrobiom vor allem über mikrobielle Biofilm- bzw. Plaquebildung (O'Donnell et al., 2015; Ramage et al., 2018). Weiterhin tragen die bei Zahnprothesenträgern vorhandenen Änderungen der Speichелеigenschaften hierzu bei, da der pH-Wert und die Pufferkapazität des Speichels sowie der Anteil an antimikrobiellen Bestandteilen ebenfalls

Auswirkungen auf die Zusammensetzung des oralen Mikrobioms haben (Marsh et al., 2016) Orale Bakterien können Duftstoffe produzieren (Krespi et al., 2006; Takahashi, 2015) und sind somit eine der Hauptursachen für Mundgeruch. Auch eine höhere Speichelviskosität, wie bei Zahnprothesenträgern beobachtet, ist ein Risikofaktor für Mundgeruch (Preteasa et al., 2014; Ueno et al., 2014). Die im Mundraum freigesetzten Duftstoffe könnten die Wahrnehmung anderer Duftstoffe beeinträchtigen und somit eine Erklärung für die schlechteren Ergebnisse von Zahnprothesenträgern im Riechschwellentest sein.

4.3 Vergleich mit anderen Studien

4.3.1 Fragebogenbasierte Studien

In der Literatur finden sich widersprüchliche Berichte über den Einfluss von Zahnprothesen auf das Schmecken und Riechen.

Ikebe et al. (2002) befragten eine 3 967 Teilnehmer umfassende Kohorte mit einem Durchschnittsalter von über 60 Jahren bezüglich ihrer Zahngesundheit und Zufriedenheit mit basalen oralen Funktionen (Ikebe et al., 2002). Unter anderen wurde die Zufriedenheit bzgl. des Schmeckvermögens (Kombination aus Riech- und Schmeckwahrnehmung) erfragt. Sie führten keine klinische Schmeck- oder Riechtestung durch, sondern verwendeten einen Fragebogen, in dem die Zufriedenheit mit den basalen oralen Funktionen (inkl. des Schmeckvermögens) in 3 Stufen (satisfied, fairly satisfied, dissatisfied) erhoben wurde. Hier gaben 16,6 % der Teilnehmer mit gaumenbedeckenden Prothesen, 11,8 % der Teilnehmer mit nicht gaumenbedeckenden Prothesen und 1 % der prothesen-freien Probanden eine nicht zufriedenstellende Riech- und Schmeckwahrnehmung an. In dem in der vorliegenden Studie verwendeten Fragebogen zeigten sich die Probanden ebenfalls größtenteils zufrieden mit ihrem Riech- und Schmeckvermögen. Nur 7,3 % (n = 3) der befragten Teilnehmer schätzten ihre Schmeckfähigkeit mit < 50 % auf der VAS ein. Die Diskrepanz zu Ikebe et al. könnte dadurch erklärt werden, dass Ikebe et al. für ihren Fragebogen zur besseren Validierung einen Vortest an 40 Probanden durchführten. Die statistische Aussagekraft des von Ikebe et al. verwendeten Fragebogens ist aufgrund der höheren Teilnehmerzahl (n = 41 versus n = 3 967) wesentlich höher einzuschätzen. Weiterhin wurde im zur Studie gehörenden Fragebogen eine visuelle Analogskala zur Selbsteinschätzung verwendet, welche eine differenziertere Aussage erlaubt, als die von Ikebe et al. verwendete dreistufige Skala.

Nalcaci et al. (2008) führten eine Studie mit 254 (116 männlich/138 weiblich) Teilnehmern über 55 Jahren mittels Fragebogen durch, welcher Störungen des Schmeckempfindens per dichotomer Auswahlmöglichkeit (ja/nein) erfasste. 8,3 % der Probanden berichteten über Störungen des Schmeckvermögens. Das Tragen von Zahnprothesen (sowohl Oberkiefer, Unterkiefer und beides) konnte

in dieser Studie signifikant mit dem Auftreten von subjektiven Schmeckstörungen korreliert werden (Nalcaci und Baran, 2008). Auch hier zeigen die in der vorliegenden Arbeit per Fragebogen erhobenen Daten eine ähnliche Tendenz. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass das Kollektiv dieser Studie ausschließlich aus Zahnprothesenträgern bestand und signifikant kleiner war (n = 41 versus n = 254).

Yoshinaka et al. (2007) befragten ebenfalls ein Probandenkollektiv (n = 640, 321 Teilnehmer männlich, 319 Teilnehmerinnen weiblich, im Mittel 66 Jahre alt) bzgl. der subjektiven Zufriedenheit mit dem Schmeckvermögen ("Are you satisfied with your ability to taste when eating?"). Als Antwortmöglichkeit konnte nur „ja“ oder „nein“ gewählt werden. 24,8 % der Probanden waren nicht zufrieden mit ihren Schmeckvermögen. Dies konnte statistisch signifikant mit dem Tragen einer gaumenbedeckenden Prothese assoziiert werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die genannten Studien mit relativ großer Probandenzahl einen Zusammenhang zwischen dem Tragen einer Zahnprothese und einer subjektive Beeinträchtigung des Schmeckvermögens beobachten konnten.

Die in der aktuellen Studie durchgeführte Testung konnte die von Ikebe et al., Nalcaci et al. und Yoshinaka et al. erhobenen Befragungsergebnisse, dass Zahnprothesenträger eher unter einer Einschränkung des Riechens und Schmeckens leiden als Zahngesunde, bestätigen. Es konnte sowohl für das Schmecken als auch für das Riechen per Testung eine Beeinträchtigung nachgewiesen werden.

4.3.2 Testungen mittels Taste Strips und aromatisiertem Filterpapier

Yoshinaka et al. (2007) führten neben der oben beschriebenen Befragung auch eine Schmecktestung mittels der Filter-Disk-Methode durch. Hierbei werden mit Schmeckstoffen getränkte Filterpapier-Disks (in verschiedenen Konzentrationen) auf die Zunge gelegt (Tomita et al., 1986). Es wurden die Schmeckqualitäten „süß“, „sauer“, „salzig“ und „bitter“ getestet. Letztlich konnte nur eine erhöhte Schmeckschwelle für „sauer“ mit einer im Fragebogen angegebenen Unzufriedenheit zur Schmeckfähigkeit korreliert werden. Ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Schmecktests und dem Vorhandensein einer

Zahnprothese wurde nicht untersucht.

Dies bestätigt die in der vorliegenden Studie gemachte Beobachtung, dass ein Großteil der Probanden trotz schlechter Messergebnisse mit ihrer Riech- und Schmeckfähigkeit zufrieden waren (vgl. Kapitel 3.4). Um diese Ergebnisse korrekt einzuordnen, wäre es in Zukunft wünschenswert, zu untersuchen, ob es sich bei der Überschätzung der eigenen Schmeckfähigkeiten um ein regelhaftes Phänomen handelt.

Eine ebenfalls mit dem „Taste Strips“-Verfahren durchgeführte Untersuchung zeigte keinen Unterschied bei den Ergebnissen von Zahnprothesenträgern und normal Bezahnten (Solemdal et al., 2012). Allerdings waren nur 18,4 % der Probanden Totalprothesenträger. Außerdem war das Durchschnittsalter der untersuchten Probanden mit 84 Jahren erheblich höher als in dem in der aktuellen Studie untersuchten Kollektiv. Es ist bekannt, dass die Schmeckfähigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt. Demnach ist es denkbar, dass der Effekt einer Zahnprothese auf das Schmeckvermögen in diesem hochbetagten Alter marginalisiert wird beziehungsweise durch die klinische Testung nicht mehr abzubilden ist.

4.3.3 Testungen mittels in Wasser gelöster Aromen

Eine weitere häufig berichtete Untersuchungsmethode war die Schmecktestung mittels verschiedener Konzentrationen von in Wasser gelösten Aromen, welche allerdings zu unterschiedlichen Ergebnissen bezüglich des Einflusses von Zahnprothesen führte.

Wayler et al. (1990) untersuchten 75 Probanden (davon 34 mit Teil- oder Vollprothesen) bezüglich der Schmeckschwellen für „salzig“ und „süß“. Die Zahnprothesen tragenden Probanden zeigten eine deutliche Tendenz zu höheren Schmeckschwellen für „salzig“, welche jedoch nicht statistisch signifikant war ($p = 0,06$).

Nilsson 1979 konnte bei einem 80 Personen umfassenden Probandenkollektiv (davon 20 Zahnprothesenträger) ebenfalls keinen statistisch signifikanten Einfluss von gaumenbedeckenden Zahnprothesen nachweisen.

Auch Henkin et al. (1967) untersuchten eine kleine Gruppe von 11 Zahnprothesen tragenden Probanden mit derselben Methode, allerdings wurden, in

Analogie zum vorliegenden Studiendesign, die gleichen Probanden sowohl mit als auch ohne Zahnprothese untersucht. Es zeigte sich eine signifikant höhere Schmeckschwelle für die Schmeckqualitäten „bitter“ und „sauer“, wenn Zahnprothesen getragen wurden (Henkin und Christiansen, 1967).

Diese Beobachtungen decken sich zumindest teilweise mit den in dieser Studie festgestellten Ergebnissen. Während bei Wayler et al. nur eine Tendenz für eine erhöhte Schmeckschwelle für „salzig“ bei Zahnprothesenträgern beobachtet wurde, konnte diese im vorliegenden intraindividuellen Testsetting als signifikant erhöht bestätigt werden. Genau wie Henkins et al. kann anhand der erhobenen Daten eine erhöhte Schmeckschwelle mit Prothese für die Qualität „bitter“ nachvollzogen werden, aber keine für die Qualität „sauer“. Allerdings war das Probandenkollektiv von Henkins et al. ($n = 11$) sehr klein, sodass die Vergleichbarkeit trotz ähnlicher Methodik eingeschränkt bleibt. Dennoch ist den vorliegenden Daten mit den Ergebnissen der genannten Studien gemein, dass kein Einfluss auf die Perzeption der Qualität „süß“ gezeigt werden konnte. Diese Kongruenz stellt zur Diskussion, inwiefern die zuvor aufgeführten Mechanismen (vgl. Kapitel 4.1) tatsächlich einen klinisch relevanten Einfluss auf diese spezielle Qualität ausüben.

4.3.4 Studien zum Einfluss von Zahnprothesen auf das Riechvermögen

Duffy et al. (1999) untersuchten den Einfluss von den Gaumen bedeckenden Zahnprothesen auf das retro- sowie das orthonasale Riechen. Die Probanden wurden „in den Gaumen bedeckende Zahnprothesenträgerinnen“ ($n = 27$) und „Zahngesunde bzw. nicht den Gaumen bedeckende Zahnprothesenträgerinnen“ aufgeteilt ($n = 46$). Die retronasale Riechschwelle wurde mittels eines Gelatineblocks, der mit Orangenduft in unterschiedlicher Konzentration präpariert wurde, überprüft. Die Probanden mussten den Gelatineblock lutschen, was zur Freisetzung des Orangendufte im Mundraum führte. Zur orthonasalen Testung wurde der Connecticut Chemosensory Clinical Research Center (CCCRC)-Test verwendet (Cain et al., 1988). Es konnte gezeigt werden, dass jene Gruppe mit den Gaumen bedeckenden Zahnprothesen den Orangenduftstoff erst signifikant später wahrnahm als jene mit nicht bedecktem Gaumen, also demnach retronasal schlechter riechen konnte. In der orthonasalen Testung ergab sich allerdings kein Unterschied zwischen den

Gruppen.

Das Ergebnis der orthonasalen Testung deckt sich nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie. Die verwendeten Messverfahren ähneln sich, da in beiden Tests N-Iso-Butanol als Duftstoff verwendet wurde (Cain et al., 1989). Möglicherweise können durch den Sniffin' Sticks-Test feinere Unterschiede detektiert werden, da der von uns verwendete Test aus kleineren Konzentrationsabstufungen (16 versus 7 beim CCCRC) bestand. Dies könnte erklären, warum die von uns durchgeführte orthonasale Testung bei Zahnprothesenträgern signifikant schlechter war und bei Duffy et al. nicht.

Griep et al. (1997) verwendeten in Wasser gelöstes Isoamylacetat, welches dem Geruch einer Banane oder Birne ähnelt, in verschiedenen Konzentrationsabstufungen zur Testung der orthonasalen Riechschwelle. Das Probandenkollektiv (n = 171) bestand aus 68 Teilprothesenträgern, 38 Vollprothesenträgern (davon 30 weiblich) und 65 zahngesunden Probanden. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl die Teil- als auch die Vollprothesenträger in der durchgeführten Testung signifikant schlechtere Ergebnisse erreichten als die Zahngesunden. Im Gegensatz zu „Sniffin'-Sticks“- Methode wurde bei Griep et al. aber nicht mit Triplets gearbeitet, sondern die Teilnehmer mussten aus 2 Proben wählen (eine mit Isoamylacetat, eine ohne). Außerdem wurde nicht, wie bei der Riechschwellenmessung mittels „Sniffin'-Sticks“ um den Schwellenwert gependelt. Bei Griep et al. wurde die Messung mit der niedrigsten Konzentration begonnen und der Schwellenwert erreicht, wenn fünf Konzentrationsabstufungen hintereinander korrekt wahrgenommen wurden. Trotz dieser methodischen Unterschiede können diese Daten durch die aktuellen Ergebnisse grundsätzlich bestätigt werden und unterstützen die Hypothese, dass Zahnprothesen einen negativen Einfluss auf das Riechvermögen haben.

Ghaffari et al. führten bei 30 Probanden (15 männlich, 15 weiblich, 53 Jahre alt im Mittel) eine Testung des Schmeck- und des retronasalen Riechvermögens vor dem Tragen einer den Gaumen bedeckenden Oberkieferzahnprothese, nach drei Tagen des Tragens und nach einem Monat durch. Es wurde nicht der Schwellenwert des Erkennens verschiedener Konzentrationen von Schmeck- und Duftstoffen untersucht, sondern die Zeit bis ein Geschmack oder Geruch

wahrgenommen werden konnte. Zur Schmecktestung wurden in Wasser gelöste Schmeckstoffe verwendet. Die Schmeckqualität „bitter“ wurde nicht getestet. Zur Testung des retronasalen Riechvermögens wurden kommerziell vertriebene Kaugummis mit Minze- bzw. Zimtgeschmack verwendet.

Die Ergebnisse für „sauer“ und „süß“ decken sich mit den aktuell erhobenen Daten. Sie bestätigen das Ergebnis, dass die Schmeckqualitäten „süß“ und „sauer“ durch das Tragen einer Zahnprothese wahrscheinlich nicht beeinflusst werden. Bezüglich der Schmeckqualität „salzig“ differieren die Ergebnisse.

Allerdings wurden von Ghaffari et al. ein anderes Testverfahren und Studiendesign verwendet und das zugrunde liegende Patientenkollektiv war kleiner und jünger als das der vorliegenden Studie.

Bezüglich des (retronasalen) Riechvermögens erübrigt sich ein Vergleich aufgrund der unterschiedlichen Testansätze (retro- versus orthonasal) und des verwendeten ungenauen Testverfahrens. Die Freisetzung von Aromen aus Kaugummis hängt zum Beispiel von der Stärke oder der Geschwindigkeit des Kauens ab. Im Gegensatz zu den von Duffy et al. verwendeten Gelatineblöcken ist außerdem wahrscheinlich, dass in den Kaugummis noch andere Aromen als Minze oder Zimt eingearbeitet waren.

4.3.5 Studien zum Einfluss des Alters auf das Schmeckvermögen

Yoshinaka et al. zeigten 2016 in einer großen Querschnittsstudie eindrücklich die Relevanz des Alters in Bezug auf Schmeckwahrnehmung. Sie führten mit 3 Gruppen (alt: 69 - 71 Jahre, n = 969; sehr alt: 79 - 81 Jahre, n = 999; jung/zahngesund: 24 - 32 Jahre, n = 70) eine Schmeckschwellen-Testung mit je 1 ml Testlösung in gestaffelten Konzentrationen für alle Schmeckqualitäten durch (Yoshinaka et al., 2016). Die Schmeckschwellen in den beiden älteren Gruppen für „salzig“, „bitter“ und „sauer“ waren im Vergleich zur jungen Gruppe signifikant erhöht. Das Tragen von Zahnprothesen konnte nicht signifikant mit einer erhöhten Schmeckschwelle korreliert werden. In der vorliegenden Studie kann der generelle Einfluss des Alters auf das Schmecken insofern bestätigt werden, dass im Vergleich zum jüngeren normativen Kollektiv von Mueller et al. die Teilnehmer geringere Punktzahlen bei der Schmecktestung erreichten. Es ist denkbar, dass der Einfluss der getragenen Prothesen lediglich im intra-individuellen Vergleich ein statistisch signifikantes Niveau erreicht, jedoch bei

der Untersuchung von sehr großen Kollektiven mit vielen verschiedenen Einflussvariablen von Variablen mit größeren Effektstärken (z. B. Alter) verdeckt wird. Angesichts der Frage, ob das Alter auch eine moderierende Variable einer Schmeck- und Riechaffektion durch Vollprothesen darstellt, ist es interessant, eine Studie von Har-Zion et al. zu betrachten. In dieser Studie wurden 10 Jungen und 12 Mädchen im mittleren Alter von 11,5 Jahren mit einer kieferorthopädischen Behandlung mit herausnehmbaren Zahnspangen, welche eine Oberkieferdeckplatte aufwiesen, bezüglich Schmeckvermögen und retro-nasalem Riechen mehrfach getestet. Im Vergleich zu einer altersgleichen Kontrollgruppe ohne kieferorthopädische Behandlung ergab sich kein signifikanter Unterschied (Har-Zion et al., 2004). Diese Beobachtung könnte ein Hinweis darauf sein, dass jüngere Individuen besser in der Lage sind den Einfluss von Affektionen des Gaumens (z. B. durch Zahnprothesen) auf das Schmeckvermögen zu kompensieren. Dies verdeutlicht die besondere Wichtigkeit, einen möglichen Einfluss des (höheren) Alters bei der Untersuchung der Wirkung von Zahnprothesen auf das Riechen und Schmecken auszuschalten, so wie es in der vorliegenden Studie durch die intraindividuelle Testung MP und OP geschehen ist.

4.3.6 Kulturelle Einflüsse auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung

Ein weiterer Faktor, den es zu beachten gilt, ist der Einfluss kultureller Prägung auf das Empfinden von verschiedenen Schmeckqualitäten (Bertino et al., 1983). Bertino et al. ließen 34 US-amerikanische Studenten mit europäischen Wurzeln und 28 taiwanesischen Studenten Salz-, Koffein- und Saccharoselösungen schmecken und deren Intensität und Wohlgeschmack bewerten. Es konnte beobachtet werden, dass die taiwanesischen Studenten die Saccharose-Stimuli in verschiedenen Konzentrationen generell als süßer empfanden als die nordamerikanische Vergleichsgruppe. Für die salzigen Stimuli zeigte sich das Gegenteil. Die Autoren diskutierten, dass unter anderem die jeweiligen Esskulturen (Amerikaner seien Speisen mit viel Zucker gewöhnt und die taiwanesischen Gruppe salzigere Lebensmittel, wie z. B. Sojasauce) durch Prägungseffekte und Gewöhnung einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse von Studien zum Schmecken haben könnten.

Ein kultureller Einfluss auf das Riechen lässt sich ebenfalls vermuten. Ayabae-Kanamura et al. beobachteten bei der Testung je einer Gruppe japanischer und deutscher Frauen mit für das jeweilige Land typischen Duftstimuli und „neutralen“ internationalen Stimuli, dass sich nicht nur das Wohlgefallen an bekannten Düften unterschied, sondern auch die angegebene Wahrnehmungsintensität bei gleicher Konzentration der Duftstoffe (Ayabe-Kanamura et al., 1998).

In der von mir durchgeführten Studie konnten eventuelle kulturelle Einflüsse durch die Wahl des N-Iso-Butanol-Schwellentests weitestgehend eliminiert werden, da dieser nur die Riechschwelle überprüft (vgl. Kapitel 2.1.2). Die Ergebnisse eines überschwelligen Identifikations- bzw. Diskriminationstests sind möglicherweise deutlich anfälliger für einen solchen Einflussfaktor.

Die Ergebnisse des in der vorliegenden Studie durchgeführten überschwelligen Schmecktests mittels „Sniffin-Sticks“ könnten daher eher durch die kulturelle Prägung der Teilnehmer beeinflusst sein. Allerdings wurden die Teilnehmer nicht zu ihrer Herkunft oder ihrer kulturellen bzw. sozialen Prägung befragt.

Die beiden zuvor genannten Studien legen einen kulturellen Einfluss auf die Riech- und Schmeckwahrnehmung nahe, welcher die Übertragung und den Vergleich der in der vorliegenden Studie erhobenen Daten möglicherweise auf Gruppen mit ähnlichen Ernährungsweisen beschränkt. Dies könnte auch ein weiterer Erklärungsansatz für die uneinheitlichen Ergebnisse der vorgestellten Studien sein (vgl. Tabelle 8).

4.3.7 Tabellarische Übersicht der Studien zu Zahnprothesen und ihrem Einfluss auf das Riechen und Schmecken

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht der Studien zu Zahnprothesen und ihrem Einfluss auf das Riechen und Schmecken

Autoren	Methodik	Probandenkollektiv	Ergebnis
Geschmack (Riechen und Schmecken)			
Ikebe et al. 2002	Fragebogen	n = 3 967, > 60 Jahre	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf das subjektive Schmeckvermögen
Nalcaci et al. 2008	Fragebogen	n = 254, > 55 Jahre	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf das subjektive Schmeckvermögen
Yoshinaka et al. 2007	Fragebogen	n = 640, Ø 66 Jahre	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf das subjektive Schmeckvermögen
Riechen			
Duffy et al. 1999	orthonasaler Riechschwellentest (CCCRC-Test); retro-nasaler Riechtest mittels mit Orangenduft versetzten Gelatineblöcken	n = 73	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf das retronasale Riechvermögen

Griep et al. 1997	orthonasaler Riechschwellen- test mittels Isoamylacetat	n = 171	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf das orthonasale Riechvermögen
Schmecken			
Yoshinaka et al. 2007	Schmeck- schwellentest mittels Filter- Disk-Methode	n = 640, Ø 66 Jahre	Ergebnis für „sauer“ korreliert mit Zufriedenheit bzgl. Schmecken
Solemdal et al. 2012	Taste Strips	n = 174, davon 32 Zahnprothesen- träger	kein Einfluss von Zahnprothesen
Yoshinaka et al. 2016	Schmeck- schwellentest mittels in Wasser gelöster Schmeckstoffe	n = 969, 69 - 71 Jahre n = 999, 79 - 81 Jahre n = 70, 24 - 32 Jahre	kein Einfluss von Zahnprothesen
Ghaffari et al. 2009	Schmeck- schwellentest mittels in Wasser gelöster Schmeckstoffe, retronasaler Riech-test mittels Kau- gummi	n = 30	kein Einfluss von Zahnprothesen

Wayler et al. 1990	Schmeck-schwellentest mittels in Wasser gelöster Schmeckstoffe	n = 75	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf die Schmeckqualität „salzig“
Nilsson 1979	Schmeck-schwellentest mittels in Wasser gelöster Schmeckstoffe	n = 80, davon 20 Zahnprothesenträger	kein Einfluss von Zahnprothesen
Henkin et al. 1967	Schmeck-schwellentest mittels in Wasser gelöster Schmeckstoffe	n = 11	negativer Einfluss von Zahnprothesen auf die Schmeckqualität „bitter“

4.4 Studienkritik

4.4.1 Methodenkritik

Die Durchführung einer echten doppelblinden Placebo-kontrollierten Studie ist aus praktischen Erwägungen (Fühlen der Prothese im Mund) für den Vergleich MP - OP nur schwer zu realisieren. Denkbar wären eventuell spezielle durchlässige Zahnprothesen, welche aber die individuellen Prothesen der Teilnehmer ersetzen müssten.

Aufgrund der nicht erfolgten Verblindung ist anzunehmen, dass sowohl die Teilnehmer als auch der Untersucher eine Erwartungshaltung an den Verlauf des Experiments hatten. Die initiale Erwartung an den Vergleich MP - OP ist, wie auch die Formulierung der in der Studie getesteten These suggeriert, dass man ohne Zahnprothese vermutlich besser schmecken müsse. Optimalerweise hätte eine zufällig ausgewählte Subgruppe zuerst OP und dann MP getestet werden müssen. Des Weiteren wurden die Schmeckqualitäten zufällig gereicht, aber wie für den Taste-Strips-Test erforderlich immer in aufsteigender Konzentrationsreihenfolge. Um die Qualität der Daten in zukünftigen Studien weiter zu erhöhen, sollte zusätzlich erwogen werden, verschiedene Stimulikonzentrationen in abnehmender und zufälliger Reihenfolge anzubieten. Da die Teilnehmer direkt hintereinander MP und OP getestet wurden, wäre es möglich, dass Erwartungshaltungen die Ergebnisse OP negativ bzw. positiv beeinflussen (Nitschke et al., 2006). Zukünftige Testungen könnten an verschiedenen Tagen durchgeführt werden, um diese Problematik zu verringern. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass ein solches Vorgehen wiederum weitere Confounder, wie z. B. den Einfluss von wechselnder Medikation, Messungen zu verschiedenen Tageszeiten, unterschiedliche Speichelkonzentrationen oder unterschiedlich ausgeprägter Appetit produzieren könnte.

Einen besonders zu beachtenden Faktor stellt das Hungergefühl dar. Es gibt Beobachtungen, dass Hunger über zentrale neuronale Regulationen das Verlangen nach verschiedenen Schmeckqualitäten beeinflusst (Fu et al., 2019). Hungernde Mäuse zeigten in mehreren Experimenten Präferenzen für „süß“ (Fu et al., 2019). Es gibt aber auch Hinweise, dass die Wahrnehmungsschwelle von anderen Schmeckqualitäten ebenfalls durch Hunger reguliert wird. Die Stärke

und Relevanz dieser Effekte wird allerdings kontrovers diskutiert (Furchtgott und Friedman, 1960; Pasquet et al., 2006).

Der zentrale positive Aspekt des Studiendesigns besteht darin, dass durch die direkt aufeinander folgenden Messungen MP und OP am gleichen Probanden nur das Vorhandensein der Zahnprothese als Variable verändert wurde und das sonstige experimentelle Setting theoretisch exakt gleich bleibt. Somit wird der Einfluss anderer Einflussfaktoren sehr stark minimiert. Außerdem ist das gewählte Studiendesign sehr gut praktikabel, da jeder Proband nur einmalig zur Testung erscheinen muss. Die Bildung von zwei in ihren Eigenschaften ähnlichen Gruppen (Fall-Kontroll-Studie), wäre in der Praxis sehr aufwendig und würde wieder neue Probleme (Schaffung gleicher Untersuchungsverhältnisse, Tageszeit, Temperatur etc.) mit sich bringen.

Beim Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit den Daten der Normkollektive von Hummel und Landis zeigte sich graphisch deskriptiv eine gute Übereinstimmung. Dies spricht für eine methodisch korrekt durchgeführte Testung der Riechschwelle und der Schmeckqualitäten.

4.4.2 Mögliche Ursachen für die Diskrepanz zwischen Fragebogen und Testergebnissen

Die Ergebnisse des in der vorliegenden Studie verwendeten Fragebogens zeigen, dass ein Großteil der Patienten mit Zahnprothesen subjektiv keinerlei Einschränkungen ihres Riech- oder Schmeckvermögens erleben, obwohl die durchgeführten Testungen eine signifikante Verbesserung dieser Sinne nach dem Herausnehmen der Prothese feststellten. Aufgrund des fortgeschrittenen Alters der Kohorte ist anzunehmen, dass die Teilnehmer seit längerer Zeit Prothesen benutzen und an diesen Umstand adaptieren konnten. Die genaue Nutzungsdauer der Prothesen wurde in der aktuellen Studie leider nicht erfragt. Es ist experimentell nachgewiesen, dass der Riechsinn akuten und chronischen Adaptionsprozessen unterliegt (Dalton, 2000). Diese finden auf allen Ebenen der sensorischen Verarbeitung statt bis hin zu komplexen kognitiven Beeinflussungen durch z. B. Erwartungshaltungen. Untersuchungen mit funktioneller MRT-Bildgebung zeigten, dass die Suggestion, dass ein besonders bitterer Stoff beim nächsten Schmecken weniger bitter sei, die

neuronale Verarbeitung und letztlich auch den Schmeckeindruck dahingehend veränderte (Nitschke et al., 2006), dass der Stoff tatsächlich als weniger bitter wahrgenommen wurde. Da es sich bei Nahrung um komplexe Stoffgemische handelt, ist es fraglich, inwiefern sich die Testung einzelner Schmeckqualitäten auf das Schmeckerleben von Nahrung im Alltag übertragen lässt. Möglicherweise war die Selbsteinschätzung der Patienten dadurch erschwert, dass eine Nahrung selten „nur süß“ oder „nur bitter“ schmeckt, sondern in den meisten Fällen eine Komposition aus verschiedenen Schmeckqualitäten darstellt.

4.4.3 Wahrnehmung von PTC/PROP als möglicher Hinweis auf eine besondere genetische Disposition zum Schmecken von Bitterstoffen

Es ist bekannt, dass die Stoffe Phenylthiocarbamid (PTC) und 6-n-Propylthiouracil (PROP) für manche Personen bitter schmecken und bei anderen gar keinen Sinneseindruck auslösen (Bartoshuk et al., 1994). Es wird vermutet, dass dieser Umstand durch eine unterschiedliche genetische Prädisposition bedingt ist. Die Fähigkeit PTC/PROP zu schmecken wird mit einer sensitiveren und intensiveren Wahrnehmung weiterer Bitterstoffe, wie z. B. Koffein (Ly und Drewnowski, 2001), assoziiert. Es wird auch ein Zusammenhang zwischen dem Schmecken von „süß“ und der Fähigkeit PTC/PROP wahrzunehmen, diskutiert. Nach den Beobachtungen von Chang et al. in einer Studie mit 69 koreanischen Teilnehmern konnte ein statistischer Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von PTC und dem Wahrnehmen der Schmeckqualität „süß“ gezeigt werden (Chang et al., 2006).

In der vorliegenden Studie konnten die Probanden die Schmeckqualität „bitter“ OP signifikant besser wahrnehmen als MP. Allerdings wurde der Status der PTC/PROP-Schmeckfähigkeit in dieser Studienpopulation nicht berücksichtigt, sodass eine Verzerrung durch „Supertaster“ nicht auszuschließen ist.

Deshalb könnte die Berücksichtigung des Status der PTC/PROP-Schmeckfähigkeit in zukünftigen Studienpopulationen zum Einfluss von Zahnprothesen auf das Schmecken zu einer weiteren Differenzierung beitragen.

4.5 Ausblick

Zahnprothesen liefern einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität von Menschen mit eingeschränkter Zahngesundheit (John et al., 2004; Montero et al., 2013; Shigli und Hebbal, 2010). Die Zufriedenheit mit diesen Prothesen wird entscheidend durch den subjektiv erlebten Einfluss auf das Schmeckvermögen beeinflusst (Papaspolidakos et al., 2012).

Grundsätzlich ernähren sich Zahnprothesenträger signifikant fettreicher und weniger ballaststoff- und vitaminreich als Zahngesunde (Jauhiainen et al., 2017; Nowjack-Raymer und Sheiham, 2003; Quandt et al., 2010; Watson et al., 2019). Während eine solche Ernährungsweise allein schon die Entstehung von Herz-/Kreislaufkrankungen begünstigt, könnte die in dieser Studie gezeigte Verschlechterung der Salzperzeption durch Zahnprothesen zusätzlich einen übermäßigen Salzkonsum begünstigen. Es ist nachgewiesen, dass eine zu salzhaltige Ernährung den Verlauf von Bluthochdruckerkrankungen negativ beeinflusst (He und MacGregor, 2009). Um solchen Einflüssen vorzubeugen, ist es erstrebenswert, neue Konstruktionsweisen von Zahnprothesen zu entwickeln. Zembic et al. konnten zeigen, dass Zahnprothesen mit signifikant kleineren Gaumenplatten mindestens zu einer gleichwertigen Patientenzufriedenheit im Allgemeinen, aber auch im Speziellen bezüglich des Riech- und Schmeckvermögens, führen (Zembic et al., 2015). Eine Studie aus Japan verglich verschiedene markt-übliche Prothesenmaterialien im Hinblick auf ihren Einfluss auf die Schmeck-fähigkeit. Hier zeigte sich allerdings kein signifikanter Unterschied (Wada et al., 2016). Eine weitere Studie verglich den Gaumen bedeckende Prothesen mit unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten hinsichtlich der taktilen oralen Fähigkeiten. Es sollte eine bestimmte Anzahl von Senfkörnern in einem Sahnewürfel erkannt werden, wobei sich ein Unterschied bei der Reaktionszeit, nicht aber bei den richtigen Antworten (Tanaka et al., 2008) zeigte. Ein realistischer Ansatz zur Verbesserung von Prothesen hinsichtlich der Schmeck- und Riechfähigkeit wäre demnach vorrangig der möglichst sparsame Einsatz von gaumenbedeckendem Material und mittelfristig die Entwicklung neuer Werkstoffe mit Durchlässigkeit für Schmeckstoffe und günstigem Einfluss auf die orale Temperatur.

Ein alternativer Behandlungsansatz könnte die Kombinationsbehandlung aus einer konventionellen Oberkieferprothese und einer implantatbasierten Prothese, statt einer konventionellen, nicht fixierten Prothese des Unterkiefers, darstellen. Komplett zahnlose Patienten, welche zuvor mit einer herausnehmbaren Ober- und Unterkieferprothese versorgt waren, wiesen nach Versorgung mit einem implantatbasierten Unterkieferzahnersatz bessere Ernährungsgewohnheiten auf, da sie rohe, harte und faserige Speisen (z. B. Gemüse) besser kauen konnten (Tajbakhsh et al., 2013).

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die vorliegende Studie, unter Einbeziehung ihrer Limitationen, einen klaren Hinweis liefert, dass den Gaumen bedeckende Zahnprothesen sowohl das Schmecken als auch das Riechen negativ beeinflussen bzw. signifikant einschränken. Weitere Untersuchungen mit größerer Probandenzahl und ggfs. noch genauerer Fragestellung bzgl. Prothesenmaterialien und -aufbau sollten durchgeführt werden.

5 Zusammenfassung

Hintergrund:

Einschränkungen des Riech- und Schmeckvermögens mindern die Lebensqualität und erhöhen malnutritionsbedingt das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen. Zahnprothesen, welche den Gaumen bedecken, könnten dazu beitragen, das Riech- und Schmeckvermögen zu mindern.

Angesichts der zunehmenden Alterung der Bevölkerung wird der Versorgungsbedarf mit Zahnprothesen weiter zunehmen .

Die vorliegende Studie hat den Anspruch, den Einfluss von gaumenbedeckenden Zahnprothesen auf das Riech- und Schmeckvermögen durch den Einsatz validierter Testmethoden zu quantifizieren. Des Weiteren wurde mittels eines Fragebogens untersucht, ob das subjektive Empfinden der Patienten bezüglich ihrer Riech- und Schmeckfähigkeiten mit den Ergebnissen der Riech- und Schmecktestung korreliert.

Methoden:

In dieser Studie wurde das Riechvermögen der Teilnehmer mittels „Sniffin‘ Sticks“-Testbatterie und das Schmeckvermögen mittels „Taste Strips“ getestet. Insgesamt konnten 41 freiwillige Teilnehmer in die Studie eingeschlossen werden. Die Teilnehmer wurden vor Studienbeginn einer ärztlichen oralen Untersuchung unterzogen. Bekannte Riech- oder Schmeckstörungen vor Studienbeginn, Tumorerkrankungen oder –therapie (Radiochemotherapie) im Kopf-Hals-Bereich, eine vorangegangene Tracheotomie und andere akute Erkrankungen, wie z. B. eine Infektion der oberen Atemwege oder eine neurologische Erkrankung (z.B. Parkinsonerkrankung, Demenz) waren Ausschlusskriterien der Studie. Die Messungen wurden bei jedem Teilnehmer zuerst mit gaumenbedeckender Prothese und direkt im Anschluss ohne Prothese durchgeführt. Zusätzlich wurden die Teilnehmer mittels eines Fragebogens zur subjektiven Wahrnehmung ihres Riech- und Schmeckvermögens sowie zu verschiedenen Einflussfaktoren wie Appetit, Passform der Prothese, ihrem Speichelfluss, Zungenbelag oder Parodontose befragt.

Ergebnisse:

Beim Riechschwellentest der Sniffin-Sticks-Testbatterie zeigten sich ohne

Prothese statistisch signifikant bessere Ergebnisse als mit Prothese ($p = < 0,0001$).

Auch im Schmecktest mittels Taste-Strips erreichten die Teilnehmer ohne Prothese sowohl beim Gesamttestwert ($p = < 0,001$) als auch für die Einzelwerte der Schmeckqualitäten „salzig“ ($p = 0,001$) und „bitter“ ($p = 0,002$) signifikant höhere Werte ohne Prothese. Für die Schmeckqualitäten „süß“ und „sauer“ zeigte sich bei den Testergebnissen mit und ohne Prothese kein signifikanter Unterschied.

Die per Fragebogen erhobene Selbsteinschätzung der Teilnehmer (VAS) und die erfragten Merkmale (Geschlecht, Alter, BMI, Rauchen, Passform der Prothese, Vorhandensein einer Unterkieferprothese, Parodontitis, Zungenbelag) zeigten keinerlei statistische Korrelation mit den Testergebnissen des Riechschwellentests und der Schmecktestung mittels „Taste Strips“.

Diskussion:

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stützen die Hypothese, dass gaumenbedeckende Zahnprothesen zu einer Verschlechterung des Riech- und Schmeckvermögens führen.

Aufgrund der Konvergenz trigeminaler, gustatorischer und olfaktorischer Nervenbahnen im Hirnstamm und in höheren kortikalen Zentren ist es denkbar, dass Zahnprothesen über die Stimulation trigeminaler Afferenzen im Mundraum die gustatorische und die olfaktorische Perzeption beeinflussen. Durch Zahnprothesen verursachte Änderungen des oralen Mikrobioms, der Speichелеigenschaften, der oralen Temperatur sowie der Kaubewegungen könnten ebenfalls eine Rolle spielen.

Schlussfolgerungen:

Die vorliegende Studie zeigt einen negativen Einfluss von gaumenbedeckenden Zahnprothesen auf das Riech- und Schmeckvermögen ihrer Träger. Sollten sich diese Ergebnisse in weiteren Studien mit größerer Teilnehmerzahl bestätigen, wäre die Entwicklung alternativer Konstruktionsweisen von Zahnprothesen ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Lebensqualität und der Gesundheit ihrer Träger. Außerdem sollte Patienten zu vermehrtem Einsatz von Gewürzen und zu wechselnder Konsistenz der Speisen geraten werden. Der Salz- und Zuckerkonsum sollte hingegen limitiert werden.

6 Summary

Background:

Olfactory and gustatory impairment adversely affects quality of life of those affected. It leads to decreased appetite, malnutrition and excessive use of salt and sweeteners and thus favours the development of cardiovascular diseases. In 2016 12,4 % of the 65 to 74 year-old and 32,8 % of the 75 to 100 year-old were edentulous in Germany and therefore in need of prosthodontic treatment. The type of dentures used most were removable palate covering complete dentures. As societies in Germany and the western world are continuously aging, the absolute number of edentulous patient will keep growing and adequate therapeutical care will be of great importance.

This study should examine the possible influence of palate covering dentures on smell and taste perception by using validated test protocols. Furthermore, the probands' self-perceived olfactory and gustatory capacities were assessed by a questionnaire.

Methods:

In this study 41 participants gave their informed written consent to participate. To evaluate the olfactory threshold, the the threshold section of the Sniffin' Sticks-battery was performed. Taste thresholds for the perception of sweet, sour, salty and bitter were examined by using the Taste Strips test. Before starting the tests, the participants were orally examined by a medical professional. Known olfactory or gustatory impairment, cancer or cancer treatment (radiochemotherapy) in the head-neck region, previous tracheotomy, acute diseases (e.g. infection of the upper airways) or neurologic diseases (e.g. Parkinson's disease, dementia) were considered as exclusion criteria for this study.

First, the participants were tested with dentures in place and then immediately afterwards tested without dentures in place. Furthermore, the participants completed a questionnaire on their self-perception of olfactory and gustatory abilities and on other variables such as saliva production, correct fit of the prosthesis, appetite, tongue coating and periodontosis.

Results:

Olfactory thresholds were significantly higher when performing the test with

dentures in place compared to testing without dentures ($p = < 0,0001$). The same could be observed for the overall taste threshold ($p = < 0,001$) and for the taste qualities “salty“ ($p = 0,001$) and “bitter“ ($p = 0,002$). No difference could be noted for the taste qualities “sweet“ and “sour“.

The results of the questionnaire did not show any statistical correlation to the test results.

Discussion:

The test results support the hypothesis that palatine covering dentures impair the perception of both, olfactory and gustatory stimuli. As there is a convergence of trigeminal, gustatory and olfactory afferences on multiple levels of the central nervous system, unphysiological stimulation of trigeminal afferents could influence the overall gustatory and olfactory perception. Denture-related changes of the oral microbioma, altered chewing movements, modified saliva properties and changes in the oral temperature could also be responsible for worse taste and smell capacities in complete denture wearers.

Conclusions:

The results of this study show a negative impact of palatine covering dental prostheses on olfactory and gustatory abilities of their wearers. If these results are confirmed in further studies with a bigger numbers of participants, the development of alternatively designed dentures might contribute to an improved quality of life and health of those wearing them. Patients undergoing prothetic treatment should be advised to use more spices and alter their meals' consistencies regularly in order to stimulate trigeminal receptors. Salt and sweeteners should be used restrictedly.

7 Literaturverzeichnis

- Abarca, M., van Steenberghe, D., Malevez, C., Jacobs, R., 2006. The neurophysiology of osseointegrated oral implants. A clinically underestimated aspect. *Journal of oral rehabilitation* 33, 161–169.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01556.x>
- Albrecht, J., Wiesmann, M., 2006. Das olfaktorische System des Menschen. *Anatomie und Physiologie. Der Nervenarzt* 77, 931–939.
<https://doi.org/10.1007/s00115-006-2121-z>
- Al-Dwairi, Z., Lynch, E., 2014. Xerostomia in complete denture wearers: prevalence, clinical findings and impact on oral functions. *Gerodontology* 31, 49–55. <https://doi.org/10.1111/ger.12002>
- Alzarea, B.K., 2015. Temporomandibular Disorders (TMD) in Edentulous Patients: A Review and Proposed Classification (Dr. Bader's Classification). *Journal of clinical and diagnostic research : JCDR* 9, ZE06-9.
<https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13535.5826>
- Araneda, R.C., Kini, A.D., Firestein, S., 2000. The molecular receptive range of an odorant receptor. *Nature neuroscience* 3, 1248–1255.
<https://doi.org/10.1038/81774>
- Aschenbrenner, K., Hummel, C., Teszmer, K., Krone, F., Ishimaru, T., Seo, H.-S., Hummel, T., 2008. The influence of olfactory loss on dietary behaviors. *Laryngoscope* 118, 135–144. <https://doi.org/10.1097/MLG.0b013e318155a4b9>
- Askwith, C.C., Benson, C.J., Welsh, M.J., Snyder, P.M., 2001. DEG/ENaC ion channels involved in sensory transduction are modulated by cold temperature. *PNAS* 98, 6459–6463. <https://doi.org/10.1073/pnas.111155398>
- Atasever, N.E., Ercan, M.T., Naldöken, S., Ulutuncel, N., 1991. Effect of wearing complete dentures on human palatal mucosal blood flow measured by ¹³³Xe clearance. *Archives of Oral Biology* 36, 627–630.
[https://doi.org/10.1016/0003-9969\(91\)90013-K](https://doi.org/10.1016/0003-9969(91)90013-K)
- Atwood, D.A., 1963. Postextraction changes in the adult mandible as illustrated by microradiographs of midsagittal sections and serial cephalometric

- roentgenograms. *The Journal of prosthetic dentistry* 13, 810–824.
[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(63\)90225-7](https://doi.org/10.1016/0022-3913(63)90225-7)
- Aumüller, G., 2010. Nase und Nasennebenhöhlen, in: Aumüller, G. (Ed.), *Anatomie, Duale Reihe*. Thieme, Stuttgart.
- Awayda, M.S., Shao, W., Guo, F., Zeidel, M., Hill, W.G., 2004. ENaC–Membrane Interactions : Regulation of Channel Activity by Membrane Order. *Journal of General Physiology* 123, 709–727.
<https://doi.org/10.1085/jgp.200308983>
- Ayabe-Kanamura, S., Schicker, I., Laska, M., Hudson, R., Distel, H., Kobayakawa, T., Saito, S., 1998. Differences in perception of everyday odors: a Japanese-German cross-cultural study. *Chem Senses* 23, 31–38.
<https://doi.org/10.1093/chemse/23.1.31>
- Bakalyar, H., Reed, R., 1990. Identification of a specialized adenylyl cyclase that may mediate odorant detection. *Science* 250, 1403–1406.
<https://doi.org/10.1126/science.2255909>
- Bartoshuk, Linda M., Miller, I.J., 1991. Taste Perception, Taste Bud Distribution, and Spatial Relationships., in: Getchell, T.V., Bartoshuk, L. M., Snow, J.B. (Eds.), *Smell and Taste in Health and Disease*. Raven Press, New York, pp. 205–233.
- Bartoshuk, L.M., Duffy, V.B., Miller, I.J., 1994. PTC/PROP tasting: anatomy, psychophysics, and sex effects. *Physiol Behav* 56, 1165–1171.
[https://doi.org/10.1016/0031-9384\(94\)90361-1](https://doi.org/10.1016/0031-9384(94)90361-1)
- Batisse, C., Bonnet, G., Eschevins, C., Hennequin, M., Nicolas, E., 2017. The influence of oral health on patients' food perception: a systematic review. *Journal of oral rehabilitation* 44, 996–1003. <https://doi.org/10.1111/joor.12535>
- Beites, C.L., Kawauchi, S., Crocker, C.E., Calof, A.L., 2005. Identification and molecular regulation of neural stem cells in the olfactory epithelium. *Experimental cell research* 306, 309–316.
<https://doi.org/10.1016/j.yexcr.2005.03.027>

Bertino, M., Beauchamp, G.K., Jen, K.C., 1983. Rated taste perception in two cultural groups. *Chem Senses* 8, 3–15. <https://doi.org/10.1093/chemse/8.1.3>

Bhojar, P.S., Godbole, S.R., Thombare, R.U., Pakhan, A.J., 2012. Effect of complete edentulism on masseter muscle thickness and changes after complete denture rehabilitation: an ultrasonographic study. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry* 3, 45–50. <https://doi.org/10.1111/j.2041-1626.2011.0088.x>

Bianchi, V.E., 2020. Impact of Nutrition on Cardiovascular Function. *Current Problems in Cardiology* 45, 100391. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2018.08.003>

Bidra, A.S., Farrell, K., Burnham, D., Dhingra, A., Taylor, T.D., Kuo, C.-L., 2016. Prospective cohort pilot study of 2-visit CAD/CAM monolithic complete dentures and implant-retained overdentures: Clinical and patient-centered outcomes. *J Prosthet Dent* 115, 578-586.e1. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.10.023>

Binsu, S., Nair, K.C., Jhon, B., Nayar, S., Julian, J., Shahid, M., 2017. Ultrasonic evaluation of influence of hard acrylic resin denture on blood flow of mandibular denture supporting mucosa utilizing duplex color Doppler studies: An in vivo study. *J Indian Prosthodont Soc* 17, 289–294. https://doi.org/10.4103/jips.jips_12_17

Boucher, Y., Berteretche, M.-V., Farhang, F., Arvy, M.-P., Azérad, J., Faurion, A., 2006. Taste deficits related to dental deafferentation: an electrogustometric study in humans. *European Journal of Oral Sciences* 114, 456–464. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2006.00401.x>

Boucher, Y., Simons, C.T., Faurion, A., Azérad, J., Carstens, E., 2003. Trigeminal modulation of gustatory neurons in the nucleus of the solitary tract. *Brain Res* 973, 265–274. [https://doi.org/10.1016/s0006-8993\(03\)02526-5](https://doi.org/10.1016/s0006-8993(03)02526-5)

Braud, A., Boucher, Y., 2020. Intra-oral trigeminal-mediated sensations influencing taste perception: A systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation* 47, 258–269. <https://doi.org/10.1111/joor.12889>

- Braud, A., Vandenbeuch, A., Zerari-Mailly, F., Boucher, Y., 2012. Dental afferents project onto gustatory neurons in the nucleus of the solitary tract. *J Dent Res* 91, 215–220. <https://doi.org/10.1177/0022034511429569>
- Breslin, P.A.S., Huang, L., 2006. Human taste: peripheral anatomy, taste transduction, and coding. *Adv. Otorhinolaryngol.* 63, 152–190. <https://doi.org/10.1159/000093760>
- Bromley, S.M., Doty, R.L., 2015. Clinical Disorders Affecting Taste: An Update, in: *Handbook of Olfaction and Gustation*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 887–910. <https://doi.org/10.1002/9781118971758.ch39>
- Bucca, C.B., Carossa, S., Colagrande, P., Brussino, L., Chiavassa, G., Pera, P., Rolla, G., Preti, G., 2001. Effect of edentulism on spirometric tests. *Am J Respir Crit Care Med* 163, 1018–1020. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.163.4.2005022>
- Buck, L., Axel, R., 1991. A novel multigene family may encode odorant receptors: A molecular basis for odor recognition. *Cell* 65, 175–187.
- Bult, J.H.F., de Wijk, R.A., Hummel, T., 2007. Investigations on multimodal sensory integration: texture, taste, and ortho- and retronasal olfactory stimuli in concert. *Neurosci Lett* 411, 6–10. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.09.036>
- Caicedo, A., Roper, S.D., 2001. Taste receptor cells that discriminate between bitter stimuli. *Science* 291, 1557–1560. <https://doi.org/10.1126/science.1056670>
- Cain, W.S., Gent, J.F., Goodspeed, R.B., Leonard, G., 1988. Evaluation of olfactory dysfunction in the Connecticut Chemosensory Clinical Research Center. *Laryngoscope* 98, 83–88. <https://doi.org/10.1288/00005537-198801000-00017>
- Cain, W.S., Rabin, M.D., 1989. Comparability of two tests of olfactory functioning. *Chemical Senses* 14, 479–485. <https://doi.org/10.1093/chemse/14.4.479>
- Carlsson, G.E., 1998. Clinical morbidity and sequelae of treatment with complete dentures. *The Journal of prosthetic dentistry* 79, 17–23. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(98\)70188-X](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(98)70188-X)

- Cerf-Ducastel, B., Van de Moortele, P.F., MacLeod, P., Le Bihan, D., Faurion, A., 2001. Interaction of gustatory and lingual somatosensory perceptions at the cortical level in the human: a functional magnetic resonance imaging study. *Chem Senses* 26, 371–383. <https://doi.org/10.1093/chemse/26.4.371>
- 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, 297–301. <https://doi.org/10.1038/nature08783>
- Chandrashekar, J., Mueller, K.L., Hoon, M.A., Adler, E., Feng, L., Guo, W., Zuker, C.S., Ryba, N.J., 2000. T2Rs function as bitter taste receptors. *Cell* 100, 703–711. [https://doi.org/10.1016/s0092-8674\(00\)80706-0](https://doi.org/10.1016/s0092-8674(00)80706-0)
- 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. *Arch Oral Biol* 51, 427–432. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2005.10.002>
- Chen, Q., Zou, D., Feng, H., Pan, S., 2017. Will wearing dentures affect edentulous patients' breathing during sleep? *Sleep Breath* 21, 589–594. <https://doi.org/10.1007/s11325-017-1457-x>
- Chraïbi, A., Horisberger, J.-D., 2003. Dual effect of temperature on the human epithelial Na⁺ channel. *Pflugers Arch - Eur J Physiol* 447, 316–320. <https://doi.org/10.1007/s00424-003-1178-9>
- Compagnoni, M.A., de Souza, R.F., Leles, C.R., 2003. Kinesiographic study of complete denture movement related to mucosa displacement in edentulous patients. *Pesquisa odontologica brasileira = Brazilian oral research* 17, 356–361. <https://doi.org/10.1590/s1517-74912003000400011>
- Contreras, R.J., Beckstead, R.M., Norgren, R., 1982. The central projections of the trigeminal, facial, glossopharyngeal and vagus nerves: an autoradiographic study in the rat. *J Auton Nerv Syst* 6, 303–322. [https://doi.org/10.1016/0165-1838\(82\)90003-0](https://doi.org/10.1016/0165-1838(82)90003-0)
- Costa, M.M.B., Santana, E., Almeida, J. de, 2010. Oral taste recognition in health volunteers. *Arquivos de Gastroenterologia* 47, 152–158. <https://doi.org/10.1590/S0004-28032010000200007>

Costacurta, M., Petrini, M., Biferi, V., Arcuri, C., Spoto, G., Brescia, A., Docimo, R., 2020. Dental prosthesis and halitosis: Evaluation of oral malodor in patients with and without a dental prosthesis. *Journal of Osseointegration* 12, 730–735.
<https://doi.org/10.23805/JO.2020.12.03.4>

Cruz, A., Green, B.G., 2000. Thermal stimulation of taste. *Nature* 403, 889–892.
<https://doi.org/10.1038/35002581>

Dalton, P., 2000. Psychophysical and behavioral characteristics of olfactory adaptation. *Chem Senses* 25, 487–492.
<https://doi.org/10.1093/chemse/25.4.487>

Damm, M., Hüttenbrink, K.-B., Hummel, T., Landis, B., Göktas, Ö., 2016. AWMF-Leitlinie 0 17/0 50 - Riech- und Schmeckstörungen.

Darvell, B.W., Clark, R.K.F., 2000. The physical mechanisms of complete denture retention. *British Dental Journal* 189, 248–252.
<https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4800734>

de Souza, R.F., Marra, J., Pero, A.C., Regis, R.R., Compagnoni, M.A., Paleari, A.G., 2009. Maxillary complete denture movement during chewing in mandibular removable partial denture wearers. *Gerodontology* 26, 19–25.
<https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2008.00248.x>

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. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 117, 519–528.
<https://doi.org/10.1001/archotol.1991.01870170065015>

Dennis, J.C., Aono, S., Vodyanoy, V.J., Morrison, E., 2015. Development, Morphology, and Functional Anatomy of the Olfactory Epithelium, in: Doty, R.L. (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation*.

DeSimone, J.A., Phan, T.-H.T., Mummalaneni, S., Rhyu, M.-R., Heck, G.L., Lyall, V., 2015. Regulatory Effects of Ca²⁺ and H⁺ on the Rat Chorda Tympani Response to NaCl and KCl. *Chem Senses* 40, 401–412.
<https://doi.org/10.1093/chemse/bjv022>

Dhallan, R.S., Yau, K.W., Schrader, K.A., Reed, R.R., 1990. Primary structure and functional expression of a cyclic nucleotide-activated channel from olfactory neurons. *Nature* 347, 184–187. <https://doi.org/10.1038/347184a0>

Dorey, J.L., Blasberg, B., MacEntee, M.I., Conklin, R.J., 1985. Oral mucosal disorders in denture wearers. *Journal of Prosthetic Dentistry* 53, 210–213. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(85\)90111-8](https://doi.org/10.1016/0022-3913(85)90111-8)

Doty, R.L. (Ed.), 2015. *Handbook of olfaction and gustation*, Third edition. ed. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey. <https://doi.org/10.1002/9781118971758>

Draghun, A., 2010. Der Geruchssinn: Zentrale Verarbeitung und Geruchswahrnehmung, in: Klinke, R., Pape, H.-C., Kurtz, A., Silbernagl, S. (Eds.), *Physiologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Dsamou, M., Palicki, O., Septier, C., Chabanet, C., Lucchi, G., Ducoroy, P., Chagnon, M.-C., Morzel, M., 2012. Salivary Protein Profiles and Sensitivity to the Bitter Taste of Caffeine. *Chemical Senses* 37, 87–95. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjr070>

Duffy, V.B., Backstrand, J.R., Ferris, A.M., 1995. Olfactory dysfunction and related nutritional risk in free-living, elderly women. *J Am Diet Assoc* 95, 879–884; quiz 885–886. [https://doi.org/10.1016/S0002-8223\(95\)00244-8](https://doi.org/10.1016/S0002-8223(95)00244-8)

Duffy, V.B., Cain, W.S., Ferris, A.M., 1999. Measurement of sensitivity to olfactory flavor: application in a study of aging and dentures. *Chemical Senses* 24, 671–677. <https://doi.org/10.1093/chemse/24.6.671>

Ennis, M., Holy, T.E., 2015. Anatomy and Neurobiology of the Main and Accessory Olfactory Bulbs, in: Doty, R.L. (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation*.

Farbman, A.I., 1980. Renewal of taste bud cells in rat circumvallate papillae. *Cell Tissue Kinet* 13, 349–357. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2184.1980.tb00474.x>

Felizardo, R., Boucher, Y., Braud, A., Carstens, E., Dauvergne, C., Zerari-Mailly, F., 2009. Trigeminal projections on gustatory neurons of the nucleus of

the solitary tract: a double-label strategy using electrical stimulation of the chorda tympani and tracer injection in the lingual nerve. *Brain Res* 1288, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.07.002>

Feng, Y., Licandro, H., Martin, C., Septier, C., Zhao, M., Neyraud, E., Morzel, M., 2018. The Associations between Biochemical and Microbiological Variables and Taste Differ in Whole Saliva and in the Film Lining the Tongue [WWW Document]. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2018/2838052>

Féron, F., Perry, C., McGrath, J.J., Mackay-Sim, A., 1998. New Techniques for Biopsy and Culture of Human Olfactory Epithelial Neurons. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 124, 861. <https://doi.org/10.1001/archotol.124.8.861>

Fjaeldstad, A., Kjaergaard, T., Van Hartevelt, T.J., Moeller, A., Kringelbach, M.L., Ovesen, T., 2015. Olfactory screening: validation of Sniffin' Sticks in Denmark. *Clin Otolaryngol* 40, 545–550. <https://doi.org/10.1111/coa.12405>

Fontijn-Tekamp, F.A., Slagter, A.P., van der Bilt, A., van 'T Hof, M.A., Witter, D.J., Kalk, W., Jansen, J.A., 2000. Biting and chewing in overdentures, full dentures, and natural dentitions. *Journal of dental research* 79, 1519–1524. <https://doi.org/10.1177/00220345000790071501>

Friel, E.N., Taylor, A.J., 2001. Effect of salivary components on volatile partitioning from solutions. *J Agric Food Chem* 49, 3898–3905. <https://doi.org/10.1021/jf010371e>

Fu, O., Iwai, Y., Narukawa, M., Ishikawa, A.W., Ishii, K.K., Murata, K., Yoshimura, Y., Touhara, K., Misaka, T., Minokoshi, Y., Nakajima, K.-I., 2019. Hypothalamic neuronal circuits regulating hunger-induced taste modification. *Nat Commun* 10, 4560. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12478-x>

Fujiyama, R., Toda, K., 2017. Functional effects of cold stimulation on taste perception in humans. *Odontology* 105, 275–282. <https://doi.org/10.1007/s10266-016-0263-4>

Furchtgott, E., Friedman, M.P., 1960. The effects of hunger on taste and odor RLs. *J Comp Physiol Psychol* 53, 576–581. <https://doi.org/10.1037/h0044654>

- Galhano, G.Á.P., Pellizzer, E.P., Mazaro, J.V.Q., 2012. Optical Impression Systems for CAD-CAM Restorations. *Journal of Craniofacial Surgery* 23, e575. <https://doi.org/10.1097/SCS.0b013e31826b8043>
- Gardner, A., So, P.W., Carpenter, G.H., 2020. Intraoral Microbial Metabolism and Association with Host Taste Perception. *J Dent Res* 99, 739–745. <https://doi.org/10.1177/0022034520917142>
- Garrett, N.R., Kapur, K.K., Jochen, D.G., 1994. Oral stereognostic ability and masticatory performance in denture wearers. *Int J Prosthodont* 7, 567–573.
- Ghaffari, T., Hamed Rad, F., Mosadeg Kahnamoee, S., 2009. Evaluation of the Effect of Upper Complete Denture on Gustatory and Olfactory Senses. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects* 3, 132–135. <https://doi.org/10.5681/joddd.2009.032>
- Gilbertson, T.A., Avenet, P., Kinnamon, S.C., Roper, S.D., 1992. Proton currents through amiloride-sensitive Na channels in hamster taste cells. Role in acid transduction. *J. Gen. Physiol.* 100, 803–824. <https://doi.org/10.1085/jgp.100.5.803>
- Gonçalves, T.M.S.V., Vilanova, L.S.R., Gonçalves, L.M., Garcia, R.C.M.R., 2014. Effect of complete and partial removable dentures on chewing movements. *Journal of Oral Rehabilitation* 41, 177–183. <https://doi.org/10.1111/joor.12125>
- Goodspeed, R.B., Gent, J.F., Catalanotto, F.A., 1987. Chemosensory dysfunction. Clinical evaluation results from a taste and smell clinic. *Postgrad Med* 81, 251–257, 260. <https://doi.org/10.1080/00325481.1987.11699680>
- Grasso, J.E., Catalanatto, F.A., 1979. The effects of age and full palatal coverage on oral stereognostic ability. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 41, 215–219. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(79\)90310-X](https://doi.org/10.1016/0022-3913(79)90310-X)
- Griep, M.I., Mets, T.F., Collys, K., Vogelaere, P., Laska, M., Massart, D.L., 1997. Odour perception in relation to age, general health, anthropometry and dental state. *Arch Gerontol Geriatr* 25, 263–275. [https://doi.org/10.1016/s0167-4943\(97\)00017-4](https://doi.org/10.1016/s0167-4943(97)00017-4)

- Guichard, E., 2006. Flavour retention and release from protein solutions. *Biotechnol Adv* 24, 226–229. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.11.003>
- Haggard, P., de Boer, L., 2014. Oral somatosensory awareness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 47, 469–484. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.09.015>
- Hahn, I., Scherer, P.W., Mozell, M.M., 1993. Velocity profiles measured for airflow through a large-scale model of the human nasal cavity. *Journal of Applied Physiology* 75, 2273–2287.
- Halata, Z., Cooper, B.Y., Baumann, K.I., Schwegmann, C., Friedman, R.M., 1999. Sensory nerve endings in the hard palate and papilla incisiva of the goat. *Exp Brain Res* 129, 218–228. <https://doi.org/10.1007/s002210050892>
- Hamilton, R.B., Norgren, R., 1984. Central projections of gustatory nerves in the rat. *The Journal of comparative Neurology* 222, 560–577. <https://doi.org/10.1002/cne.902220408>
- Hammond, R., Beder, O.E., Ratener, P.E., 1983. Palatal receptor contribution to and effects of palatal alteration on taste acuity thresholds. *J Prosthet Dent* 49, 121–125. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(83\)90251-2](https://doi.org/10.1016/0022-3913(83)90251-2)
- Har-Zion, G., Brin, I., Steiner, J., 2004. Psychophysical testing of taste and flavour reactivity in young patients undergoing treatment with removable orthodontic appliances. *European journal of orthodontics* 26, 73–78. <https://doi.org/10.1093/ejo/26.1.73>
- He, F.J., MacGregor, G.A., 2009. A comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes. *J Hum Hypertens* 23, 363–384. <https://doi.org/10.1038/jhh.2008.144>
- Heck, G.L., Mierson, S., DeSimone, J.A., 1984. Salt taste transduction occurs through an amiloride-sensitive sodium transport pathway. *Science* 223, 403–405. <https://doi.org/10.1126/science.6691151>
- 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. *J Dent Res* 84, 35–38.

<https://doi.org/10.1177/154405910508400105>

Heidsieck, D.S.P., de Ruiter, M.H.T., de Lange, J., 2016. Management of obstructive sleep apnea in edentulous patients: an overview of the literature. *Sleep Breath* 20, 395–404.

<https://doi.org/10.1007/s11325-015-1285-9>

Henkin, R.I., Christiansen, R.L., 1967. Taste thresholds in patients with dentures. *Journal of the American Dental Association* (1939) 75, 118–120.

<https://doi.org/10.14219/jada.archive.1967.0226>

Hodgson, M., Linforth, R.S.T., Taylor, A.J., 2003. Simultaneous real-time measurements of mastication, swallowing, nasal airflow, and aroma release. *J Agric Food Chem* 51, 5052–5057.

<https://doi.org/10.1021/jf030118+>

Hoffman, H.J., Ishii, E.K., MacTurk, R.H., 1998. Age-related changes in the prevalence of smell/taste problems among the United States adult population. Results of the 1994 disability supplement to the National Health Interview Survey (NHIS). *Annals of the New York Academy of Sciences* 855, 716–722.

<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10650.x>

<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb10650.x>

Hongchen, L., Jilin, Z., Ning, L., 1992. Edentulous position of the temporomandibular joint. *The Journal of prosthetic dentistry* 67, 401–404.

[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(92\)90257-B](https://doi.org/10.1016/0022-3913(92)90257-B)

Hornung, D.E., Kurtz, D.B., Bradshaw, C.B., Seipel, D.M., Kent, P.F., Blair, D.C., Emko, P., 1998. The olfactory loss that accompanies an HIV infection. *Physiol Behav* 64, 549–556.

[https://doi.org/10.1016/s0031-9384\(98\)00112-7](https://doi.org/10.1016/s0031-9384(98)00112-7)

Huang, Y.A., Maruyama, Y., Stimac, R., Roper, S.D., 2008. Presynaptic (Type III) cells in mouse taste buds sense sour (acid) taste. *J. Physiol. (Lond.)* 586, 2903–2912.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2008.151233>

Huang, Y.A., Roper, S.D., 2010. Intracellular Ca(2+) and TRPM5-mediated membrane depolarization produce ATP secretion from taste receptor cells. *J. Physiol. (Lond.)* 588, 2343–2350.

<https://doi.org/10.1113/jphysiol.2010.191106>

Huang, Y.-J., Maruyama, Y., Dvoryanchikov, G., Pereira, E., Chaudhari, N., Roper, S.D., 2007. The role of pannexin 1 hemichannels in ATP release and

cell-cell communication in mouse taste buds. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 6436–6441. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611280104>

Hummel, T., Frasnelli, J., 2019. The intranasal trigeminal system. *Handb Clin Neurol* 164, 119–134. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63855-7.00008-3>

Hummel, T., Kobal, G., Gudziol, H., Mackay-Sim, A., 2007. Normative data for the Sniffin' Sticks including tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds: an upgrade based on a group of more than 3,000 subjects. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 264, 237–243. <https://doi.org/10.1007/s00405-006-0173-0>

Hummel, T., Rissom, K., Reden, J., Hähner, A., Weidenbecher, M., Hüttenbrink, K.-B., 2009. Effects of olfactory training in patients with olfactory loss. *The Laryngoscope* 119, 496–499. <https://doi.org/10.1002/lary.20101>

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

Ikebe, K., Nokubi, T., Ettinger, R.L., Namba, H., Tanioka, N., Iwase, K., Ono, T., 2002. Dental status and satisfaction with oral function in a sample of community-dwelling elderly people in Japan. *Spec Care Dentist* 22, 33–40. <https://doi.org/10.1111/j.1754-4505.2002.tb01207.x>

Imfeld, T.N., Schroeder, H.E., 1992. Palatal taste buds in man: topographical arrangement in islands of keratinized epithelium. *Anat Embryol (Berl)* 185, 259–269. <https://doi.org/10.1007/BF00211824>

Indrakumar, H.S., Venkatesh, D., Adoni, V.V., Kashyap, R., Jayanthi, D., Prakash, N., 2018. Spirometric Assessment of Impact of Complete Dentures on Respiratory Performance: An in vitro Study. *J Contemp Dent Pract* 19, 177–180. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2233>

International Health Conference, 2002. Constitution of the World Health Organization. 1946. *Bulletin of the World Health Organization* 80, 983–984.

Ishikawa, S., Nakayama, T., Watanabe, M., Matsuzawa, T., 2006. Visualization of Flow Resistance in Physiological Nasal Respiration: Analysis of Velocity and Vorticities Using Numerical Simulation. *Archives of Otolaryngology–Head & Neck Surgery* 132, 1203–1209. <https://doi.org/10.1001/archotol.132.11.1203>

Ishizaki, K., Sakurai, K., Tazaki, M., Inoue, T., 2006. Response of Merkel cells in the palatal rugae to the continuous mechanical stimulation by palatal plate. *Somatosensory & Motor Research* 23, 63–72. <https://doi.org/10.1080/08990220600741069>

Janeva, N.M., Kovacevska, G., Elencevski, S., Panchevska, S., Mijoska, A., Lazarevska, B., 2018. Advantages of CAD/CAM versus Conventional Complete Dentures - A Review. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences* 6, 1498–1502. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2018.308>

Jauhiainen, L., Männistö, S., Ylöstalo, P., Vehkalahti, M., Nordblad, A., Turunen, A.W., Suominen, A.L.N., 2017. Food Consumption and Nutrient Intake in Relation to Denture Use in 55- to 84-Year-Old Men and Women -Results of a Population Based Survey. *The journal of nutrition, health & aging* 21, 492–500. <https://doi.org/10.1007/s12603-016-0793-z>

John, M.T., Slade, G.D., Szentpétery, A., Setz, J.M., 2004. Oral health-related quality of life in patients treated with fixed, removable, and complete dentures 1 month and 6 to 12 months after treatment. *The International journal of prosthodontics* 17, 503–511.

Jones, D., Reed, R., 1989. Golf: an olfactory neuron specific-G protein involved in odorant signal transduction. *Science* 244, 790–795. <https://doi.org/10.1126/science.2499043>

Jones, N., 2001. The nose and paranasal sinuses physiology and anatomy. *Advanced Drug Delivery Reviews* 51, 5–19.

Jones-Gotman, M., Zatorre, R.J., 1988. Olfactory identification deficits in patients with focal cerebral excision. *Neuropsychologia* 26, 387–400. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(88\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(88)90093-0)

Kapur, K.K., Fischer, E.E., 1981. Effect of denture base thermal conductivity on gustatory response. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 46, 603–609.

[https://doi.org/10.1016/0022-3913\(81\)90064-0](https://doi.org/10.1016/0022-3913(81)90064-0)

Kapur, K.K., Soman, S.D., 2006. Masticatory performance and efficiency in denture wearers. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 95, 407–411.

<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2006.03.012>

Kassebaum, N.J., Bernabé, E., Dahiya, M., Bhandari, B., Murray, C.J.L., Marcenes, W., 2014. Global Burden of Severe Tooth Loss: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res* 93, 20S-28S.

<https://doi.org/10.1177/0022034514537828>

Kattadiyil, M.T., Jekki, R., Goodacre, C.J., Baba, N.Z., 2015. Comparison of treatment outcomes in digital and conventional complete removable dental prosthesis fabrications in a predoctoral setting. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 114, 818–825. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.08.001>

Kim, J.-W., Samant, S.S., Seo, Y., Seo, H.-S., 2015. Variation in saltiness perception of soup with respect to soup serving temperature and consumer dietary habits. *Appetite* 84, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.09.018>

Kimoto, S., Ito, N., Nakashima, Y., Ikeguchi, N., Yamaguchi, H., Kawai, Y., 2013. Maxillary sensory nerve responses induced by different types of dentures. *Journal of Prosthodontic Research* 57, 42–45.

<https://doi.org/10.1016/j.jpor.2012.09.001>

Kimoto, S., Ogura, K., Feine, J.S., Sasai, H., Yamaguchi, H., Saito, T., Matsumaru, Y., Kobayashi, K., 2008. Asymptomatic hypoesthesia of the maxillary alveolar ridge in complete denture wearers. *J Oral Rehabil* 35, 670–676. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01818.x>

Kobal, G., Klimek, L., Wolfensberger, M., Gudziol, H., Temmel, A., Owen, C.M., Seeber, H., Pauli, E., Hummel, T., 2000. Multicenter investigation of 1,036 subjects using a standardized method for the assessment of olfactory function combining tests of odor identification, odor discrimination, and olfactory thresholds. *European archives of oto-rhino-laryngology* 257, 205–211.

<https://doi.org/10.1007/s004050050223>

Kobes, L., 1991. Abformung, in: Hupfau, L. (Ed.), *Totalprothesen, Praxis Der Zahnheilkunde*. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, pp. 103–128.

Kocabalkan, E., Turgut, M., 2005. Variation in blood flow of supporting tissue during use of mandibular complete dentures with hard acrylic resin base and soft relining: a preliminary study. *Int J Prosthodont* 18, 210–213.

Koike, T., Ishizaki, K., Ogami, K., Ueda, T., Sakurai, K., 2011. Influence of anterior palatal coverage on perception and retention in complete dentures. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 105, 272–279. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(11\)60043-7](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(11)60043-7)

Krespi, Y.P., Shrimel, M.G., Kacker, A., 2006. The relationship between oral malodor and volatile sulfur compound-producing bacteria. *Otolaryngol Head Neck Surg* 135, 671–676. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2005.09.036>

Kuhn, C., Bufe, B., Batram, C., Meyerhof, W., 2010. Oligomerization of TAS2R bitter taste receptors. *Chem. Senses* 35, 395–406. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjq027>

Kurahashi, T., Yau, K.W., 1993. Co-existence of cationic and chloride components in odorant-induced current of vertebrate olfactory receptor cells. *Nature* 363, 71–74. <https://doi.org/10.1038/363071a0>

Landis, B.N., Konnerth, C.G., Hummel, T., 2004. A study on the frequency of olfactory dysfunction. *Laryngoscope* 114, 1764–1769. <https://doi.org/10.1097/00005537-200410000-00017>

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. *J Neurol* 256, 242–248. <https://doi.org/10.1007/s00415-009-0088-y>

Leinders-Zufall, T., Rand, M.N., Shepherd, G.M., Greer, C.A., Zufall, F., 1997. Calcium Entry through Cyclic Nucleotide-Gated Channels in Individual Cilia of Olfactory Receptor Cells: Spatiotemporal Dynamics. *The Journal of Neuroscience* 17, 4136–4148.

- Lenz, E., 1999. Zahnprothetischer Status bei den Senioren, in: Dritte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS III), Materialienreihe. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, Köln, pp. 385–410.
- Leopold, D.A., Hummel, T., Schwob, J.E., Hong, S.C., Knecht, M., Kobal, G., 2000. Anterior distribution of human olfactory epithelium. *The Laryngoscope* 110, 417–421. <https://doi.org/10.1097/00005537-200003000-00016>
- Li, J., Lemon, C.H., 2015. Influence of stimulus and oral adaptation temperature on gustatory responses in central taste-sensitive neurons. *Journal of neurophysiology* 113, 2700–2712. <https://doi.org/10.1152/jn.00736.2014>
- Li, X., Staszewski, L., Xu, H., Durick, K., Zoller, M., Adler, E., 2002. Human receptors for sweet and umami taste. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99, 4692–4696. <https://doi.org/10.1073/pnas.072090199>
- Lin, W., Burks, C.A., Hansen, D.R., Kinnamon, S.C., Gilbertson, T.A., 2004. Taste receptor cells express pH-sensitive leak K⁺ channels. *J. Neurophysiol.* 92, 2909–2919. <https://doi.org/10.1152/jn.01198.2003>
- Lindemann, B., 2001. Receptors and transduction in taste. *Nature* 413, 219–225. <https://doi.org/10.1038/35093032>
- Linden, R.W.A., Scott, B.J.J., 1989. The effect of tooth extraction on periodontal ligament mechanoreceptors represented in the mesencephalic nucleus of the cat. *Archives of Oral Biology* 34, 937–941. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(89\)90049-6](https://doi.org/10.1016/0003-9969(89)90049-6)
- Liu, D., Liman, E.R., 2003. Intracellular Ca²⁺ and the phospholipid PIP₂ regulate the taste transduction ion channel TRPM5. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 100, 15160–15165. <https://doi.org/10.1073/pnas.2334159100>
- Lobbezoo, F., Trulsson, M., Jacobs, R., Svensson, P., Cadden, S.W., van Steenberghe, D., 2002. Topical review: modulation of trigeminal sensory input in humans: mechanisms and clinical implications. *J Orofac Pain* 16, 9–21.
- Lötsch, J., Reichmann, H., Hummel, T., 2008. Different odor tests contribute differently to the evaluation of olfactory loss. *Chem Senses* 33, 17–21. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjm058>

- Lowe, G., Gold, G.H., 1993. Nonlinear amplification by calcium-dependent chloride channels in olfactory receptor cells. *Nature* 366, 283–286.
<https://doi.org/10.1038/366283a0>
- Ly, A., Drewnowski, A., 2001. PROP (6-n-Propylthiouracil) tasting and sensory responses to caffeine, sucrose, neohesperidin dihydrochalcone and chocolate. *Chem Senses* 26, 41–47. <https://doi.org/10.1093/chemse/26.1.41>
- Mackay-Sim, A., 2010. Stem cells and their niche in the adult olfactory mucosa. *Archives Italiennes Biologie* 148, 47–57.
- Maeda, T., Stoltze, K., User, A., Kroone, H., Jensen, K.E., Brill, N., 1979. Mucosal temperature rises following long-term use of full dentures. *Journal of Oral Rehabilitation* 6, 273–278. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1979.tb01505.x>
- Maeda, Y., Okada, M., Makishi, A., Nokubi, T., Okuno, Y., Aoki, T., 1984. Using mandibular kinesiograph for measuring complete denture movements—a preliminary report. *The Journal of Osaka University Dental School* 24, 123–129.
- Malnic, B., Godfrey, P.A., Buck, L.B., 2004. The human olfactory receptor gene family. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101, 2584–2589.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0307882100>
- Marin, D.O.M., Leite, A.R.P., Paleari, A.G., Rodriguez, L.S., de Oliveira Junior, N.M., Pero, A.C., Compagnoni, M.A., 2014. Effect of a denture adhesive on the satisfaction and kinesiographic parameters of complete denture wearers: a cross-over randomized clinical trial. *Brazilian dental journal* 25, 391–398.
<https://doi.org/10.1590/0103-6440201302409>
- Marsh, P.D., Do, T., Beighton, D., Devine, D.A., 2016. Influence of saliva on the oral microbiota. *Periodontol 2000* 70, 80–92. <https://doi.org/10.1111/prd.12098>
- Mascioli, G., Berlucchi, G., Pierpaoli, C., Salvolini, U., Barbaresi, P., Fabri, M., Polonara, G., 2015. Functional MRI cortical activations from unilateral tactile-taste stimulations of the tongue. *Physiol Behav* 151, 221–229.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.07.031>

Matsunami, H., Montmayeur, J.P., Buck, L.B., 2000. A family of candidate taste receptors in human and mouse. *Nature* 404, 601–604.

<https://doi.org/10.1038/35007072>

Matsuo, K., Metani, H., Mays, K.A., Palmer, J.B., 2010. Effects of Respiration on Soft Palate Movement in Feeding. *J Dent Res* 89, 1401–1406.

<https://doi.org/10.1177/0022034510377336>

McManus, L.J., Dawes, P.J.D., Stringer, M.D., 2011. Clinical anatomy of the chorda tympani: a systematic review. *J Laryngol Otol* 125, 1101–1108.

<https://doi.org/10.1017/S0022215111001873>

Meyerhof, W., Batram, C., Kuhn, C., Brockhoff, A., Chudoba, E., Bufe, B., Appendino, G., Behrens, M., 2010. The molecular receptive ranges of human TAS2R bitter taste receptors. *Chem. Senses* 35, 157–170.

<https://doi.org/10.1093/chemse/bjp092>

Mishellany-Dutour, A., Woda, A., Labouré, H., Bourdiol, P., Lachaze, P., Guichard, E., Feron, G., 2012. Retro-nasal aroma release is correlated with variations in the in-mouth air cavity volume after empty deglutition. *PLoS One* 7, e41276. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041276>

Moberg, P., 1999. Olfactory Dysfunction in Schizophrenia A Qualitative and Quantitative Review. *Neuropsychopharmacology* 21, 325–340.

[https://doi.org/10.1016/S0893-133X\(99\)00019-6](https://doi.org/10.1016/S0893-133X(99)00019-6)

Mombaerts, P., 2004. Odorant receptor gene choice in olfactory sensory neurons: the one receptor-one neuron hypothesis revisited. *Current opinion in neurobiology* 14, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.01.014>

Mombaerts, P., Wang, F., Dulac, C., Chao, S.K., Nemes, A., Mendelsohn, M., Edmondson, J., Axel, R., 1996. Visualizing an Olfactory Sensory Map. *Cell* 87, 675–686. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)81387-2](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)81387-2)

Monaco, F., Reaume, C.E., Mallon, H.L., 1966. Edentulism and jaw fractures. *Minnesota medicine* 49, 113–119.

Montero, J., Castillo-Oyagüe, R., Lynch, C.D., Albaladejo, A., Castaño, A., 2013. Self-perceived changes in oral health-related quality of life after receiving

different types of conventional prosthetic treatments: a cohort follow-up study. *Journal of dentistry* 41, 493–503. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.01.006>

Moon, C., Jun Yoo, S., Soo Han, H., 2014. Smell, in: Aminoff, M.J., Daroff, R.B. (Eds.), *Encyclopedia of the Neurological Sciences (Second Edition)*. Academic Press, Oxford, pp. 216–220. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385157-4.00072-5>

Moran, D.T., Rowley, J., Jafek, B.W., Lovell, M.A., 1982. The fine structure of the olfactory mucosa in man. *Journal of Neurocytology* 11, 721–746.

Mori, K., 2003. Grouping of odorant receptors: Odour maps in the mammalian olfactory bulb. *Biochem. Soc. Trans.* 31, 134–136.
<https://doi.org/10.1042/bst0310134>

Morrison, E.E., Costanzo, R.M., 1990. Morphology of the human olfactory epithelium. *Journal of Comparative Neurology* 297, 1–13.

Morris-Wiman, J., Sego, R., Brinkley, L., Dolce, C., 2000. The effects of sialoadenectomy and exogenous EGF on taste bud morphology and maintenance. *Chem. Senses* 25, 9–19. <https://doi.org/10.1093/chemse/25.1.9>

Mounayar, R., Morzel, M., Brignot, H., Tremblay-Franco, M., Canlet, C., Lucchi, G., Ducoroy, P., Feron, G., Neyraud, E., 2014. Salivary markers of taste sensitivity to oleic acid: a combined proteomics and metabolomics approach. *Metabolomics* 10, 688–696. <https://doi.org/10.1007/s11306-013-0602-1>

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

Muñoz-González, C., Brulé, M., Feron, G., Canon, F., 2019. Does interindividual variability of saliva affect the release and metabolization of aroma compounds ex vivo? The particular case of elderly suffering or not from hyposalivation. *Journal of Texture Studies* 50, 36–44.
<https://doi.org/10.1111/jtxs.12382>

- Muñoz-González, C., Feron, G., Canon, F., 2018. Main effects of human saliva on flavour perception and the potential contribution to food consumption. *Proc Nutr Soc* 77, 423–431. <https://doi.org/10.1017/S0029665118000113>
- Murphy, C., Schubert, C.R., Cruickshanks, K.J., Klein, B.E.K., Klein, R., Nondahl, D.M., 2002. Prevalence of olfactory impairment in older adults. *JAMA* 288, 2307–2312. <https://doi.org/10.1001/jama.288.18.2307>
- Nakamura, T., Gold, G.H., 1987. A cyclic nucleotide-gated conductance in olfactory receptor cilia. *Nature* 325, 442–444. <https://doi.org/10.1038/325442a0>
- Nalcaci, R., Baran, I., 2008a. Oral malodor and removable complete dentures in the elderly. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105, e5-9. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2008.02.016>
- Nalcaci, R., Baran, I., 2008b. Factors associated with self-reported halitosis (SRH) and perceived taste disturbance (PTD) in elderly. *Archives of gerontology and geriatrics* 46, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2007.05.004>
- Neumann, C., Tsioulos, K., Merkonidis, C., Salam, M., Clark, A., Philpott, C., 2012. Validation study of the “Sniffin’ Sticks” olfactory test in a British population: a preliminary communication. *Clin Otolaryngol* 37, 23–27. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4486.2012.02431.x>
- Newton, J.P., Abel, E.W., Robertson, E.M., Yemm, R., 1987. Changes in human masseter and medial pterygoid muscles with age: a study by computed tomography. *Gerodontology* 3, 151–154.
- Newton, J.P., Yemm, R., Abel, R.W., Menhinick, S., 1993. Changes in human jaw muscles with age and dental state. *Gerodontology* 10, 16–22. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.1993.tb00074.x>
- Neyraud, E., Morzel, M., 2019. Biological films adhering to the oral soft tissues: Structure, composition, and potential impact on taste perception. *J Texture Stud* 50, 19–26. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12363>

- Ni, R., Michalski, M.H., Brown, E., Doan, N., Zinter, J., Ouellette, N.T., Shepherd, G.M., 2015. Optimal directional volatile transport in retronasal olfaction. *PNAS* 112, 14700–14704. <https://doi.org/10.1073/pnas.1511495112>
- Nicolay, D.J., Doucette, J.R., Nazarali, A.J., 2006. Transcriptional regulation of neurogenesis in the olfactory epithelium. *Cellular and molecular neurobiology* 26, 803–821. <https://doi.org/10.1007/s10571-006-9058-4>
- Nikolopoulou, F., Tzortzopoulou, E., 2007. Salivary pH in edentulous patients before and after wearing conventional dentures and implant overdentures: a clinical study. *Implant Dent* 16, 397–403. <https://doi.org/10.1097/ID.0b013e318159cad3>
- Nilsson, B., 1979. The occurrence of taste buds in the palate of human adults as evidenced by light microscopy. *Acta Odontologica Scandinavica* 37, 253–258. <https://doi.org/10.3109/00016357909004694>
- Nitschke, I., Stark, H., 2016a. Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei jüngeren Senioren (65- bis 74-Jährige), in: Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V), Materialienreihe. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, Köln, pp. 416–433.
- Nitschke, I., Stark, H., 2016b. Krankheits- und Versorgungsprävalenzen bei älteren Senioren (75- bis 100-Jährige), in: Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V), Materialienreihe. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, Köln, pp. 522–532.
- Nitschke, J.B., Dixon, G.E., Sarinopoulos, I., Short, S.J., Cohen, J.D., Smith, E.E., Kosslyn, S.M., Rose, R.M., Davidson, R.J., 2006. Altering expectancy dampens neural response to aversive taste in primary taste cortex. *Nat Neurosci* 9, 435–442. <https://doi.org/10.1038/nn1645>
- Nowjack-Raymer, R.E., Sheiham, A., 2003. Association of edentulism and diet and nutrition in US adults. *J Dent Res* 82, 123–126. <https://doi.org/10.1177/154405910308200209>
- O'Donnell, L.E., Robertson, D., Nile, C.J., Cross, L.J., Riggio, M., Sherriff, A., Bradshaw, D., Lambert, M., Malcolm, J., Buijs, M.J., Zaura, E., Crielaard, W., Brandt, B.W., Ramage, G., 2015. The Oral Microbiome of Denture Wearers Is

Influenced by Levels of Natural Dentition. PLoS One 10, e0137717.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137717>

Ohmura, S., Horimoto, S., Fujita, K., 1989. Lectin cytochemistry of the dark granules in the type 1 cells of Syrian hamster circumvallate taste buds. Arch. Oral Biol. 34, 161–166. [https://doi.org/10.1016/0003-9969\(89\)90003-4](https://doi.org/10.1016/0003-9969(89)90003-4)

Oncescu Moraru, A.M., Preoteasa, C.T., Preoteasa, E., 2019. Masticatory function parameters in patients with removable dental prosthesis. J Med Life 12, 43–48. <https://doi.org/10.25122/jml-2019-0028>

Pajukoski, H., Meurman, J.H., Snellman-Gröhn, S., Keinänen, S., Sulkava, R., 1997. Salivary flow and composition in elderly patients referred to an acute care geriatric ward. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology 84, 265–271. [https://doi.org/10.1016/S1079-2104\(97\)90341-3](https://doi.org/10.1016/S1079-2104(97)90341-3)

Palla, S., 1991. Bestimmung der Kieferrelation, in: Hupfau, L. (Ed.), Totalprothesen, Praxis Der Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, pp. 131–186.

Papaspyridakos, P., Chen, C.-J., Chuang, S.-K., Weber, H.-P., Gallucci, G.O., 2012. A systematic review of biologic and technical complications with fixed implant rehabilitations for edentulous patients. The International journal of oral & maxillofacial implants 27, 102–110.

Pasquet, P., Monneuse, M.-O., Simmen, B., Marez, A., Hladik, C.-M., 2006. Relationship between taste thresholds and hunger under debate. Appetite 46, 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2005.09.004>

Paulsen, F., Thale, A., 1998. Epithelial-connective tissue boundary in the oral part of the human soft palate. J Anat 193, 457–467. <https://doi.org/10.1046/j.1469-7580.1998.19330457.x>

Pence, T.S., Reiter, E.R., DiNardo, L.J., Costanzo, R.M., 2014. Risk Factors for Hazardous Events in Olfactory-Impaired Patients. JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery 140, 951–955. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2014.1675>

- Pevsner, J., Snyder, S.H., 1990. Odorant-binding protein: odorant transport function in vertebrate nasal epithelium. *Chemical Senses* 15, 217–222.
- Piancino, M.G., Farina, D., Talpone, F., Castroflorio, T., Gassino, G., Margarino, V., Bracco, P., 2005. Surface EMG of jaw-elevator muscles and chewing pattern in complete denture wearers. *J Oral Rehabil* 32, 863–870.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01524.x>
- Piombino, P., Moio, L., Genovese, A., 2019. Orthonasal vs. retronasal: Studying how volatiles' hydrophobicity and matrix composition modulate the release of wine odorants in simulated conditions. *Food Res Int* 116, 548–558.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.072>
- Ployon, S., Morzel, M., Canon, F., 2017. The role of saliva in aroma release and perception. *Food Chemistry* 226, 212–220.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.055>
- Preoteasa, E., Tâncu, A., Iosif, L., Melescanu Imre, M., Murariu-Măgureanu, C., Preoteasa, C., 2014. Salivary changes related to systemic diseases in the edentulous patients. *J Med Life* 7, 577–580.
- Pribitkin, E., Rosenthal, M.D., Cowart, B.J., 2003. Prevalence and causes of severe taste loss in a chemosensory clinic population. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 112, 971–978. <https://doi.org/10.1177/000348940311201110>
- Pritchard, T.C., Di Lorenzo, P.M., 2015. Central Taste Anatomy and Physiology of Rodents and Primates, in: Doty, R.L. (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation*. John Wiley & Sons Inc, Hoboken, New Jersey, pp. 701–726.
<https://doi.org/10.1002/9781118971758.ch32>
- Quandt, S.A., Chen, H., Bell, R.A., Savoca, M.R., Anderson, A.M., Leng, X., Kohrman, T., Gilbert, G.H., Arcury, T.A., 2010. Food avoidance and food modification practices of older rural adults: association with oral health status and implications for service provision. *Gerontologist* 50, 100–111.
<https://doi.org/10.1093/geront/gnp096>
- Ramage, G., O'Donnell, L., Sherry, L., Culshaw, S., Bagg, J., Czesnikiewicz-Guzik, M., Brown, C., McKenzie, D., Cross, L., MacInnes, A., Bradshaw, D., Varghese, R., Gomez Pereira, P., Jose, A., Sanyal, S., Robertson, D., 2018.

Impact of frequency of denture cleaning on microbial and clinical parameters – a bench to chairside approach. *J Oral Microbiol* 11, 1538437.

<https://doi.org/10.1080/20002297.2018.1538437>

Raustia, A.M., Salonen, M.A., Pyhtinen, J., 1996. Evaluation of masticatory muscles of edentulous patients by computed tomography and electromyography. *Journal of oral rehabilitation* 23, 11–16.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.1996.tb00805.x>

Ressler, K.J., Sullivan, S.L., Buck, L.B., 1994. Information coding in the olfactory system: Evidence for a stereotyped and highly organized epitope map in the olfactory bulb. *Cell* 79, 1245–1255. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(94\)90015-9](https://doi.org/10.1016/0092-8674(94)90015-9)

Richter, T.A., Dvoryanchikov, G.A., Chaudhari, N., Roper, S.D., 2004. Acid-sensitive two-pore domain potassium (K2P) channels in mouse taste buds. *J. Neurophysiol.* 92, 1928–1936. <https://doi.org/10.1152/jn.00273.2004>

Ringqvist, M., 1974. A histochemical study of temporal muscle fibers in denture wearers and subjects with natural dentition. *European Journal of Oral Sciences* 82, 28–39. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1974.tb01898.x>

Romanov, R.A., Rogachevskaja, O.A., Bystrova, M.F., Jiang, P., Margolskee, R.F., Kolesnikov, S.S., 2007. Afferent neurotransmission mediated by hemichannels in mammalian taste cells. *EMBO J.* 26, 657–667.

<https://doi.org/10.1038/sj.emboj.7601526>

Roper, S.D., 1989. The cell biology of vertebrate taste receptors. *Annu. Rev. Neurosci.* 12, 329–353. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.12.030189.001553>

Roudnitzky, N., Bult, J.H.F., de Wijk, R.A., Reden, J., Schuster, B., Hummel, T., 2011. Investigation of interactions between texture and ortho- and retronasal olfactory stimuli using psychophysical and electrophysiological approaches. *Behavioural Brain Research* 216, 109–115.

<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.07.019>

Rozin, P., 1982. “Taste-smell confusions” and the duality of the olfactory sense. *Perception & Psychophysics* 31, 397–401. <https://doi.org/10.3758/BF03202667>

Ruiz, C., Gutknecht, S., Delay, E., Kinnamon, S., 2006. Detection of NaCl and KCl in TRPV1 knockout mice. *Chem. Senses* 31, 813–820.

<https://doi.org/10.1093/chemse/bjl024>

Sahm K, 1999. Zum Schmeckvermögen von Patienten mit Kopf-Hals -Tumoren unter einer Bestrahlung. Dissertation, Med Fak Univ Jena.

Sakai, F., Yoshida, S., Endo, S., Tomita, H., 2002. Double-blind, Placebo-controlled Trial of Zinc Picolinate for Taste Disorders. *Acta Oto-Laryngologica* 122, 129–133. <https://doi.org/10.1080/00016480260046517>

Santos, D.V., Reiter, E.R., DiNardo, L.J., Costanzo, R.M., 2004. Hazardous events associated with impaired olfactory function. *Archives of otolaryngology–head & neck surgery* 130, 317–319. <https://doi.org/10.1001/archotol.130.3.317>

Setz, J., Körber, E., 2017. Totalprothetik, in: Gernet, W., Biffar, R., Schwenger, N., Ehrenfeld, M. (Eds.), *Zahnärztliche Prothetik*. Thieme Verlag.

<https://doi.org/10.1055/b-0037-142338>

Shah Bukhari, J.A., Sudan, S., Bangar, B., Kumar, N., Bhatia, P., Duggal, R., 2021. Assessment of the Effect of Complete Dentures on Respiratory Performance: A Spirometric Analysis. *J Pharm Bioallied Sci* 13, S440–S443.

https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_585_20

Shepherd, G.M., 2007. Perspectives on olfactory processing, conscious perception, and orbitofrontal cortex. *Ann N Y Acad Sci* 1121, 87–101.

<https://doi.org/10.1196/annals.1401.032>

Shigli, K., Hebbal, M., 2010. Assessment of changes in oral health-related quality of life among patients with complete denture before and 1 month post-insertion using Geriatric Oral Health Assessment Index. *Gerodontology* 27, 167–173. <https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2009.00323.x>

Simpson, K.L., 2018. Chapter 23 - Olfaction and Taste, in: Haines, D.E., Mihailoff, G.A. (Eds.), *Fundamental Neuroscience for Basic and Clinical Applications (Fifth Edition)*. Elsevier, pp. 334-345.e1.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39632-5.00023-2>

- Slade, G.D., Akinkugbe, A.A., Sanders, A.E., 2014. Projections of U.S. Edentulism prevalence following 5 decades of decline. *Journal of dental research* 93, 959–965. <https://doi.org/10.1177/0022034514546165>
- Smith, Eiting T, Bhatnagar K, 2015. Anatomy of the Nasal Passages in Mammals. In: *Handbook of Olfaction and Gustation*, in: Doty, R.L. (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation*.
- Solemdal, K., Sandvik, L., Willumsen, T., Mowe, M., Hummel, T., 2012. The Impact of Oral Health on Taste Ability in Acutely Hospitalized Elderly. *PLOS ONE* 7, e36557. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036557>
- Sonthalia, A., Chandrasekaran, A.P., Mhaske, S.P., Lau, M., Joshy, V.R., Attokaran, G., 2016. Comparative evaluation of effect of complete denture wears on the flow rate of saliva in both medicated and apparently healthy patients. *J Int Soc Prev Community Dent* 6, 219–223. <https://doi.org/10.4103/2231-0762.183103>
- Srinivasan, M., Cantin, Y., Mehl, A., Gjengedal, H., Müller, F., Schimmel, M., 2017. CAD/CAM milled removable complete dentures: an in vitro evaluation of trueness. *Clin Oral Invest* 21, 2007–2019. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1989-7>
- Srinivasan, M., Schimmel, M., Naharro, M., O' Neill, C., McKenna, G., Müller, F., 2019. CAD/CAM milled removable complete dentures: time and cost estimation study. *J Dent* 80, 75–79. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.09.003>
- Steinbach, S., Hummel, T., Böhner, C., Berkold, S., Hundt, W., Kriner, M., Heinrich, P., Sommer, H., Hanusch, C., Prechtel, A., Schmidt, B., Bauerfeind, I., Seck, K., Jacobs, V.R., Schmalfeldt, B., Harbeck, N., 2009. Qualitative and quantitative assessment of taste and smell changes in patients undergoing chemotherapy for breast cancer or gynecologic malignancies. *J. Clin. Oncol.* 27, 1899–1905. <https://doi.org/10.1200/JCO.2008.19.2690>
- Steinbach, S., Hundt, W., Zahnert, T., 2008a. Der Riechsinn im alltäglichen Leben. *ZFA (Stuttgart)* 84, 348–362. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1082074>

- Steinbach, S., Staudenmaier, R., Hummel, T., Arnold, W., 2008b. [Loss of olfaction with aging: a frequent disorder receiving little attention]. *Z Gerontol Geriatr* 41, 394–402. <https://doi.org/10.1007/s00391-007-0488-5>
- Steinmassl, O., Dumfahrt, H., Grunert, I., Steinmassl, P.-A., 2018. CAD/CAM produces dentures with improved fit. *Clin Oral Investig* 22, 2829–2835. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2369-2>
- Steinmassl, P.-A., Klaunzer, F., Steinmassl, O., Dumfahrt, H., Grunert, I., 2017. Evaluation of Currently Available CAD/CAM Denture Systems. *Int J Prosthodont* 30, 116–122. <https://doi.org/10.11607/ijp.5031>
- Stevens, D.R., Seifert, R., Bufe, B., Müller, F., Kremmer, E., Gauss, R., Meyerhof, W., Kaupp, U.B., Lindemann, B., 2001. Hyperpolarization-activated channels HCN1 and HCN4 mediate responses to sour stimuli. *Nature* 413, 631–635. <https://doi.org/10.1038/35098087>
- Tajbakhsh, S., Rubenstein, J.E., Faine, M.P., Mancl, L.A., Raigrodski, A.J., 2013. Selection patterns of dietary foods in edentulous participants rehabilitated with maxillary complete dentures opposed by mandibular implant-supported prostheses: a multicenter longitudinal assessment. *J Prosthet Dent* 110, 252–258. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(13\)60371-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60371-6)
- Takahashi, N., 2015. Oral Microbiome Metabolism: From “Who Are They?” to “What Are They Doing?” *J Dent Res* 94, 1628–1637. <https://doi.org/10.1177/0022034515606045>
- Talavera, K., Ninomiya, Y., Winkel, C., Voets, T., Nilius, B., 2006. Influence of temperature on taste perception. *Cell. Mol. Life Sci.* 64, 377. <https://doi.org/10.1007/s00018-006-6384-0>
- Talavera, K., Yasumatsu, K., Voets, T., Droogmans, G., Shigemura, N., Ninomiya, Y., Margolskee, R.F., Nilius, B., 2005. Heat activation of TRPM5 underlies thermal sensitivity of sweet taste. *Nature* 438, 1022–1025. <https://doi.org/10.1038/nature04248>
- Tallgren, A., 1972. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: A mixed-longitudinal study covering 25 years. *The*

- Journal of prosthetic dentistry 27, 120–132. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(72\)90188-6](https://doi.org/10.1016/0022-3913(72)90188-6)
- Tallgren, A., Holden, S., Lang, B.R., Ash, M.M., 1980. Jaw muscle activity in complete denture wearers--a longitudinal electromyographic study. *J Prosthet Dent* 44, 123–132. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(80\)90122-5](https://doi.org/10.1016/0022-3913(80)90122-5)
- Tanaka, A., Kodaira, Y., Ishizaki, K., Sakurai, K., 2008. Influence of palatal surface shape of dentures on food perception. *Journal of Oral Rehabilitation* 35, 715–721. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2008.01861.x>
- Tegoni, M., Pelosi, P., Vincent, F., Spinelli, S., Campanacci, V., Grolli, S., Ramoni, R., Cambillau, C., 2000. Mammalian odorant binding proteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology* 1482, 229–240. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(00\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(00)00167-9)
- Temmel, A.F.P., Quint, C., Schickinger-Fischer, B., Klimek, L., Stoller, E., Hummel, T., 2002. Characteristics of olfactory disorders in relation to major causes of olfactory loss. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.* 128, 635–641. <https://doi.org/10.1001/archotol.128.6.635>
- Tillmann, B.N., 2016. Kopf, in: Tillmann, B.N. (Ed.), *Atlas Der Anatomie Des Menschen: Mit Muskeltabellen*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 19–145. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49288-8_2
- Timmesfeld, N., Kunst, M., Fondel, F., Güldner, C., Steinbach, S., 2021. Mechanical tongue cleaning is a worthwhile procedure to improve the taste sensation. *Journal of Oral Rehabilitation* 48, 45–54. <https://doi.org/10.1111/joor.13099>
- Tomchik, S.M., Berg, S., Kim, J.W., Chaudhari, N., Roper, S.D., 2007. Breadth of tuning and taste coding in mammalian taste buds. *J. Neurosci.* 27, 10840–10848. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1863-07.2007>
- Tomita, H., Ikeda, M., Okuda, Y., 1986. Basis and Practice of Clinical Taste Examinations. *Auris Nasus Larynx* 13, S1–S15. [https://doi.org/10.1016/S0385-8146\(86\)80029-3](https://doi.org/10.1016/S0385-8146(86)80029-3)

- Treesukosol, Y., Lyall, V., Heck, G.L., DeSimone, J.A., Spector, A.C., 2007. A psychophysical and electrophysiological analysis of salt taste in Trpv1 null mice. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 292, R1799-1809. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00587.2006>
- Ueno, M., Takeuchi, S., Takehara, S., Kawaguchi, Y., 2014. Saliva viscosity as a potential risk factor for oral malodor. *Acta Odontologica Scandinavica* 72, 1005–1009. <https://doi.org/10.3109/00016357.2014.938115>
- Ugawa, S., Minami, Y., Guo, W., Saishin, Y., Takatsuji, K., Yamamoto, T., Tohyama, M., Shimada, S., 1998. Receptor that leaves a sour taste in the mouth. *Nature* 395, 555–556. <https://doi.org/10.1038/26882>
- Ulm, C., Solar, P., Blahout, R., Matejka, M., Gruber, H., 1992. Reduction of the compact and cancellous bone substances of the edentulous mandible caused by resorption. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 74, 131–136. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(92\)90370-6](https://doi.org/10.1016/0030-4220(92)90370-6)
- Vassar, R., Chao, S.K., Sitcheran, R., Nunñez, J.M., Vosshall, L.B., Axel, R., 1994. Topographic organization of sensory projections to the olfactory bulb. *Cell* 79, 981–991. [https://doi.org/10.1016/0092-8674\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0092-8674(94)90029-9)
- Visschers, R.W., Jacobs, M.A., Frasnelli, J., Hummel, T., Burgering, M., Boelrijk, A.E.M., 2006. Cross-modality of texture and aroma perception is independent of orthonasal or retronasal stimulation. *J Agric Food Chem* 54, 5509–5515. <https://doi.org/10.1021/jf060533c>
- Wada, T., Takano, T., Tasaka, A., Ueda, T., Sakurai, K., 2016. Evaluation of participants' perception and taste thresholds with a zirconia palatal plate. *J Prosthodont Res* 60, 294–300. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2016.02.005>
- Watson, S., McGowan, L., McCrum, L.-A., Cardwell, C.R., McGuinness, B., Moore, C., Woodside, J.V., McKenna, G., 2019. The impact of dental status on perceived ability to eat certain foods and nutrient intakes in older adults: cross-sectional analysis of the UK National Diet and Nutrition Survey 2008-2014. *The international journal of behavioral nutrition and physical activity* 16, 43. <https://doi.org/10.1186/s12966-019-0803-8>

- Wayler, A.H., Perlmutter, L.C., Cardello, A.V., Jones, J.A., Chauncey, H.H., 1990. Effects of age and removable artificial dentition on taste. *Special Care in Dentistry* 10, 107–113. <https://doi.org/10.1111/j.1754-4505.1990.tb00771.x>
- Werf, A.A.D. van der, Liem, R.S.B., Jansen, H.W.B., 1982. The innervation pattern of the rugae on the hard palate of the Wistar albino rat. *Acta morphologica neerlando-Scandinavica* 20, 283–292.
- Whitcroft, K.L., Merkonidis, C., Cuevas, M., Haehner, A., Philpott, C., Hummel, T., 2016. Intranasal sodium citrate solution improves olfaction in post-viral hyposmia. *Rhinology* 54, 368–374. <https://doi.org/10.4193/Rhino16.054>
- Wilson, D.A., Chapuis, J., Sullivan, R.M., 2015. Cortical Olfactory Anatomy and Physiology, in: Doty, R.L. (Ed.), *Handbook of Olfaction and Gustation*.
- Wilson, R.S., Yu, L., Bennett, D.A., 2011. Odor identification and mortality in old age. *Chem. Senses* 36, 63–67. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjq098>
- Witt, M., Reutter, K., 2015. Anatomy of the Tongue and Taste Buds, in: *Handbook of Olfaction and Gustation*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 637–664. <https://doi.org/10.1002/9781118971758.ch29>
- Wolfensberger, M., Schnieper, I., Welge-Lüssen, A., 2000. Sniffin'Sticks: a new olfactory test battery. *Acta Otolaryngol* 120, 303–306. <https://doi.org/10.1080/000164800750001134>
- Wolff, A., Ofer, S., Raviv, M., Helft, M., Cardash, H.S., 2004. The flow rate of whole and submandibular/sublingual gland saliva in patients receiving replacement complete dentures. *Journal of Oral Rehabilitation* 31, 340–343. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2003.01247.x>
- Xiao, M., Den, J., 1997. [Effect of complete dentures on the blood flow and blood cell velocity of alveolar mucosal microcirculation]. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi* 15, 220–222.
- Yoshinaka, M., Ikebe, K., Uota, M., Ogawa, T., Okada, T., Inomata, C., Takeshita, H., Mihara, Y., Gondo, Y., Masui, Y., Kamide, K., Arai, Y., Takahashi, R., Maeda, Y., 2016. Age and sex differences in the taste sensitivity

- of young adult, young-old and old-old Japanese. *Geriatrics & gerontology international* 16, 1281–1288. <https://doi.org/10.1111/ggi.12638>
- Yoshinaka, M., Yoshinaka, M.F., Ikebe, K., Shimanuki, Y., Nokubi, T., 2007. Factors associated with taste dissatisfaction in the elderly. *Journal of oral rehabilitation* 34, 497–502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2007.01699.x>
- Yurdukoru, B., Terzioğlu, H., Yilmaz, T., 2001. Assessment of whole saliva flow rate in denture wearing patients. *J Oral Rehabil* 28, 109–112. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2001.00624.x>
- Zembic, A., Tahmaseb, A., Wismeijer, D., 2015. Within-Subject Comparison of Maxillary Implant-Supported Overdentures with and without Palatal Coverage. *Clinical implant dentistry and related research* 17, 570–579. <https://doi.org/10.1111/cid.12125>
- Zhao, H., 1998. Functional Expression of a Mammalian Odorant Receptor. *Science* 279, 237–242. <https://doi.org/10.1126/science.279.5348.237>
- Zhao, K., Scherer, P.W., Hajiloo, S.A., Dalton, P., 2004. Effect of Anatomy on Human Nasal Air Flow and Odorant Transport Patterns: Implications for Olfaction. *Chemical Senses* 29, 365–379. <https://doi.org/10.1093/chemse/bjh033>

8 Anhang

8.1 Patientenaufklärung



*UNIVERSITÄTSKLINIKUM
GIESSEN UND MARBURG*



*Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie*

Standort Marburg

**Studienleitung:
Prof Dr. med. Silke Steinbach-Hundt**

Hausanschrift:
Klinik für Hals-Nasen Ohrenheilkunde,
Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie
Baldingerstr,
35033 Marburg
Telefon: 06421 – 5866478

Qualitative und Quantitative Untersuchung des Riech- und Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern

Sehr geehrte Patientin, sehr geehrter Patient,

Wir würden Sie gerne bitten, an unserer Studie - „Qualitative und quantitative Untersuchung des Riech- und Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern“ - teilzunehmen.

Bisher wurde das Riech- und Schmeckvermögen bei Zahnprothesenträgern kaum untersucht. Die Frage ist, ob ein Träger mit Vollprothese sich von einem Träger mit Teilprothese oder einer Person ohne Zahnprothese im Riech- und Schmeckvermögen unterscheidet. Geht man davon aus, dass gerade Vollprothesenträger einen anderen Anpressdruck der Zunge am Gaumen haben, wäre es möglich, dass weniger Aromen aus der Nahrung freigesetzt werden und das Riechvermögen bei Prothesenträgern leidet. Durch die erschwerte Zerkleinerung der Nahrung können evtl. Schmeckstoffe erschwert aus der Nahrung gelöst werden und das Schmeckvermögen nimmt ab.

Um dies herauszufinden würden wir gerne bei Ihnen einen ausführlichen Riechtest mit Riechstiften durchführen. Nach Abnahme der Stiftekappe werden Ihnen Duftstoffe unterhalb der Nase präsentiert, die Sie riechen müssen. Der Test ist gut validiert bzw. es liegen viele Testwerte und Normdaten für verschiedene Altersklassen vor und er wird von der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Riechen und Schmecken innerhalb der Deutschen Hals-Nasen-Ohrengesellschaft empfohlen. Die Testung dauert zwischen 15 Minuten und 30 Minuten.

Die Schmecktestung erfolgt mit Schmeckstreifen, die auf die Zungenoberfläche gelegt werden. Die Schmeckstreifen sind aus Papier und mit den Schmecklösungen (süß, sauer, salzig und bitter) imprägniert. Insgesamt besteht der Test aus 16 Papierstreifen und beträgt ca. 10 Minuten.

Zwischenfälle bei der Testung mit Riechstiften oder Schmeckstreifen sind in der Literatur bisher nicht genannt, so dass bisher keine Risiken bei der Testung bekannt sind. Die Riechstifte und Schmeckstreifen werden routinemäßig in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde zur Testung des Riech- und Schmeckvermögens eingesetzt.

Zusätzlich würden wir Sie gerne Hals-Nasen-Ohren-ärztlich untersuchen.

Die Teilnahme an dieser Untersuchung erfolgt auf freiwilliger Basis, und Ihr Einverständnis kann jederzeit ohne Angaben von Gründen und ohne Nachteile widerrufen werden. Die während der Studie gesammelten Daten werden pseudonymisiert, d.h. jeder Teilnehmer/in erhält auf einer Identifikationsliste eine zugeordnete Identifikationsnummer. Alle Daten werden anonym gespeichert und ausgewertet. Eine Identifikation ist nur durch eine Schlüsselliste möglich. Diese Liste wird unter Verschluss verwahrt. Eine Vernichtung der Liste findet nach Beendigung der Untersuchungen und Auswertung der Daten statt.

8.2 Einverständniserklärung



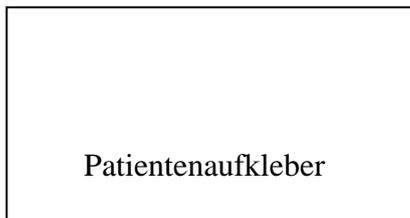
UNIVERSITÄTSKLINIKUM
GIESSEN UND MARBURG



Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie

Standort Marburg

Studienleitung:
Prof. Dr. med. Silke Steinbach-Hundt



Hausanschrift:
Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde,
Klinik für Phoniatrie und Pädaudiologie
Baldingerstr.,
35033 Marburg
Telefon: 06421 – 5866478

Teilnehmer-Einverständniserklärung

Qualitative und Quantitative Untersuchung des Riech- und Schmeckvermögens bei Zahnprothesenträgern

Ich,, wurde von meinem Arzt/Ärztin vollständig über Wesen, Bedeutung und Tragweite der klinischen Studie mit dem o.g. Titel aufgeklärt. Ich habe den Aufklärungstext gelesen und verstanden. Ich hatte die Möglichkeit, Fragen zu stellen, und habe die Antworten verstanden und akzeptiere sie. Mein Arzt/Ärztin hat mich über die mit der Teilnahme an der Studie verbundenen Risiken und den möglichen Nutzen informiert.

Ich hatte ausreichend Zeit, mich zur Teilnahme an dieser Studie zu entscheiden, und weiß, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig ist. Ich weiß, dass ich jederzeit, ohne Angabe von Gründen diese

Zustimmungserklärung widerrufen kann, ohne dass sich diese Entscheidung nachteilig auswirken wird.

Mir ist bekannt, dass meine persönlichen Daten in verschlüsselter Form gespeichert werden, und dass die gewonnenen Daten aus dieser Untersuchung in pseudonymisierter Form wissenschaftlich ausgewertet werden können.

Ich habe eine Kopie der Information und der Einwilligungserklärung erhalten. Ich erkläre hiermit meine freiwillige Teilnahme an dieser Studie.

.....

Ort und Datum

.....

Teilnehmer/in (Vor- und Nachname, Unterschrift)

.....

Ort und Datum

.....

Unterschrift des aufklärenden Arztes/Ärztin

8.3 HNO-Fragebogen

Vom Studienarzt auszufüllen:

Patient Nr.:

Erhebungsbogen 1 (Datum: _____)

Um diese Studie effektiv zu gestalten, bitten wir Sie, folgende Fragen zu beantworten. Wenn ein Balken angegeben ist, können sie einen Querstrich darauf ziehen je nach Beschwerden zwischen (0) (100).

Herzlichen Dank !

1. Wie groß sind Sie?

cm

2. Wieviel wiegen Sie?

kg

3. Haben Sie das Gefühl, gut zu schmecken?

(0) nein, ich _____ (100)
schmecke nichts ja, ich
schmecke
sehr gut

4. Haben Sie das Gefühl, gut zu riechen?

(0) nein, ich _____ (100)
rieche nichts ja, ich
rieche sehr
gut

5. Haben Sie einen guten Appetit?

(0) nein, ich _____ (100) ja, ich
habe keinen Appetit habe einen
sehr guten
Appetit

6. Süßen Sie Speisen gerne?

(0) nein, ich
süße nicht

(100) ja, ich
süße sehr
stark

7. Salzen Sie Speisen gerne?

(0) nein, ich
salze nicht

(100) ja, ich
salze sehr
stark

8. Essen Sie gerne fettigere Speisen?

(0) nein, ich
nehme nicht
stark fettige Speisen zu mir

(100) ja, ich
nehme fettige
Speisen zu mir

9. Bevorzugen Sie bittere Speisen?

(0) nein, ich
bevorzuge keine
bitteren Speisen

(100) ja, ich
bevorzuge
stark bittere
Speisen

10. Bevorzugen Sie saure Speisen?

(0) nein, ich
bevorzuge keine
sauren Speisen

(100) ja, ich
bevorzuge
stark saure
Speisen

11. Haben Sie das Gefühl, wenig Speichel im Mund zu haben?

(0) nein, ich
habe genügend Speichel
im Mund

(100) ja, ich
habe sehr
wenig
Speichel im
Mund

12. Haben Sie eine Zahnprothese?

Ja

Nein

Wenn ja – um welche Art von Zahnersatz handelt es sich, wie lange haben sie diesen?

13. Benutzen Sie eine Zahnhaftcreme?

Ja

Nein

Wenn ja – welches Präparat setzten Sie ein?

14. Haben Sie das Gefühl, dass Ihre Zahnprothese gut passt?

(0) nein, die
Zahnprothese passt
garnicht

(100) ja, die
Zahnprothese
passt sehr gut

15. Haben Sie das Gefühl, unter Parodontitis zu leiden/Zahnfleischtaschen?

(0) nein, ich
leide nicht unter
Parodontitis

(100) ja, ich
leide sehr
stark an
Parodontitis

16. Haben Sie das Gefühl, einen ausgeprägten Zungenbelag zu haben?
(0) nein, ich _____ (100) ja, ich
habe keinen Zungenbelag _____ habe einen
sehr ausgeprägten
Zungenbelag

17. Nehmen Sie regelmäßig Medikamente ein?

Ja Nein

Wenn ja, welche Medikamente nehmen Sie regelmäßig ein?

18. Nehmen Sie Medikamente bei Bedarf ein (z.B. gegen Allergien)?

Ja Nein

Wenn ja welche Medikamente nehmen Sie bei Bedarf ein?

19. Rauchen Sie?

Ja Nein

Wenn ja – wie viele Zigaretten am Tag?

a. Verzeichnis der akademischen Lehrer/-innen

Meine akademischen Lehrenden waren

in Marburg:

Adamkiewicz, Bartsch, Baum, Becker, Czubayko, Daut, Dettmeyer, Dodel, El-Zayat, Feuser, Grundmann, Hertl, Heverhagem, Hofmann, Hoyer, Kircher, Klose, Koolmann, Lill, Lohoff, Maier, Moll, Mueller, Neumüller, Oertel, Opitz, Plant, Preisig-Müller, Renz, Schäfer, Sekundo, Stahl, Steinbach-Hundt, Teymoortash, Wagner, Westermann, Wiegand, Wulf

in Poitiers: Christiaens, Neau, Lichtwitz

in Hamburg: Kuck

in Interlaken: Kohler

b. Danksagung

Zuallerst danke ich meiner Mutter und meinem Vater für die immer vorhandene Unterstützung jeglicher Art in allen Lebenslagen.

Mein besonderer Dank gilt natürlich Frau Prof. Dr. Silke Steinbach-Hundt für ihre exzellente Betreuung bei dieser Arbeit und für ihre geduldige und immer verfügbare Unterstützung.

Großer Dank geht ebenfalls an Hannah, die meine Launen während der Arbeit an dieser Dissertation immer stoisch ertragen hat und mich sowieso immer unterstützt.

Besonderer Dank geht auch an meinen Bruder Robin, der mir immer mit fachlichem und menschlichem Rat zur Seite gestanden hat und ohne dessen freundlich drängende Unterstützung ich diese Dissertation wahrscheinlich nicht beendet hätte.

Weiterhin danke ich meinen Freunden Florian, Fabian und Goofy, meiner WG sowie allen anderen Wegbegleiter/-innen für die unvergessliche gemeinsame Marburger Zeit. Ohne Euch wäre doch alles Quatsch gewesen!