

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde

Direktor: Prof. Dr.med. Dr. h.c. Th. Zahnert

**Entwicklung eines Schmecktests für Schulkinder
im Alter zwischen fünf und sieben Jahren**

Dissertationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin

doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät Carl Gustav Carus

der Technischen Universität Dresden

von

Therese Fark

aus Friedrichshafen

Dresden im Februar 2012

1. Gutachter: Professor Dr. med. Thomas Hummel

2. Gutachter:

Tag der mündlichen Prüfung:

gez.: _____

Vorsitzender der Promotionskommission

Für meine Eltern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	4
2.1 Der Geschmackssinn.....	4
2.1.1 Geschmacksqualitäten.....	4
2.1.2 Geschmacksrezeptoren.....	6
2.1.3 Geschmacksknospen.....	8
2.1.4 Zungenpapillen.....	10
2.1.5 Geschmacksnerven.....	11
2.1.6 Zentrale gustatorische Bahnen.....	14
2.1.7 Geschmackskodierung.....	15
2.1.8 Zusammenfassung Geschmackssinn.....	17
2.2 Der Geruchssinn.....	18
2.2.1 Periphere Anatomie und Physiologie des Geruchssinns.....	18
2.2.2 Zentrale Anatomie und Physiologie des Geruchssinns.....	18
2.2.3 Äußere Einflüsse auf den Geruchssinn.....	19
2.2.4 Geruchssinn und Trigeminus.....	19
2.2.5 Orthonasales und retronasales Riechen.....	20
2.2.6 Testmethoden Geruchssinn.....	20
2.3 Sensibilität im Nasen- und Mundraum: der Trigeminus.....	20
2.3.1 N. ophthalmicus und N. maxillaris: sensible Äste des Trigeminus.....	21
2.3.2 N. mandibularis: sensibler und motorischer Ast des Trigeminus.....	21
2.3.3 Fasern und Rezeptoren des Trigeminus.....	21
2.3.4 Kernkomplexe des Trigeminus.....	22
2.3.5 Zentrale Verarbeitung des Trigeminus.....	22
2.4 Interaktion Geschmack-Geruch-Trigeminus.....	23
2.4.1 Interaktion Geschmack- Geruch.....	23
2.4.2 Interaktion Geschmack- Trigeminus.....	24
3 Sensorik bei Kindern.....	25

3.1 Sensorik bei Kindern: Schmecken.....	25
3.2 Sensorik bei Kindern: Riechen	27
3.3 Sensorik bei Kindern: Hören.....	28
3.4 Sensorik bei Kindern: Sehen	29
4 Testverfahren	30
4.1 Schmecktests	30
4.1.1 Tests mit verschiedenen Geschmacksdarbietungen	30
4.1.2 Elektrogustometrie	31
4.1.3 Besonderheiten bei regionalen Tests.....	31
4.1.4 Schmecktests: Unterschiede zwischen jungen und älteren Menschen	32
4.1.5 Mögliche Ursachen für schlechtere Ergebnisse älterer Probanden bei Schmecktests.....	32
4.1.6 Besonderheiten bei der Testung älterer Probanden	33
4.1.7 Schmecktests: Unterschiede zwischen Männern und Frauen	34
4.2 Sensorische Testverfahren für Kinder	35
4.2.1 Sensorische Testverfahren für Kinder: Schmecken.....	35
4.2.2 Sensorische Testverfahren für Kinder: Riechen	37
4.2.3 Sensorische Testverfahren für Kinder: Hören.....	37
4.2.4 Sensorische Testverfahren für Kinder: Sehen	38
5 Schmeckstörungen.....	39
5.1 Ageusien.....	41
5.2 Partielle Ageusien.....	41
5.3 Erworbene Schmeckstörungen.....	42
5.3.1 Schädigung der Chorda tympani durch Mittelohroperationen	42
5.3.2 Schädigung des N. glossopharyngeus durch Tonsillektomie.....	43
6 Studie	44
6.1 Materialien und Methoden	44
6.2.1 Rekrutierung der Probanden.....	44
6.2.2 Ethikkommission	45
6.2.3 Versuchspersonen, Räumlichkeiten, Zeitpunkt der Untersuchungen	45

6.2.4 Aufbau der Untersuchungen	46
6.2.5 Geschmackslösungen	47
6.2.6 Bildvorlagen	48
6.2.7 Experiment 1	49
6.2.8. Experiment 2	49
6. 3 Ergebnisse	52
6.3.1. Ergebnisse Experiment 1	52
6.3.2. Ergebnisse Experiment 2	57
6.3.3 Welche Ergebnisse sind bei der klinischen Anwendung zu erwarten?	61
6.4 Diskussion	65
6.4.1 Experiment 1	66
6.4.2 Experiment 2	69
7 Zusammenfassung/ Summary	71
8 Literaturverzeichnis	77
9 Anhang	91
Abbildungsverzeichnis	91
Tabellenverzeichnis	92
Abkürzungsverzeichnis	92
Bildvorlagen und Auswertungstabellen.....	94
Lebenslauf	96
Danksagung.....	97
Erklärung über die Einhaltung der aktuellen gesetzlichen Vorgaben im Rahmen der Dissertation	98
Eidesstattliche Erklärung	99

1 Einleitung

Es ist noch nicht lange her, dass der Nobelpreis für Medizin vergeben wurde für die Entschlüsselung der Gene, die unsere Riechrezeptoren kodieren. Die Riech- und Schmeckforschung ist im Vergleich zu anderen medizinischen Disziplinen eine junge Wissenschaft, in der es noch viele Entdeckungen zu machen gilt und die uns weiterhin Rätsel aufgibt. Sich mit dem Riechen und Schmecken zu beschäftigen, insbesondere mit dem Riechen und Schmecken bei Kindern, bedeutet nicht allein das Interesse an Molekülen, Rezeptoren, Transmittern und Aktionspotentialen, sondern vor allen Dingen eine Auseinandersetzung mit Themen wie Wahrnehmung, Hedonik, Gedächtnis, Emotion, Sprachentwicklung, Gewohnheiten und Erfahrungen.

Wie wichtig riechen und schmecken in unserem täglichen Leben ist, wird uns vermutlich erst dann bewusst, wenn es zu Funktionsstörungen kommt, das Essen und Trinken plötzlich nicht mehr „schmeckt“ oder alles „irgendwie chemisch riecht“. Sprachlich haben wir ganz unbewusst der Wichtigkeit des Riechens und Schmeckens Rechnung getragen. „Der süße Typ aus der 7b ist der Grund warum Julia nur noch selten ihre verbitterte Großmutter in der Seniorenresidenz besucht. Ihre Mutter ist darüber stink sauer. Aber was soll’s? Die beiden können sich grad eh nicht riechen.“

Die folgende Arbeit beschäftigt sich mit dem Geschmackssinn bei Kindern, insbesondere der Entwicklung eines Schmecktests für Schulkinder zwischen fünf und sieben Jahren.

Bisher liegen nur wenige Untersuchungen, Daten und Artikel zum Schmeckvermögen von Kindern vor. Dies hat verschiedene Ursachen. Zunächst sind Kinder schwieriger zu untersuchen als Erwachsene. Die Aufgabenstellung muss verstanden und umgesetzt werden und die Dauer der Tests darf das Konzentrationsvermögen nicht überfordern. Bei der Untersuchung von Kindern sollte eine freundliche und vertraute Atmosphäre geschaffen werden (Hemingway, 2002 aus Popper und Kroll, 2003), ohne dabei für zu viel Ablenkung zu sorgen (Kimmel et al., 1994 aus Guinard, 2001). Der Aufmerksamkeit und Konzentration wegen sollten Kinder immer am Vormittag untersucht werden (Gollick, 2002 aus Popper und Kroll, 2003). Ein weiterer Grund mag sein, dass im Vergleich zum Sehen und Hören das Interesse an den chemischen Sinnen sicher in den Hintergrund rückt. Seh- und Hörstörungen im Kindesalter können zu starken Beeinträchtigungen der Entwicklung führen (Probst et al., 2008) und (Braverman, 2007) und müssen daher möglichst früh diagnostiziert und behandelt werden. Seh- und Hörtests für Kinder sind daher etabliert und Bestandteil von Screening Untersuchungen. Ein Ausfall des Riechens oder Schmeckens kann im Gegensatz dazu unbemerkt verlaufen und wird oft erst zufällig im Erwachsenenalter bemerkt. Eine weitere

Rolle spielt, dass die chemischen Sinne schwieriger zu beurteilen sind. Sogar bei Erwachsenen herrscht eine starke Diskrepanz zwischen der subjektiven Beurteilung des Geruchs- und Geschmackssinn und des tatsächlichen Riech- und Schmeckvermögens (Soter et al., 2008). Häufig werden Attribute zur Beschreibung von Geschmack verwechselt (Pilkova et al., 1991). Bei der Testung mit Geschmackslösungen oder Düften kommt es zur Adaptation, man kann also nicht beliebig viele Reize schnell hintereinander setzen. Möchte man also den Geschmackssinn von Kindern untersuchen, muss man sich den Tücken der Testung der chemischen Sinne und den Besonderheiten der Untersuchung von Kindern stellen. Bei Neugeborenen und Säuglingen können non verbale Reaktionen wie Saugreflex und Grimassieren als Indikator für Reaktionen auf Schmeckreize herangezogen werden (Steiner, 1977, Steiner, 1979, Ganchrow et al., 1983, Steiner, 1987 aus Nicklaus et al., 2005). Dabei sind Aussagen zur Wahrnehmungsschwelle eines Geschmacks im ganzen Mund und zur Hedonik möglich. Bei Jugendlichen und Erwachsenen stehen uns objektivierbare Methoden wie gustatorisch evozierte Potentiale (Kobal, 1985, Hummel et al., 2010) und fMRT Untersuchungen (Hummel et al., 2007a) genauso wie psychophysische Tests mit Tropfen (Gudziol und Hummel, 2007), Sprays (Vennemann et al., 2008), Tabletten (Ahne et al., 2000), Taste Strips (Landis et al., 2009) und (Mueller et al., 2003) oder Gustometer zur Verfügung.

Für kleine Kinder sind Testverfahren für den Geschmackssinn schwieriger zu gestalten. Auf der einen Seite ist bei Kindern kein einheitliches non verbales Verhalten auf bestimmte Schmeckreize wie bei Neugeborenen zu erwarten, da sich durch Erziehung, Erfahrungen und Gewohnheiten bereits unterschiedliche Präferenzen entwickelt haben können. Insbesondere ablehnendes oder wohlwollendes Verhalten gegenüber saurem (Liem und Mennella, 2003) und salzigem (Beauchamp et al., 1986, Beauchamp et al., 1994) Geschmack hängen stark von Alter und Erfahrung ab. Auf der anderen Seite ist eine gewisse Sprachfertigkeit unabdingbare Voraussetzung für die Teilnahme an psychophysischen Tests, da hier die Geschmacksqualitäten erkannt und benannt, beschrieben oder auf Grund von Intensität oder Belebtheitsgrad sortiert werden müssen.

Es ist nicht nur von wissenschaftlichem Interesse zu erfahren, wie gut Kinder in welchem Alter Geschmack wahrnehmen und benennen können. Die Testung des Geschmackssinns hat auch klinische Relevanz. Viele Krankheiten, wie beispielsweise Diabetes mellitus (Lamey et al. 1992) oder Nierenfunktionsstörungen (Middleton und Allman-Farinelli, 1999), können mit einer Störung des Schmeckens einhergehen, Medikamente können zu Schmeckstörungen führen, Schmeckstörungen treten im Rahmen von Syndromen (z.B. Sjögren Syndrom) auf oder sind unerwünschte Folge einer Tonsillektomie siehe hierzu (Collet et al., 2005, Donati et al., 1991, Goins und Pitovski, 2004, Tomofuji et al., 2005, Uzun

et al., 2003) oder Mittelohroperation siehe hierzu auch (Mueller et al., 2008, Saito et al., 2000, Saito et al., 2001, Sakagami et al., 2003). Dabei können sie zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Lebensqualität führen und sich direkt auf unsere Essgewohnheiten auswirken (Sanchez-Lara et al., 2010, Deems et al., 1991, Schiffman, 1997, Mattes, 1994). Störungen des Schmeckens können aber auch subjektiv völlig unbemerkt verlaufen, vor allem wenn sie nur auf ein bestimmtes Areal der Zunge begrenzt sind (Bartoshuk, 1989). Um dann die Ausprägung der Schmeckstörung und ihren Verlauf zu beurteilen sind regionale Testungen nötig.

Ziel der Studie war es herauszufinden, ob gesunde Schulkinder im Alter zwischen fünf und sieben Jahren in der Lage sind, vier der fünf Grundgeschmacksqualitäten, nämlich salzig, sauer, süß und bitter sowie Wasser richtig zu erkennen und zu benennen und wie ihre Ergebnisse im Vergleich zu Erwachsenen ausfallen. Dabei interessierten uns nicht nur die Ergebnisse für die Testung im ganzen Mund, sondern auch die Frage, ob bei Kindern in diesem Alter eine regionale Testung auf der Zunge möglich und sinnvoll ist.

Der Anspruch an den Test war auf der einen Seite der mögliche Einsatz bei Kindern und auf der anderen Seite der mögliche Einsatz in der klinischen Routine beispielsweise in einer HNO-Klinik vor geplanter Tonsillektomie. Der Test sollte also keine aufwendigen Vorbereitungen, Apparate oder Testaufbauten verlangen, schnell und einfach durchführbar und verständlich für die Kinder sein und eine unkomplizierte Auswertung nach sich ziehen.

In der Einleitung und den Grundlagen soll ein Überblick gegeben werden über Anatomie, Histologie und Physiologie, wobei neben dem Geschmackssinn auch Geruchssinn und Sensibilität im Nasen- und Mundraum Erwähnung finden. Die Entwicklungen der Sinne Schmecken, Riechen, Hören und Sehen werden vorgestellt, wie auch verschiedene Möglichkeiten diese zu testen. Dabei wird auf angepasste Testverfahren speziell für Kinder hingewiesen. Daraus resultieren die Entwicklung des Schmecktests mit Materialien, Methoden und Ergebnissen sowie deren kritischer Vergleich mit anderen Studien.

2 Grundlagen

Bei der Nahrungsaufnahme erhalten wir Informationen über den grundlegenden Geschmack (gustatorische Wahrnehmung), das Aroma (retronasale olfaktorische Wahrnehmung), sowie die Temperatur, Konsistenz und Schärfe (trigeminale Wahrnehmung) einer Speise. Im täglichen Leben fassen wir all diese Informationen unter dem Begriff „Geschmack“ zusammen. Im folgenden Abschnitt sollen die drei Systeme (Geschmack, Geruch und Trigeminus) einzeln beschrieben und deren Anatomie, Histologie und Physiologie genauer betrachtet werden. Der Schwerpunkt wird auf dem Geschmackssinn liegen, olfaktorische und trigeminale Wahrnehmung werden nur oberflächlich behandelt. Das Zusammenspiel und die Interaktionen der einzelnen Systeme werden am Ende des Abschnittes beleuchtet.

2.1 Der Geschmackssinn

Das gustatorische System ist besonders wichtig, da es potentielle Nahrungsmittel als harmlos bzw. nahrhaft einstuft oder als mögliche Gefahrenquelle identifiziert. Es nimmt somit direkten Einfluss auf unsere Ernährungsgewohnheiten (Yarmolinsky et al., 2009).

2.1.1 Geschmacksqualitäten

Aktuell wird von fünf primären Geschmacksqualitäten ausgegangen: süß, sauer, salzig, bitter und umami. Während die vier erst genannten alltäglich bekannt sind, erfuhr umami zwar bereits Anfang des letzten Jahrhunderts Erwähnung (Ikeda 1908) aber erst in den letzten zwanzig Jahren Beachtung.

Geschmacksqualitäten und ihre Bedeutung

Umami beschreibt laut Wikipedia den pikanten, fleischig-herzhaften Geschmack von z.B. Shiitake Pilzen, Sojasoße, Fisch, Tomaten und Fleisch (n.n., 2011). Typischerweise wird umami chemisch durch Natriumglutamat vertreten (Breslin und Huang, 2006). In Schmecktests sollte umami in unseren Breiten erst nach einem gewissen Training von Probanden und Patienten Anwendung finden, da es den meisten Menschen unbekannt ist und sehr unterschiedlich beschrieben wird. Japaner hingegen können umami besser identifizieren und benennen (O'Mahony und Ishii, 1986).

Auch die „etablierten“ Geschmacksqualitäten süß, sauer, salzig und bitter werden erstaunlich häufig verwechselt bzw. falsch benannt (Pilkova et al., 1991), obschon von Kindesbeinen an eine klare Bevorzugung süßer und eine Ablehnung gegenüber bitteren Reizen besteht.

Werden Parameter des autonomen Nervensystems (z.B. Herzfrequenz, Hauttemperatur, Hautwiderstand) während der Stimulation mit verschiedenen Geschmacksreizen erhoben zeigen sich auch eindeutige Unterschiede: „süß“ führt zur geringsten, „bitter“ zur stärksten Antwort des autonomen Nervensystems (Rousmans et al., 2000).

Ursächlich könnte eine Rolle spielen, dass bitter in der Natur giftige Stoffe anzeigt, süß und umami dagegen Hinweise für lebenswichtige Kohlenhydrate und Proteine liefern. Salzig ist für die Regelung des Elektrolythaushaltes von Bedeutung und sauer wird eventuell sowohl mit zu niedrigem pH-Wert und noch nicht reifen, rohen Früchten in Verbindung gebracht als auch mit Vitaminen assoziiert.

Geschmacksqualitäten und ihre Vertreter

Salzige und saure Stoffe stellen meist Ionen dar, bei süßen und bitteren Stoffen besteht keine strikte Korrelation zwischen chemischer Verbindung und Geschmacksqualität: viele Kohlenhydrate sind süß, manche gar nicht, Chloroform ist süß obwohl seine chemische Struktur nichts mit Zuckern gemeinsam hat (Smith und Margolskee, 2001).

Gruppen, die den Süß- Rezeptor stimulieren, sind neben Zuckern z.B. auch D-Aminosäuren, Glycine und Proteine wie Monellin und Thaumatin. Beispiele für Stimulanzien des Bitter-Rezeptors sind Cycloheximid, Denatonium, Salicin, PTC, Saccharin, Chinin, Strychnin, Atropin oder Koffein (Yarmolinsky et al., 2009).

In den meisten Schmecktests wird süß durch Saccharose, sauer durch Zitronensäure, salzig durch Kochsalz und bitter durch Chininhydrochlorid vertreten. Siehe hierzu zum Beispiel (Bartoshuk, 1989, Collings, 1974, Hermel et al., 1970, Mojet et al., 2001, Naka et al., 2010, Nordin et al., 2007, Pingel et al., 2010).

Geschmacksqualitäten und wo sie wahrgenommen werden

Bereits 1901 beschrieb Hänig, dass alle Areale der Zunge (außer die Zungenmitte) bezüglich der Geschmäcker süß, salzig, sauer und bitter „perceptionsfähig“ seien, lediglich unterschiedliche Schwellen aufwiesen (Haenig, 1901).

Die Zunge kann eingeteilt werden nach den Gebieten der versorgenden Geschmacksnerven: linke und rechte Chorda tympani für die vorderen zwei Drittel der Zunge, linker und rechter N. glossopharyngeus für das hintere Drittel der Zunge. Alle Nerven können alle Geschmacksqualitäten verarbeiten, auch Unterschiede für Wahrnehmungsschwellen

zwischen der linken und rechten Seite bei gesunden Probanden mit unterschiedlicher Händigkeit scheint es nicht zu geben (McMahon et al., 2001). Allerdings besteht im Vergleich zu anderen Arealen eine leicht verbesserte Detektion von bitteren Reizen am Zungengrund, dem Bereich der Wallpapillen (Schiebler und Korf, 2005).

Die Anatomie und Physiologie des Geschmackssinns wird nun beschrieben, wobei eine Einteilung nach Geschmacksrezeptoren, Geschmacksknospen, Zungenpapillen, Geschmacksnerven und den zentralen Bahnen vorgenommen wird.

2.1.2 Geschmacksrezeptoren

Die Moleküle der Geschmacksstoffe diffundieren durch den Schleim der Zungenoberfläche und erreichen über den Geschmacksporus die apikale Membran der Sinneszellen, wo sie an Rezeptoren binden. Es folgt die Signaltransduktion, die dann über Aktivierung von Synapsen zur Erregung der Nervenenden führt. Nicht nur auf der Zunge und im Bereich des Gaumens konnten Geschmacksrezeptoren nachgewiesen werden, sondern auch im Bereich der Naseschleimhaut (Zancanaro et al., 1999), der Magenschleimhaut (Hofer et al., 1996) und auf der glatten Muskulatur der Bronchien (Deshpande et al., 2010).

G-Protein gekoppelte Rezeptoren

Die Geschmacksreize bitter, umami und süß werden durch G-Protein gekoppelte Rezeptoren aufgenommen.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass durch die aktivierten G Proteine der Geschmackszellrezeptoren eine spezifische Phospholipase C (PLC β 2) aktiviert wird und diese wiederum einen potentialgesteuerter Ionenkanal (TRPM5) aktiviert, der seinerseits den Einstrom von Kalzium in die Geschmackszelle ermöglicht.

Dieser intrazelluläre Kalziumanstieg ist für die Wahrnehmung von süß, umami und bitter essentiell. Er löst vermutlich das Freisetzen von Neurotransmittern aus, um die afferenten Nervenfasern zu aktivieren (Smith und Boughter jr., 2007).

Insgesamt scheinen die Geschmacksrezeptoren bei Säugetieren einer deutlicher ausgeprägten Variabilität zu unterliegen als andere G-Protein gekoppelte Rezeptoren. Während beim Menschen der Geschmack umami nur durch L-Glutamat und L-Aspartat repräsentiert wird, löst bei Mäusen die Mehrheit der L-Aminosäuren eine messbare Antwort aus. Andererseits werden einige Substanzen vom Menschen als süß empfunden, die von

Mäusen indifferent aufgenommen werden (Nelson et al., 2001, Iwasaki et al., 1985, Zhao et al., 2003).

Das G-Protein der Geschmacksrezeptoren, welches am Anfang der Kaskade der Reizleitung steht wurde von Wong, Gannon und Margolskee 1996 als „Gustducin“ bezeichnet und mit dem Transducin der Retina verglichen. In ihrer Studie an Mäusen, denen eine der drei Einheiten des Gustducins fehlte konnte gezeigt werden, dass die sonst natürliche Meidung bitterer und Bevorzugung süßer Nahrung aufgehoben war (Wong et al., 1996).

G-Protein gekoppelte Rezeptoren: Süß- und Umami-Rezeptoren

Die Rezeptoren für umami und süß bestehen aus den Untergruppen T1R1, T1R2 und T1R3. Dabei bildet die Kombination aus T1R1 und T1R3 den Rezeptor für umami und die Kombination aus T1R2 und T1R3 den Rezeptor für süß. T1R3 stellt also das verbindende Merkmal der beiden Rezeptoren dar.

G-Protein gekoppelte Rezeptoren: Bitter-Rezeptoren

Bitter Rezeptoren werden als T2R Rezeptoren klassifiziert. Liganden für verschiedene T2R Rezeptoren bei Mäusen und Menschen wurden identifiziert und stimuliert und lösten beim Menschen bitteren Geschmack und bei Mäusen aversives Verhalten aus. Es wird von ca. 30 verschiedenen Bitter-Rezeptoren ausgegangen (Behrens et al., 2009). Dies ist zwar eine große Menge aber es gibt trotzdem deutlich weniger T2R Untergruppen als chemische Verbindungen, die bitteren Geschmack auslösen. Da eine Geschmackszelle mit vielen verschiedenen T2R Rezeptoren ausgestattet ist und eine T2R Gruppe in der Lage ist eine Vielzahl verschiedene Liganden zu binden kann die enorme Bandbreite bitterer Substanzen abgedeckt werden (Chandrashekar et al., 2000, Breslin und Huang, 2006), was auf die Wichtigkeit dieses Systems hinweist (Hummel et al., 2011b). Interessanterweise lösen einige Substanzen in niedriger Konzentration eine süße Empfindung, in hoher Konzentration dagegen eine bittere Wahrnehmung aus. Dies kann dadurch erklärt werden, dass sie in niedriger Konzentration nur an T1R Rezeptoren und in hoher Konzentration auch an T2R Rezeptoren binden. Als Beispiel wird Saccharin genannt (Yarmolinsky et al., 2009).

Ionenkanäle

Rezeptoren von salzig und sauer zählen im Gegensatz zu den G-Protein gekoppelten Rezeptoren zur Familie der Ionenkanäle.

Ionenkanäle: Salzig-Rezeptoren

Salzig-Rezeptoren zählen zu den ENaC-Ionenkanälen. Diese Kanäle sind Natrium selektiv, aber teilweise auch durchlässig für andere Kationen wie Kalium und Wasserstoff. Bei der oralen Aufnahme von Salzen gelangen Natriumionen durch offene ENaC Kanäle in die Geschmackszellen und führen so zu einer Depolarisation (Smith und Boughter jr., 2007). ENaC Ionenkanäle werden durch Amilorid inhibiert, was zu ihrer Entdeckung beitrug. Man stellte nämlich fest, dass Mäuse in geringen Konzentrationen gerne Salz aufnehmen, dies aber durch die Gabe von Amilorid unterbunden werden kann (Yarmolinsky et al., 2009). Gleichzeitig konnte aber auch gezeigt werden, dass in hohen Konzentrationen eine Aversion gegen Salz bestand, die nicht durch die Gabe von Amilorid zu beeinflussen war. Es muss also davon ausgegangen werden, dass weitere Rezeptoren für salzig existieren. Die genauen Mechanismen des Salzrezeptors bzw. der Salzrezeptoren gilt es noch zu erforschen (Yarmolinsky et al., 2009).

Ionenkanäle: Sauer-Rezeptoren

Am wenigsten Aufschluss gibt es bisher über den Aufbau und die Funktion der Sauerrezeptoren. Geschmackszellen, die auf saure Reize reagieren, sind durch die Expression des Proteins PKD2L1 charakterisiert. Während einige Autoren von einem intrazellulären pH-Abfall als Stimulus ausgehen (Lyll et al., 2001 aus Yarmolinsky et al., 2009) sehen andere bewiesen, dass es sich um extrazelluläre Rezeptoren handeln muss (Chandrashekar et al., 2009 aus Yarmolinsky et al., 2009). Vermutlich spielt die Blockierung von Kaliumkanälen in der Membran der Schmeckrezeptoren eine Rolle (Chaudhari und Roper, 2010).

2.1.3 Geschmacksknospen

Der Mensch hat zahlreiche Geschmacksknospen (genauere Angaben scheinen nicht verlässlich, so differiert die Anzahl je nach Autor zwischen 2000 und 4600). Diese befinden

sich vornehmlich auf der Zunge, wo sie in das Epithel der Papillae vallatae (Wallpapillen), Papillae fungiformes (Pilzpapillen) und Papillae foliatae (Blätterpapillen) eingebettet sind. In geringerer Zahl werden sie auch am weichen Gaumen, an der dem Larynx zugewandten Seite der Epiglottis und im oberen Drittel des Ösophagus gefunden. Geschmacksknospen sind zwiebelartige Gebilde aus ca. 60-120 Zellen (Delay et al., 1986, Kinnamon et al., 1993 aus Breslin und Huang, 2006) mit einer Öffnung an ihrem oberen Ende, dem so genannten Porus gustatorius. Dieser führt in ein Lumen, in das von unten die Microvilli der Sinneszellen (Synonyme: Rezeptorzellen, Geschmackszellen) hineinragen. Geschmackszellen sind keine Neurone sondern veränderte Epithelialzellen (Smith und Boughter jr., 2007), sie sind sekundäre Sinneszellen. Das bedeutet sie haben im Gegensatz zu Riechzellen (primäre Sinneszellen) kein eigenes Axon. „Sie bilden Rezeptorpotentiale, deren Signale über Synapsen an marklose Endigungen myelinisierter afferenter Nervenfasern weitergeleitet werden.“ (Zilles, 2010). Es bestehen zahlreiche Synapsen zu afferenten Anteilen des N. facialis, N. glossopharyngeus und N. vagus. Dabei bilden sich Konvergenzen und Divergenzen aus. So versorgt eine Nervenfasern viele verschiedene Knospen, gleichzeitig erhält eine Knospe Kontakt zu verschiedenen Nervenfasern. Interessant dabei ist, dass Geschmacksknospen zu Grunde gehen, wenn der versorgende Nerv degeneriert. Umgekehrt führt aber auch eine Regeneration des Nervs zu einer Neubildung der Knospe (Montavon et al., 1996). Die Lebensdauer der Sinneszellen wird unterschiedlich angegeben, zwischen Stunden und wenigen Tagen (Schiebler und Korf, 2005) über einer Woche (Junqueira und Carneiro, 2004) bis hin zu 10 Tagen (Lindemann, 2001).

Zellaufbau der Geschmacksknospen

Neben Sinnesszellen bestehen Geschmacksknospen noch aus Stützzellen und Basalzellen (Stammzellen). Die Stützzellen unterstützen die Sinnesszellen sowohl trophisch als auch strukturell, die Basalzellen liegen am Grund der Geschmacksknospen, aus ihnen werden die Sinnesszellen erneuert (Junqueira und Carneiro, 2004).

Während in den oben genannten Anatomie- und Histologie-Büchern beim zellulären Aufbau der Geschmacksknospen zwischen Sinnes-, Stütz- und Basalzellen unterschieden wird, findet sich in der englisch sprachigen Literatur die Unterteilung in Typ I, Typ II, Typ III Zellen und Basalzellen (auch als Typ IV Zellen bezeichnet).

Diese Unterteilung wird auf die Dichte von Gewebeschnitten im Elektronenmikroskop zurückgeführt, die verschiedene Zelltypen unterschiedlich hell oder dunkel erscheinen lässt (Smith und Boughter jr., 2007).

Typ I Zellen sind elektronendicht, also dunkel, haben viele Mikrovilli an ihrer Spitze und bilden unregelmäßig geformte Membranlamellen aus, mit denen sie andere Zellen umschließen. Im Längsschnitt erscheinen sie dreieckig, genau wie Typ II Zellen. Typ II Zellen sind nicht elektronendicht, also hell, haben große, runde Zellkerne und tragen nur einen einzelnen Microvillus an ihrer Spitze. Ebenfalls hell erscheinen Typ III Zellen, allerdings zeigen sich an ihrer Spitze im Gegensatz zu Typ II Zellen viele Mikrovilli. Sie sind über Synapsen mit den Nervenfasern des ersten Neurons verbunden. Im Längsschnitt wirken sie lang und spindelförmig. Inzwischen ermöglichen immunhistochemische Untersuchungen die genauere Differenzierung der Zellen und geben Aufschluss über deren Transmitter, Synapsen, Antigenexpression etc. Siehe hierzu (Smith und Boughter jr., 2007). Über die wichtigsten Komponenten für Informationsaufnahme und deren Weiterleitung (wie z.B. Rezeptoren und Enzyme) scheinen vornehmlich Typ II Zellen zu verfügen, weshalb sie als die Geschmacksrezeptor-Zellen angesehen werden (Yang et al., 2000 aus Breslin und Huang, 2006).

2.1.4 Zungenpapillen

Zungenpapillen verleihen der Zunge ihr raues und unebenes Aussehen. Neben drei Arten von Geschmackspapillen (*Papillae vallatae*, *Papillae foliatae* und *Papillae fungiformes*), in deren Epithel die Geschmacksknospen eingebettet sind, gibt es wahrscheinlich Papillen (*Papillae filiformes*, *Papillae conicae*, *Papillae lentiformes*), die als Vermittler der Tastempfindungen dienen.

Papillae fungiformes und Papillae foliatae

Papillae fungiformes fallen bei der äußerlichen Betrachtung der Zunge als helle rötliche Punkte auf. Sie liegen auf der ganzen Zunge zahlreich verteilt, allerdings finden sie sich vermehrt an der Zungenspitze und am Zungenrand.

Die *Papillae foliatae* liegen am hinteren seitlichen Rand der Zunge und bilden mehrere dicht zusammen liegende Falten.

Die Anzahl von *Papillae fungiformes* und *Papillae foliatae* variiert nicht nur autoren-, sondern auch altersabhängig, genau wie die Anzahl der in ihnen enthaltenen Geschmacksknospen. Abgesehen davon gibt es große interindividuelle Unterschiede (Miller und Reedy, 1990 aus Witt et al., 2003). Um nur einige Zahlen zu nennen: eine Papilla fungiforme enthält ca. 3-5 Geschmacksknospen (Smith und Boughter jr., 2007), alle *Papillae fungiformes* zusammengenommen ca. 500-1000 (Miller und Bartoschuk 1991, Braus 1940, Cheng und

Robinson 1991, Miller und Reedy 1990 aus Witt et al., 2003). Eine Papilla foliata enthält ca. 50 Knospen, insgesamt beläuft sich die Zahl der Knospen in allen Papillae foliatae auf 700-1300.

Wie Geschmacksknospen gehen auch Papillen zu Grunde, wenn der versorgende Nerv degeneriert. Im Tierversuch wurde bei Ratten die Chorda tympani durchtrennt, was eine Abnahme Anzahl und eine Veränderung der Struktur der Papillae fungiformes zur Folge hatte (Sollars und Bernstein, 2000). Dabei konnte auch gezeigt werden, dass je früher die Durchtrennung erfolgt umso schwerwiegender die Auswirkungen sind (Sollars, 2005). Beim Menschen wurde nach Mittelohroperationen, bei denen die Chorda tympani versehentlich verletzt wurde Ähnliches festgestellt. Mit einem Kontakt Endoskop wurde die Anzahl der ipsilateralen und kontralateralen Papillae fungiforme nach der Operation bestimmt und diese sowohl miteinander als auch mit denen von gesunden Probanden verglichen. Es zeigte sich eine deutliche Verringerung der ipsilateralen Papillen und damit einhergehend eine schlechtere regionale Geschmackswahrnehmung (Just et al., 2006).

Papillae vallatae

Die 7 bis 12 Papillae vallatae liegen zwar nur in geringer Anzahl vor, enthalten aber jeweils 100-200 Geschmacksknospen. Insgesamt beherbergen sie fast die Hälfte aller Geschmacksknospen. Sie sind die größten Zungenpapillen und können bei einem Durchmesser von 2-8 mm schon makroskopisch erkannt werden (Witt et al., 2003). Sie bilden die hintere Grenze des Zungenrückens, wo sie wie ein umgekehrtes, nach vorne offenes V angeordnet sind (Junqueira und Carneiro, 1996, Schiebler et al., 1999).

2.1.5 Geschmacksnerven

Insgesamt sechs Nerven leiten den Geschmack: rechter und linker N. facialis, rechter und linker N. glossopharyngeus und rechter und linker N. vagus. Die einzelnen Nerven mit Kerngebieten, Verlauf und Projektionen werden nun genauer dargestellt.

Nervus facialis

Der N. facialis gliedert sich funktionell in drei Teile. Sein speziell viszeromotorischer Anteil versorgt die mimischen Muskulatur, der parasympathisch-sekretorischen Anteil ist für die Sekretion der Tränendrüse und der Submandibular- sowie Sublingualdrüse zuständig und

mit seinen sensorischen Fasern aus der Chorda tympani versorgt er die vorderen zwei Drittel der Zunge. Im Folgenden soll vor allem auf Ursprung, Verlauf und Funktion der sensorischen Fasern eingegangen werden.

Anatomisch besteht der N. facialis aus dem Fazialisanteil und dem Intermediusanteil. Diese beiden Anteile verlassen den Hirnstamm getrennt voneinander und treten dann gemeinsam durch den Porus acusticus internus in den inneren Gehörgang ein und verlaufen bis zum Innenohr. Im Canalis facialis des Felsenbeines biegen die Nerven nach hinten um und bilden so das äußere Fazialisknie. Hier liegt das Ganglion Geniculi und hier nehmen die Anteile wieder einen getrennten Verlauf, wobei sich der Intermediusanteil weiter aufsplittert. Direkt in Höhe des Ganglion Geniculi verlassen die präganglionären parasymphatischen Fasern als N. petrosus major den Hauptstamm des Intermediusanteils und ziehen über das Ganglion Pterygopalatinum zur Tränendrüse. Als nächstes geht im Canalis facialis der kleine N. stapedius ab, der den M. stapedius des Mittelohres innerviert. Etwas später bereits kurz vor Verlassen des Canalis facialis, zweigt die Chorda tympani ab. Sie zieht in einem eigenen Knochenkanal retrograd zum Mittelohr zurück, wo sie in einer Schleimhautfalte zwischen Hammergriff und Amboss durch die Paukenhöhle zieht, um dann abwärts zu verlaufen und unten an der Schädelbasis an der Fossa infratemporalis wieder zu erscheinen. Hier schließt sich die Chorda tympani mit ihren präganglionären parasymphatischen Fasern und ihren Geschmacksfasern dem N. lingualis an. Dieser zieht zwischen den beiden Mm. pterygoidei in einem Bogen zum Zungengrund herab, gibt die vegetativen Fasern an das Ganglion submandibulare ab und versorgt mit seinen eigenen Fasern allgemein – somatosensibel, mit denen aus der Chorda tympani sensorisch die vorderen zwei Drittel der Zunge.

Nervus glossopharyngeus

Während die vorderen zwei Drittel der Zunge sensibel vom N. lingualis (einem Ast des N. mandibulares, dem dritten Hauptstamm des N. trigeminus) und sensorisch von der Chorda Tympani (aus dem N. facialis) versorgt werden übernimmt der N. glossopharyngeus diese beiden Aufgaben allein für das hintere Drittel der Zunge.

Der N. glossopharyngeus hat also einen somatosensiblen (Sensibilität) und einen speziell viszerosensiblen (Geschmack) Anteil. Außerdem versorgt er mit seinem speziell-viszeromotorischen Anteil zusammen mit dem N. Vagus die Schlundmuskulatur. Seine allgemein viszerosensiblen Fasern dienen der Übermittlung von Information aus dem Sinus caroticus und dem Glomus caroticum.

Der N. glossopharyngeus tritt unter der Brücke aus dem Hirnstamm aus. Er zieht von dort durch das Foramen Jugulare weiter abwärts zwischen M. stylopharyngeus und M. styloglossus zur Zungenwurzel. Hier verzweigt er sich in seine Endäste. Beim Durchtritt der

Schädelbasis im Foramen jugulare, bildet er ein oberes und unteres Ganglion. Aus letzterem zweigt der N. tympanicus ab, der die Glandula parotis und das Mittelohr versorgt. Das obere Ganglion ist rein sensibel (Trepel, 1999).

Nervus vagus

Wenngleich bekannt ist, dass auch der N. vagus Geschmacksfasern führt, wird auf seine Anatomie nicht näher eingegangen, weil er bei den hier durchgeführten Tests nicht gesondert untersucht wurde.

Zusammenspiel der Geschmacksnerven

Bemerkenswert ist, dass Informationen der einzelnen Nerven zentral miteinander in Kontakt zu treten scheinen. Fällt bei Patienten auf einer Seite der Geschmackssinn aus wird dies nicht wahrgenommen, weil die andere Seite weiterhin Informationen liefert und sogar sensibler für Geschmacksreize wird. Kommt es nun zu einer Erholung der kranken Seite, wird die andere von Anfang an gesunde Seite plötzlich weniger sensibel für Reize. („Pfaffmann´s case“)aus (Bartoshuk und Beauchamp, 1994). Dies würde bedeuten, dass sich die Informationen der kontralateralen Nerven gegenseitig hemmen. Fällt ein Nerv aus, so fällt nicht nur seine primäre Funktion aus sondern auch seine Hemmung auf den kontralateralen Nerv, was in diesem Bereich zu einer gesteigerten Sensibilität führt. Diese zentrale Verschaltung funktioniert nicht nur zwischen rechter und linker Chorda tympani bzw. rechtem und linkem N. glossopharyngeus, sondern auch zwischen Chorda tympani und N. glossopharyngeus. In Studien hatte die Anästhesie der Chorda tympani eine Erhöhung der Sensibilität auf dem Versorgungsgebiet des kontralateralen N. glossopharyngeus zur Folge (Lehman et al., 1995). Diese Auswirkungen zeigten sich auch nach Verletzung der Chorda tympani durch operative Entfernung eines Akustikusneurinoms (Kveton und Bartoshuk, 1994).

Die Überkreuzungen der Innervationsgebiete erklären, warum es bei Nervenschädigungen nur zu minimalen Ausfällen kommt, die Tatsache, dass sich die Nerven aber wie oben beschrieben gegenseitig hemmen können, führt dazu, dass die Geschmacksempfindung, die bei der Stimulation des gesamten Mundes erzeugt wird, geringer ausfällt als die Summe der Wahrnehmungen aus einzelnen umschriebenen Gebieten (Bartoshuk, 1989).

2.1.6 Zentrale gustatorische Bahnen

Das erste Neuron zieht von den Geschmacksknospen zum Kerngebiet der Ncll. tractus solitarii in der Medulla oblongata. Hier wird auf das zweite Neuron umgeschaltet, welches über den Tractus tegmentalis centralis (im Mittelhirn gelegen) zum Thalamus zieht. Dabei scheint die Information vornehmlich ipsilateral zu verlaufen. Hirnstammläsionen unterhalb der Pons führen nämlich zu Ausfällen auf der ipsilateralen Zungenseite. In Höhe der Pons kommt es bei Läsionen überwiegend zu Ausfällen der ipsilateralen in deutlich geringerem Maße aber auch der kontralateralen Seite. Ob beim Menschen in der Pons eine Umschaltstation für Geschmacksfasern liegt ist nicht endgültig geklärt (Small, 2006). Der Thalamus, in dem auf das dritte Neuron umgeschaltet wird, gliedert sich in spezifische und unspezifische Thalamuskern. Dabei projizieren die unspezifischen Thalamuskern diffus in den gesamten Kortex, während jeder der spezifischen Thalamuskern seinen Einfluss auf bestimmte Teile der Großhirnrinde ausübt. Diese spezifischen Thalamuskern tragen meist topographische Bezeichnungen. Für den Geschmack spielt die ventrale Kerngruppe mit Ncl. ventralis anterior (VA), Ncl. ventralis lateralis (VL) und Ncl. ventralis posterior (VP) die entscheidende Rolle. Viele dieser Kern sind Endigungsstätten der Sinnesbahnen deren Impulse von hier aus zum Kortex gelangen. Der Hauptumschaltpunkt für den Geschmack ist der mediale Anteil des Ncl. ventralis posterior. Hier enden die afferenten Fasern aus dem Trigeminiusbereich sowie die gustatorischen und sensiblen Fasern von N. facialis und N. glossopharyngeus, während die sensiblen Fasern aus dem Rückenmarksbereich im lateralen Anteil enden (Trepel, 1999).

Gustatorischer Kortex

Älteren Studien zu Folge ist die primäre Geschmacksregion entweder die Region 43 nach Brodmann im parietalen Operculum (Bornstein, 1940) oder die vordere Inselregion (Motta, 1959). Dafür sprechen Studien, bei denen gezeigt werden konnte, dass Epilepsien im Bereich der Inselrinde mit Geschmackshalluzinationen einhergehen können (Cascino und Karnes, 1990) genau wie chirurgische Eingriffe in dieser Region (Penfield und Faulk, 1955). Inzwischen geht man davon aus, dass vorderer Inselregion, frontales Operculum und parietaler Kortex die primären gustatorischen Rindenareale darstellen (Kinomura et al., 1994, Kobayakawa et al., 1999).

Projektionen

Von der vorderen Inselrinde sollen auch Projektionen zum orbitofrontalen Kortex laufen, der als sekundäres gustatorisches Rindenfeld angesehen wird. Hier bestehen Konvergenzen zu Afferenzen anderer chemischer Sinne (Small, 2006). Weiterhin bestehen Verbindungen zum Ncl. accumbens (Yamamoto et al., 2011). Der Ncl. accumbens ist ein kleiner Teil des Striatums und wird als Bindeglied zwischen Basalganglien und limbischem System bzw. psychomotorischem System gesehen (Trepel, 1999). Von hier gibt es Verbindungen zum zentralen Nucleus der Amygdala und zum lateralen Hippocampus (Yamamoto et al., 2011). Die genannten Strukturen (Insel, Amygdala, lateraler Hippocampus) und die Stria terminalis modulieren die Geschmacks-Informationen. Während Amygdala und Hippocampus einen eher aktivierenden Effekt auf die Ncll. Tractus solitarii haben, wirken Inselrinde und Stria terminalis inhibierend (Smith und Boughter jr., 2007).

Rechte oder linke Hemisphäre?

Hinweise dafür, ob rechte oder linke Hemisphäre bei der Geschmackswahrnehmung dominiert, liefert die PET-Übersichtsstudie von Small 1999, bei der 16 von 22 aufgezeichneten Aktivitätsspitzen in Insel und Operculum auf der rechten Seite zu verzeichnen waren (Small et al., 1999).

Hierzu passen auch die Ergebnisse der Studie von Singh, Iannilli und Hummel. Hier wurden gustatorisch evozierte Potenziale durch Stimulation mit Mononatriumglutamat und Kochsalz aufgezeichnet, wobei die Antworten für beide Stimuli in der rechten Hemisphäre signifikant größer ausfielen (Singh et al., 2011).

2.1.7 Geschmackskodierung

Für die Verarbeitung des Geschmackes gibt es zwei grundlegende Theorien. Eine Theorie „labeled-line“ besagt, dass jede Geschmacksqualität ausschließlich von bestimmten Nerven weitergeleitet wird und so für jeden Geschmack bereits peripher eine Unterscheidung vorgenommen wird. Die andere Theorie „across-fibre-pattern“ geht davon aus, dass alle Nervenenden durch alle Rezeptoren stimuliert werden können und erst zentrale Neurone das Muster aufschlüsseln, welches durch die Information der afferenten Nervenfasern entsteht. Sue Kinnamon erklärt die Theorien wie folgt:

„Im labeled-line-Modell sind zum Beispiel für süß sensible Zellen fest verbunden mit Nervenfasern, die auch für süß sensibel sind und zum Gehirn verlaufen um dort den

Geschmack süß zu kodieren. Wenn man diese Leitung nun stimuliert sollte ein entsprechendes Verhalten auszulösen sein, ohne jedwedes Zutun eines anderen Zelltyps. Im across-fibre-Modell kodiert das Muster der Aktivitäten verschiedener Rezeptoren den Geschmack. Dieses Modell setzt voraus, dass Geschmackszellen allgemein in der Lage sind auf viele Geschmackqualitäten zu reagieren. Diese Theorie wird unterstützt durch elektrische Aufzeichnungen von Rezeptorzellen und von versorgenden Nervenfasern, die zeigten, dass eine Zelle auf mehr als eine Geschmacksqualität antworten kann“ (Bradbury, 2004)

Across-fibre Modell

Weitere Unterstützung erfährt diese Theorie durch Susan Schiffmann, die zeigen konnte, dass der bittere Geschmack von Nikotin durch nikotinerge Acetylcholinrezeptoren vermittelt wird, wobei diese Rezeptoren nicht dazu in der Lage waren andere bittere Stoffe zu verarbeiten. Außerdem stellte sie fest, dass Modulatoren des Adenylatcyclase-, des Phosphatidylinositol- und des Arachnoidonsäuresystems die Intensität einiger aber nicht aller Süßstoffe erhöhen konnten. Diese Tatsachen, nämlich dass verschiedene Rezeptoren bzw. verschiedene Modulatoren nötig sind um Antworten auf verschiedene Geschmacksstoffe einer Geschmacksqualität zu generieren bzw. zu beeinflussen, führte sie zu der Annahme, dass ein Kodierungsmuster nötig sei (Schiffman, 2000).

Auch Smith und Margolskee beschreiben in ihrem Artikel „Making sense of taste“ Versuche, deren Ergebnisse für die across-fibre Theorie sprechen.

Bei Ratten konnten die sonst eindeutig zu unterscheidenden Muster aktivierter Nerven ausgelöst durch Natriumchlorid bzw. Kaliumchlorid durch die Gabe von Amilorid nicht mehr differenziert werden. Die Gabe von Amilorid veränderte auch das Verhalten der Ratten auf Natrium- und Kaliumchlorid. Die reduzierte Aktivität anderer Zellen führte ebenfalls zu einer Aufhebung der unterschiedlichen neuralen Aktivitätsmuster dieser Salze. Diese Ausführungen sollen zeigen, dass es nicht ein bestimmter Zelltyp und bestimmte Nervenfasern sein können, die für die Erkennung bestimmter Reize vorgesehen sind, sondern dass viel mehr der Vergleich verschiedener aktivierter Zellen und verschiedener aktivierter Nerven zur Geschmackserkennung dient (Smith und Margolskee, 2001).

Auf zellulärer Ebene konnte Gilbertson in seinen Versuchen zeigen, dass von 62 mit NaCl, HCl, Saccharose und Chininhydrochlorid getesteten Geschmackszellen, 59 auf mindestens einen Stimulus reagieren, davon 16 Zellen (27,1%) auf ausschließlich eine Substanz, 20 Zellen (33,9%) auf zwei Substanzen, 15 Zellen (25,4%) auf drei Substanzen und 8 Zellen (13,6%) auf alle vier Substanzen (Gilbertson et al., 2001).

Labeled-Line Modell

In der neueren Literatur finden sich mehr Argumente, die das labeled-line-Modell stützen. Es konnte gezeigt werden, dass einzelne voneinander getrennte Geschmackszellen nur einen bestimmten Rezeptortyp exprimieren. Zum Beispiel können spezifische Geschmacksrezeptorzellen durch Diphtherie-Toxin genetisch ausgeschaltet werden, was bei den heranwachsenden Tieren zum Ausfall nur einer Geschmacksqualität führt, während die anderen intakt bleiben (Breslin und Huang, 2006, Chandrashekar et al., 2009). Die angeborene Bevorzugung bestimmter Geschmäcker könnte den Rückschluss zulassen, dass Geschmackszellen fest mit dem Verhalten, welches durch bestimmte Reize ausgelöst wird, verknüpft sind. Wird ein nicht für Geschmack spezifischer Rezeptor auf bitter oder süß kodierten Zellen exprimiert, führt ein sonst geschmackloser Ligand zu einer Aktivierung dieser Zellen und damit zu einem typischen Verhaltensmuster (Zhao et al., 2003, Mueller et al., 2005). Wird ein Bitter-Rezeptor auf süß kodierten Zellen exprimiert, bevorzugen diese Tiere plötzlich bittere Stimuli (Mueller et al., 2005).

2.1.8 Zusammenfassung Geschmackssinn

Der Geschmackssinn nimmt eine besondere Stellung unter den Sinnen ein, da er zur Kontrolle der aufzunehmenden Nahrung dient. Wir können fünf primäre Geschmacksqualitäten unterscheiden: süß, bitter, umami, salzig und sauer. Es konnte gezeigt werden, dass die drei erst genannten über G-Protein gekoppelte Rezeptoren und die beiden letzt genannten über Ionenkanäle aufgenommen werden. Die Geschmackszellen und Ionenkanäle befinden sich in den Geschmacksknospen, die wiederum im Epithel der Zungenpapillen eingebettet sind. Vereinzelt Geschmackszellen kommen auch in Rachen, Gaumen, Nasenschleimhaut, Magen und Bronchien vor. Stimuliert eine Substanz die Geschmackszellen kommt es zum Einstrom von Kalzium, wodurch Botenstoffe ausgeschüttet werden, die über Synapsen die afferenten Nervenendigungen aktivieren. Chorda tympani und Nervus glossopharyngeus sind die hauptverantwortlichen Leiter des Geschmacks, zu einem geringen Grad führt auch der Nervus vagus Geschmacksfasern. Die Fasern ziehen über den medialen Anteil des Ncl. ventralis posterior des Thalamus zur vorderen Inselregion, zum frontalen Operculum und zum orbitofrontalen Kortex. Es bestehen auch Verbindungen zum lateralen Hippocampus und der Amygdala. Uneinigkeit herrscht weiterhin darüber, ob bestimmte Zellen nur bestimmte Rezeptoren exprimieren, dadurch nur von bestimmten Substanzen stimuliert werden und ob das Signal ausschließlich über die dafür vorgesehenen Afferenzen

weitergeleitet wird (labeled-line), oder ob vielmehr ein Muster aktivierter Rezeptoren, Zellen und Nervenenden entsteht, welches zentral aufgeschlüsselt wird (across-fibre).

2.2 Der Geruchssinn

Während man beim Geschmackssinn von fünf primären Qualitäten ausgeht, lässt sich eine derartige Reduzierung bei Geruchsstoffen nicht vornehmen. Es scheint unendlich viele verschiedene Duftmoleküle und Duftgemische zu geben, nicht umsonst geht man von ca. 400 unterschiedlichen Rezeptortypen in der Riechschleimhaut des Menschen aus. Das bedeutet, dass ca. 1% des menschlichen Genoms nur für die Kodierung der Geruchsrezeptoren zur Verfügung steht (Hoover, 2010).

2.2.1 Periphere Anatomie und Physiologie des Geruchssinns

Die Riechschleimhaut befindet sich im oberen Drittel der Nase, wobei genaue Aussagen bezüglich ihrer Größe schwierig zu treffen sind. Die Duftmoleküle gelangen beim Einatmen über den Luftstrom orthonasal, beim Essen und Trinken retronasal zur Riechschleimhaut. In die Riechschleimhaut ragen von oben die Microvilli der Rezeptorzellen hinein, an die die Moleküle binden. Im Gegensatz zu den Geschmackszellen handelt es sich bei den Riechzellen um Neurone, d.h. sie haben ein Axon welches den Reiz direkt weiterleitet. Ihre Axone bilden den ersten Hirnnerven, der zum Bulbus zieht.

2.2.2 Zentrale Anatomie und Physiologie des Geruchssinns

In den Bulbi wird innerhalb der Glomeruli auf die zweiten Neurone umgeschaltet. Die Größe der Bulbi korreliert mit der olfaktorischen Funktion (Buschhuter et al., 2008). Von hier zieht die Information ipsilateral zu vielen verschiedenen Hirnarealen im Frontal- und Temporallappen, z.B. dem frontal piriformen Kortex, dem temporal piriformen Kortex, dem periamygdaloiden Kortex und dem entorhinalen Kortex. Diese Areale werden als Primär olfaktorischer Kortex bezeichnet.

Von hier geht es weiter zu den Strukturen, die als sekundärer olfaktorischer Kortex zusammengefasst werden: u.a. Hippocampus, Amygdala (anteriorer corticaler und basolateraler Nucleus), Hypothalamus und orbitofrontaler Kortex (Gottfried, 2006).

Jeder von uns kennt den Effekt, dass uns Gerüche innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde an einen bestimmten Ort der Vergangenheit zurückversetzen oder uns an Personen und Situationen erinnern können. Das hängt damit zusammen, dass Geruch zentral auch dort verarbeitet wird, wo unser Gedächtnis und unsere Emotionen verankert sind (Limbisches System).

2.2.3 Äußere Einflüsse auf den Geruchssinn

In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass Frauen besser Gerüche wahrnehmen können als Männer und dass Nichtraucher den Rauchern leicht überlegen sind. Im Alter kommt es zu einer Abnahme des Geruchssinnes. 25% der 65 bis 80 Jährigen und 50 % der über 80 Jährigen scheinen sogar anosmisch zu sein (Doty et al., 1984). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass Parkinson und Demenz bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Erkrankung mit einer Abnahme der Riechfähigkeit einhergehen (Hahner und Welge-Lüssen, 2010).

2.2.4 Geruchssinn und Trigeminus

Oft werden olfaktorische und trigeminale Reize zeitlich versetzt oder gleichzeitig angeboten und miteinander verglichen bzw. ihre Wechselwirkung untersucht. Es gibt rein olfaktorische Reize (z.B. Phenylethylalkohol), rein trigeminale Reize (z.B. CO₂) und gemischt olfaktorisch-trigeminale Reize (z.B. Eucalyptol). Der Großteil der Düfte zählt zu den gemischt olfaktorisch-trigeminalen. Die Art der vorrangigen Empfindung hängt häufig von der Konzentration des dargebotenen Stoffes ab. Nikotin beispielsweise löst in niedriger Konzentration eine Geruchsempfindung aus, mit steigender Konzentration überwiegt die reizende, brennende und stechende Qualität. Dabei verhält sich die Intensität der trigeminalen Empfindung linear zur Konzentration. Die Duftintensität hingegen nimmt mit steigender Konzentration zunächst zu, dann ab und erst im weiteren Verlauf wieder zu (Hummel et al., 1992).

2.2.5 Orthonasales und retronasales Riechen

Während wir in der Lage sind trigeminale und olfaktorisch-trigeminale Reize zu lateralisieren, ist uns dies bei rein olfaktorischen Reizen kaum möglich (Kobal et al., 1989). Das gilt gleichermaßen für Erwachsene wie für Kinder (Hummel et al., 2007c). Ob eine rein olfaktorische Stimulation allerdings retro- oder orthonasal angeboten wird, vermögen wir sehr wohl zu unterscheiden. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass die Duftstoffe aus unterschiedlichen Richtungen über das Riechepithel streichen. Hydrophile Düfte werden schon früh gebunden, lipophile dagegen legen einen weiteren Weg zurück. Die Richtung des Luftstromes nimmt also einen entscheidenden Einfluss auf die olfaktorische Wahrnehmung (Hummel, 2008). Wir kennen diesen Effekt aus eigener Erfahrung: der Duft von Käse (oder Wein oder Kaffee) unterscheidet sich deutlich von seinem Aroma, das er beim Essen verströmt.

2.2.6 Testmethoden Geruchssinn

Zur Aufzeichnung zentraler Geruchsverarbeitung werden neben fMRT Untersuchungen olfaktorisch evozierte Potenziale herangezogen. Zur Untersuchung von Riechschwellen, Identifikation und Diskriminierung von Düften werden im europäischen Raum vornehmlich Sniffin Sticks verwendet, diese Versuchsanordnung ist inzwischen international standardisiert erhältlich (Hummel et al., 2011a).

2.3 Sensibilität im Nasen- und Mundraum: der Trigeminus

Der Trigeminus ist der fünfte Hirnnerv und besteht aus einem sensiblen und einem motorischen Anteil. Mit seinem sensiblen Anteil versorgt der Trigeminus das gesamte Gesicht, die Mund- und Nasenschleimhaut und einen Großteil der Hirnhäute, mit seinem motorischen Anteil die Kaumuskulatur. Nach Austritt aus der Pons zieht er nach vorne über die Felsenbeinpyramide, wo er unter der Dura verschwindet. Hier bildet er das Ganglion trigeminale, von wo er sich in den N. ophthalmicus, den N. maxillaris und den N. mandibularis aufteilt.

2.3.1 N. ophthalmicus und N. maxillaris: sensible Äste des Trigeminus

Der N. ophthalmicus versorgt sensibel den gesamten Bereich der Orbita bzw. des Auges einschließlich der Kornea, die Haut der Stirn und die oberen Nasennebenhöhlen und die obere Nasenscheidewand. Mit seinen sensiblen Ästen versorgt der N. maxillaris die Gesichtshaut der Wangen zwischen Augen und Lippen sowie den vorderen Schläfenbereich lateral des Auges. Mit weiteren Ästen versorgt er die Schleimhäute eines Großteils der Nasennebenhöhle und des Gaumens, sowie den knöchernen Oberkiefer mit sämtlichen Oberkieferzähnen.

2.3.2 N. mandibularis: sensibler und motorischer Ast des Trigeminus

Der N. mandibularis versorgt sensibel die Gesichtshaut über dem Kinn und dem angrenzenden Unterkieferbereich bis hinauf zur Schläfe. Weiterhin innerviert er die vorderen zwei Drittel der Zunge (N. lingualis) sowie den Unterkiefer mit sämtlichen Zähnen und die Wangenschleimhaut. Motorisch versorgt er die gesamte Kaumuskulatur.

2.3.3 Fasern und Rezeptoren des Trigeminus

Entscheidend ist die Tatsache, dass der Trigeminus mit dem N. lingualis aus dem Mandibularisanteil die vorderen zwei Drittel der Zunge sensibel versorgt und somit in diesem Bereich für die Empfindung von Schärfe, Temperatur und Textur einer Speise bzw. eines oralen Stimulus zuständig ist. Wichtig ist auch zu wissen, dass N. lingualis und Chorda tympani einen gemeinsamen peripheren Verlauf nehmen.

Der Trigeminus führt A δ Fasern für die helle, stechende Schmerzempfindung und C Fasern, welche den dumpfen Schmerz weiterleiten. Er verfügt über verschiedene Rezeptortypen, zum Beispiel Cold Menthol Rezeptor (CMR1/ TRPM8), Vanilloidrezeptor (TRPV1), transiente Rezeptorpotential-Ionenkanal (TRPA1/ ANKTM1) oder Säure-sensitiver Ionenkanal (ASIC) (Meusel, 2009). Während die vordere Nasenschleimhaut besonders empfindlich für die stechende Empfindung von CO₂ ist, scheinen im Rachenbereich vornehmlich Mechanorezeptoren eine Rolle zu spielen (wichtig für das Schlucken).

Wie oben beschrieben gibt es für die Nase rein olfaktorische, rein trigeminale und gemischt olfaktorisch-trigeminale Reize. Gleiches scheint für die Mundschleimhaut zu gelten.

Fünfzehn von 25 Probanden empfanden Capsaicin nicht nur als scharf, stechend, irritierend sondern auch als bitter. Bei diesen fünfzehn Probanden konnte gezeigt werden, dass sowohl

Capsaicin als auch Menthol eine stärkere Bitterempfindung im Bereich der Wallpapillen als an der Zungenspitze bzw. den Zungenrändern auslösen. Auch die Empfindung von Kälte ausgelöst durch Menthol war im Bereich der Wallpapillen am stärksten. Die irritierende Wirkung von Capsaicin dagegen wurde am deutlichsten an der Zungenspitze wahrgenommen (Green und Schullery, 2003).

2.3.4 Kernkomplexe des Trigemini

Die motorische Wurzel hat ihren Ursprung im Nucleus motorius nervi trigemini.

Der Kernkomplex der sensiblen Wurzel gliedert sich in Ncl. spinalis, principalis und mesencephalicus N. trigemini. Im Ncl. spinalis enden überwiegend die Fasern der protopathischen, im Ncl. principalis die der epikritischen Sensibilität. Im Ncl. mesencephalicus enden die propriozeptiven Fasern der Kaumusculatur.

Der Nucleus spinalis unterliegt einer klaren Gliederung, so enden Fasern aus dem Bereich der Stirn und des lateralen Gesichtsrandes im unteren Teil, die der periorbitalen Region und des oberen Nasenbereiches im mittleren Teil und die Fasern der oralen und perioralen Bereiche im oberen Teil. Es ist daher selten, dass eine Schädigung im Kerngebiet einen Ausfall der gesamten Gesichtssensibilität mit sich bringt, gleichzeitig macht dies eine genaue klinische Untersuchung aller Abschnitte wichtig und sinnvoll (Trepel, 1999).

2.3.5 Zentrale Verarbeitung des Trigemini

Nicht nur peripher, auch zentral scheint der Trigemini ein flexibler und vielseitiger Typ zu sein. Der piriforme Kortex ist eigentlich nur für die Verarbeitung olfaktorischer Reize zuständig. Er wird allerdings auch dann aktiviert, wenn ein trigeminaler Reiz aus der Nasenschleimhaut weitergeleitet wird. Trigeminale Reize aus anderen Regionen (z.B. Stirn) führen nicht zu einer Aktivierung des piriformen Kortex (Boyle et al., 2007). Dies konnte auch auf thalamischer Ebene nachvollzogen werden. Trigeminale Reize werden überwiegend in den kontralateralen Thalamus projiziert, trigeminale Reize der Nasenschleimhaut dagegen führen zu einer Aktivierung des ipsilateralen Thalamus (Iannilli et al., 2008). An diesen Ausführungen soll gezeigt werden, dass der Trigemini in der Lage ist verschiedenste Empfindungen zu verarbeiten und Qualitäten zu unterscheiden und das, obschon es sich lediglich um einen Nerven handelt.

2.4 Interaktion Geschmack-Geruch-Trigeminus

Obwohl der Geschmackssinn, der Geruchssinn und die Sensibilität geleitet durch den Trigeminus unterschiedliche Qualitäten identifizieren und weiterleiten, werden alle drei Systeme im täglichen Leben (z.B. beim Essen und Trinken) gleichzeitig stimuliert und müssen simultan arbeiten.

Auf zentralem Niveau treffen sich Afferenzen aller drei Systeme im orbitofrontalen Kortex (Rolls, 2005), was unterstreicht, dass sie häufig interagieren (Cain und Murphy, 1980, Finger et al., 2003, Dalton et al., 2000).

Viele Autoren konnten zeigen, dass eine verminderte olfaktorische Wahrnehmung die Sensibilität des Trigeminus herabsetzt und umgekehrt, dass verringerte trigeminale Aktivität zu einer Beeinträchtigung des Geruchssinnes führt (Cain, 1974, Hummel et al., 1996).

Der folgende Abschnitt wird sich damit beschäftigen, ob und wie der Geschmackssinn mit Geruchssinn und Trigeminus interagiert.

2.4.1 Interaktion Geschmack- Geruch

Man weiß, dass Blinde eine deutlich verbesserte Tastwahrnehmung im Vergleich zu Sehenden haben. Der logische Rückschluss wäre, dass die Beeinträchtigung eines Sinnes mit der Verstärkung eines anderen einhergeht und andersherum.

Dies scheint bei den chemischen Sinnen nicht der Fall zu sein.

Hier kommt es eher zu einer gegenseitigen Verstärkung in dieselbe Richtung.

Es gibt Hinweise, dass eine Verminderung des Riechempfindens überhaupt keinen Einfluss auf den Geschmackssinn hat (Stinton et al., 2010) bzw. mit einem weniger empfindlichen Geschmackssinn einhergeht (Landis et al., 2010). Bei anosmischen Mäusen fällt die elektrophysiologische Antwort auf Schmeckreize gleich wie bei normosmischen Mäusen aus. Allerdings unterscheiden sich anosmische und normosmische Mäuse bezüglich ihres Verhaltens auf verschiedene Schmeckreize sehr deutlich voneinander. Es entsteht der Eindruck, dass die anosmischen Mäuse nicht in der Lage sind die Schmeckreize zu erkennen (Uebayashi et al., 2001).

Der Geruch von Vanillin verstärkt sowohl retro- als auch orthonasal appliziert den Süßgeschmack von Aspartam (Sakai et al., 2001) und der Duft von Erdbeeren erhöht die durch Saccharose ausgelöste Süßempfindung, gleiches gilt für Sojasoßen-Geruch und Salzempfinden (Djordjevic et al., 2004). Sogar der unterschwellige olfaktorische Reiz mit Buttersäureethylester (Labbe et al., 2007) und die bloße Vorstellung von Erdbeerduft (Djordjevic et al., 2004) verstärkten die Süßwahrnehmung. Dabei ist entscheidend, dass

Geruch und Geschmack zusammen passen. Das Aroma von Karamell beispielsweise verstärkt den süßen Geschmack von Saccharose aber vermindert die Sauerempfindung von Zitronensäure (Stevenson et al., 1999).

Dies waren überwiegend Beispiele dafür wie der Geruch den Geschmack beeinflusst; weniger Studien beschäftigen sich mit der Frage, wie sich der Geschmack auf den Geruch auswirkt.

Der süße Geschmack von Saccharose verstärkt die Wahrnehmung von Vanillin-, Citral- und Furaneol-Duft, während salziger (NaCl) und saurer (Zitronensäure) Geschmack dazu nicht in der Lage sind (Green et al., 2011). Saccharose kann auch die Lokalisierbarkeit von Vanillin-Duft verbessern und NaCl die von Sojasoßen-Geruch. Wie oben beschrieben scheint auch hier der gegenseitige Einfluss von der Kongruenz der gustatorischen und olfaktorischen Reize abzuhängen (Lim und Johnson, 2011). Gleiches zeigt die Studie von Welge-Lüssen 2005. Durch Vanillin evozierte Potentiale fallen kombiniert mit süßem Geschmack größer aus als kombiniert mit saurem Geschmack (Welge-Lussen et al., 2005).

2.4.2 Interaktion Geschmack- Trigeminus

Aus eigener Erfahrung kann sicher jeder sagen, dass die Schärfe von Speisen bis zu einem gewissen Grade zu ihrer Würze beiträgt mit steigender Stärke dann aber zu einer Abnahme der wahrgenommenen Aromen führt. Sicher handelt es sich hierbei um ein Wechselspiel von retronasalem Riechen, Schmecken und trigeminaler Reizung. Wie ausschließlich Geschmack und Trigeminus interagieren, soll in diesem Abschnitt dargestellt werden.

Die elektrische Reizung des N. lingualis hat bei Ratten eine verminderte Aktivität der Chorda tympani zur Folge, das Beenden der elektrischen Reizung führt dagegen zu einem Anstieg der Aktivität. Bei den Ratten, denen vor diesen Untersuchungen Capsaicin verabreicht wurde, trat diese Veränderung jedoch nicht auf. Daraus kann geschlossen werden, dass Stimuli, die den N. lingualis beeinflussen, also z. B. scharfe Speisen durchaus auch die Geschmackswahrnehmung beeinflussen können (Wang et al., 1995).

Für eine gegenseitige Beeinflussung spricht auch, dass bei fünfzehn Patienten, die unter Neuralgie litten und bei denen daraufhin der N. lingualis mit Alkohol blockiert wurde, auf der blockierten Seite eine deutlich verminderte Geschmackswahrnehmung verzeichnet werden konnte (Marcinkowski und Lewandowski, 2006). Andersherum führt eine Anästhesie der Chorda tympani zu einer intensivierten, durch Capsaicin ausgelösten Schmerzwahrnehmung auf der kontralateralen Zungenseite, was für eine gegenseitige zentrale Hemmung der System sprechen könnte (Tie et al., 1999 aus Grushka et al., 2006).

Die bereits oben angeführte Studie von Welge-Lüssen 2005 untersuchte neben der Kombination von Vanillin Duft mit verschiedenen Schmeckreizen auch die Kombination der intranasalen trigeminalen Stimulation (durch CO₂ Gabe) mit verschiedenen Schmeckreizen. Hier zeigte sich eine Erhöhung der durch CO₂ evozierten Potentiale in der Kombination mit saurem Geschmack, während die Potentiale unter „süßen Bedingungen“ deutlich geringer ausfielen.

3 Sensorik bei Kindern

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Entwicklung der Sinne Schmecken, Riechen, Hören und Sehen und zeigen Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen auf.

3.1 Sensorik bei Kindern: Schmecken

Beim Föten zeigen sich Papillen ab der 10. SSW und ab der 16. SSW lassen sich Geschmacksknospen in den Papillen nachweisen. Synapsen bilden sich zwischen 8. und 13. SSW aus (Ganchrow und Mennella, 2003 aus Nicklaus et al., 2005). Bei Kindern im Alter zwischen 8 und 9 Jahren befinden sich gleich viele Geschmacksknospen in jeder fungiformen Papille wie beim Erwachsenen, allerdings bei höherer Papillendichte (Segovia et al., 2002 aus Nicklaus et al., 2005). Das heißt Kinder haben insgesamt mehr Geschmacksknospen als Erwachsene, was aber keine Rückschlüsse auf die Funktion zulässt. Die Innervation der Papillen und Knospen scheint bei Kindern noch nicht so gut ausgebildet zu sein wie beim Erwachsenen (Plattig, 1984 aus Guinard, 2001). Die Wahrnehmung von verschiedenen Geschmackreizen lässt sich bei Neugeborenen anhand ihrer Mimik ablesen.

Bei ihnen geht das Schmecken von Mononatriumglutamat oder Saccharose einher mit einem Anheben der Lippen, rhythmischem Saugen und entspanntem Gesichtsausdruck, als Zeichen des Wohlgefallens. Im Gegensatz dazu verursacht ein bitterer Reiz das Absenken der Mundwinkel, das Zusammenkneifen der Augen, Herausstrecken der Zunge, eine abwendende Kopfbewegung und vermehrten Speichelfluss. Eine ähnlich negative Reaktion wird auch durch saure Stimuli hervorgerufen (Steiner, 1977, Steiner, 1979, Steiner, 1987, Ganchrow et al., 1983 aus Nicklaus et al., 2005).

Mit zunehmendem Alter nimmt die Aversion gegen bittere Stoffe (z.B. gewöhnen wir uns an den bitteren Geschmack von Bier oder Kaffee) und die Bevorzugung extrem süßer Reize ab

(Desor und Beauchamp, 1987), insgesamt bleiben aber die Reaktionen auf bitter und süß im Laufe des Lebens relativ konstant.

Im Gegensatz hierzu scheint Wohlwollen und Ablehnung gegenüber sauren Reizen deutlicher von Konzentration der Lösung sowie Alter und Gewohnheiten der Probanden abzuhängen. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass Mütter und ihre Kinder gleichermaßen fähig sind saure Reize nach ihren Konzentrationen einzuordnen, dass in der untersuchten Gruppe aber ein Drittel der Kinder die höchste Konzentration von sauer bevorzugte, während dies für keine einzige der Mütter zutrifft. Diese Sauerpräferenz der Kinder ging mit bestimmten Essgewohnheiten einher und trat nur bei den Kindern auf, die unbekanntem Essen aufgeschlossener gegenüber waren als ihre Altersgenossen (Liem und Mennella, 2003).

Salzige Lösungen führen bei Neugeborenen nicht zu derart heftigen und eindeutigen Reaktionen wie bittere Reize, allerdings wird auch hier häufig eine ablehnende Haltung sowie eine verminderte orale Aufnahme beobachtet (Beauchamp et al., 1994). Dies ändert sich bereits im Laufe der ersten vier Monate, in denen Säuglinge beginnen salzige Lösungen zu tolerieren. Im Alter zwischen sechs Monaten und 24 Monaten werden salzige Flüssigkeiten und salzige Nahrung sogar bevorzugt (Beauchamp et al., 1986, Beauchamp et al., 1994). Diese Beobachtungen lassen Rückschlüsse darüber zu, wie überschwellige Reize bewertet werden. Wie gut Kinder tatsächlich schmecken können ist schwer zu sagen, da hier natürlich kognitive Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen eine erhebliche Rolle spielen. Einige Studien gehen davon aus, dass Kinder zwischen fünf und sieben Jahren ähnliche Schwellen für Geschmacksreize aufweisen wie Erwachsene (Anliker et al., 1991 aus Guinard, 2001), andere beschreiben eine geringere Sensitivität bei Kindern (Glanville et al., 1964, Yasaki et al., 1976 aus Guinard, 2001). Vergleicht man die Reizschwellen für Saccharose, NaCl, Zitronensäure und Koffein von Erwachsenen und acht bis neun jährigen Kindern so lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Frauen und Männern und zwischen Mädchen und Erwachsenen erheben, allerdings zeigen Jungen im Vergleich zu Frauen signifikant höhere Reizschwellen (James et al., 1997). Eine Studie aus Österreich kommt zu dem Ergebnis, dass nur 27,3% der zehn- bis dreizehnjährigen Schulkinder in der Lage sind alle der vier getesteten Geschmacksqualitäten (süß, bitter, salzig und sauer) zu erkennen und richtig zu benennen. 5,2% der Kinder erkannten drei von vier, 35,8% erkannten zwei von vier, 23,6% erkannten eine von vier und 8,1% erkannten keine der Geschmacksqualitäten. Im Vergleich hierzu lieferten Erwachsene bessere Ergebnisse. Über 70% der Erwachsenen erkannten alle Geschmacksqualitäten (Dürschmidt et al., 2008 aus Traar, 2009).

3.2 Sensorik bei Kindern: Riechen

Während der Schwangerschaft gelangen nicht nur Geschmacks- sondern auch Aromastoffe über das Fruchtwasser zum Fötus. Die Ernährung der Schwangeren nimmt dadurch Einfluss auf spätere Geschmacks- und Geruchsvorlieben des Kindes. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass vier Tage alte Neugeborene, deren Mütter während der Schwangerschaft viel Anis konsumiert hatten, den Geruch von Anis im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich bevorzugten (Schaal et al., 2000). Gleiches konnte mit Karottenaroma nachgewiesen werden, wobei hier nicht nur die pränatale Exposition über das Fruchtwasser, sondern auch die postnatale Exposition über die Muttermilch solche Wirkungen erzielte (Mennella et al., 2001). Neugeborene können von Geburt an riechen und schmecken und uns durch Mimik und bestimmte Verhaltensweisen indirekt Auskunft darüber geben, wie sie das Wahrgenommene beurteilen. Die Hedonik von Düften zeigt dabei deutlichere interindividuelle Unterschiede als die Hedonik von Geschmacksqualitäten und hängt stärker von persönlichen Erfahrungen und damit auch vom Alter ab (Schaal, 1988 aus Guinard, 2001).

Was wissen wir über das Riechvermögen von Kleinkindern, Schulkindern und Jugendlichen? Dreijährige sind in der Lage Düfte als angenehm oder unangenehm einzustufen und zeigen diesbezüglich ähnliche Vorlieben wie Erwachsene (Schmidt und Beauchamp, 1988). Die Bestimmung von Schwelle, Diskrimination und Identifikation mit „Sniffin` Sticks“ ist in diesem Alter kein probates Mittel. Die Drei- bis Fünfjährigen schneiden zu schlecht ab, vergleicht man ihre Ergebnisse mit denen aus elektrophysiologischen Untersuchungen (Hummel et al., 1997). Dies hängt sicher mit der sprachlichen Entwicklung zusammen. Sowohl bei Kindern im Alter zwischen fünf und sechs Jahren als auch bei jungen Erwachsenen im Alter zwischen 20 und 25 korrelieren Sprachvermögen und Duftbeurteilung (Bensafi et al., 2007). Auch die besseren Ergebnisse der Mädchen im Vergleich zu Jungen im Alter zwischen vier und zwölf Jahren bei einer Riechstudie erzielten werden nicht auf das vermeintlich bessere Riechvermögen sondern die höhere sprachliche Fertigkeit der Mädchen zurückgeführt (Monnery-Patris et al., 2009). Objektivierbare Verfahren zeigen ähnlich Ergebnisse bei Kindern und Erwachsenen. So konnte gezeigt werden, dass auch bei Kindern ein Zusammenhang besteht zwischen Riechvermögen und Größe des Bulbus olfactorius (Hummel et al., 2011c). Einen Wendepunkt bezüglich bestimmter Düfte könnte die Pubertät darstellen. Mädchen zeigten vor, während und nach der Pubertät stabile Riechschwellen für Androstenion, 2-methyl, 3-mercapto- butanol (eine Komponente des menschlichen Schweißes) und Schwefelkohlenstoff bei der Messung olfaktorisch evozierter Potentiale. Bei Jungen hingegen stiegen die Schwellen teilweise während und nach der Pubertät an (Chopra et al., 2008).

3.3 Sensorik bei Kindern: Hören

Schon im Mutterleib sind wir in der Lage zu hören. Die prä-, peri- und postnatale Reifung des Hörorgans wird in der folgenden Tabelle dargestellt. Sie ist der Dissertation „Die Entwicklung der auditorischen Hirnstammbahnen bei Kindern bis zum 2. Lebensjahr und deren Einfluss auf den späteren Spracherwerb“ von Stephanie Thee entnommen (Thee, 2008).

Gestationswoche	Entwicklungsschritte
9	Schneckengang
10	Nervenfasern zu Sinnesepithel
11 bis 12	Differenzierung der Haarzellen
12 bis 13	Afferente Innervation der inneren Haarzellen
14 bis 16	Vorübergehende Überproduktion von Haarzellen
18 bis 20	Einsetzen der Funktion der Cochlea
20 bis 28	Efferente Innervation der äußeren Haarzellen
22	Struktur des Cortischen Organs
25	Reaktion des Fötus auf Schall
28	Blinzel- und Startle-Reflex bei pulsierendem Ton
29 und 30	Otoakustische Emissionen nachweisbar
32	Histologische Entwicklung der Cochlea abgeschlossen (ausgenommen Myelinisierung der Ganglienzellen)
36 bis Geburt	Cochlea voll ausgereift, otoakustische Emissionen nachweisbar, auditorisch evozierte Potentiale nachweisbar
1. Lebensjahr	Ausgeprägte Myelinzunahme und Markscheiden Reifung

Tabelle 1 Reifung des Hörorgans

„ Die kontinuierlich voranschreitende Myelinisierung der Hirnstammbahnen und deren Einfluss auf die Veränderungen der auditorisch evozierten Potentiale sind beim Menschen eindeutig belegt. Während die Geschwindigkeit der axonalen Weiterleitung bereits zum termingerechten Geburtszeitpunkt Erwachsenenwerte erreicht, hinkt die Synapsenübertragung etwas hinterher und erlangt Erwachsenenwerte erst zwischen ein und zwei Jahren. (...) Die kortikale Verarbeitung der auditorischen Information beginnt zwischen viereinhalb Monaten und einem Jahr. Zu diesem Zeitpunkt finden sich die Axone der Hörbahn im Temporallappen, die im Alter von zwei Jahren (...) einen Plexus bilden und sich im Alter zwischen drei und fünf Jahren verdichten. Die Entwicklung des tiefen axonalen Systems koinzidiert mit dem Beginn und der Entwicklung des Sprachvermögens.“ (Thee, 2008) Erwachsene benutzen, wenn sie mit Babys und Kleinkindern sprechen, eine im

Vergleich zur normalen Erwachsenensprache übertrieben hohe Sprechweise, die als Ammen- oder Babysprache bezeichnet wird (Szagun, 1980). Die meisten Babys zeigen eine deutliche Präferenz für die Ammensprache im Vergleich zur Erwachsenensprache (Fernald, 1985).

3.4 Sensorik bei Kindern: Sehen

„Die Augen eines Säuglings erscheinen überproportional groß. Dies liegt daran, dass sie bei Geburt des Kindes schon zwei Drittel der Größe des Erwachsenenauges haben. Zudem sind die vorderen Augenabschnitte beim jungen Säugling im Vergleich zum Erwachsenenauge relativ größer als die hinteren Augenabschnitte. Die Sklera ist noch verhältnismäßig dünn und hat aufgrund der durchscheinenden Aderhaut eine bläuliche Tönung. Da die Iris erst im Verlauf der ersten 6 Monate pigmentiert wird, haben die Augen eines kaukasischen Neugeborenen zunächst einen blauen oder grauen Farbton.“
(Mayatepek, 2007) Hier wurden anatomische Unterschiede zwischen Säuglings- und Erwachsenenauge dargestellt. Die folgende Tabelle verdeutlicht die Entwicklung des Gesichtssinnes des Kindes. Sie ist der gleichen Quelle entnommen.

Sehleistung	Entwicklungsbeginn	Gut entwickelt ab
Pupillenreaktion auf Licht	24. SSW	1. Monat
Visuelle Folgereaktion	kurz und inkonsistent ab Geburt	2. Monat (180° Folgen)
Räumliches Sehen	2. -3. Monat	4. -6. Monat (abgeschlossen erst Ende 2. LJ)
Akkommodation	2. Monat	4. Monat
Sehschärfe	Bei Geburt grobe Gesichtsstrukturen erkennbar (2-4% der Erwachsenensehschärfe)	2. Lebensjahr (volle Erwachsenenschärfe erst zu Beginn des Schulalters)

Tabelle 2 Visuelle Entwicklung

4 Testverfahren

Das folgende Kapitel widmet sich verschiedenen Testverfahren. Zunächst werden Möglichkeiten beschrieben den Geschmackssinn zu untersuchen. Es werden Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Probanden und zwischen Männern und Frauen aufgezeigt. Mögliche Ursachen für unterschiedliche Testergebnisse werden diskutiert. Es werden Bedingungen formuliert, die für die Testung von Kindern im Allgemeinen gelten, danach werden kindergerechte Testverfahren für die Sinne Schmecken, Riechen, Hören und Sehen dargestellt.

4.1 Schmecktests

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Funktion des Geschmackssinns zu überprüfen. Dabei kann man unterscheiden zwischen objektiven Verfahren wie beispielsweise gustatorisch evozierten Potentiale (Kobal, 1985, Hummel et al., 2010) oder fMRT Studien (Hummel et al., 2007a) und psychophysischen Tests, bei denen Geschmacksstoffe beurteilt und erkannt werden müssen. Diese kann man weiter unterteilen an Hand der verwendeten Stimulanzen, der Art ihrer Darbietung und danach, ob der ganze Mund oder nur bestimmte Regionen getestet werden. Eine weitere Einteilungsmöglichkeit richtete sich danach, ob überschwellige Reize zur Identifikation des Geschmacks eingesetzt werden (Wie oder nach was schmeckt das?) oder ob Verdünnungsreihen zur Ermittlung von Schwellen und zur Unterscheidung der Intensität Verwendung finden (Schmeckt das nach was? Welches schmeckt stärker?). Dabei kann die Identifikationsschwelle (ab welcher Konzentration wird der Reiz erkannt?) von der Wahrnehmungsschwelle (ab welcher Konzentration wird der Reiz wahrgenommen?) unterschieden werden.

4.1.1 Tests mit verschiedenen Geschmacksdarbietungen

Geschmackslösungen können von Probanden aus einem Becher genippt und wieder ausgespuckt werden (Delwiche et al., 1996) oder Probanden lassen sich Tropfen (Gudziol und Hummel, 2007), Tabletten (Ahne et al., 2000) oder Sprays (Vennemann et al., 2008) mit einem bestimmten Geschmack auf der Zunge zergehen. Um nur ganz bestimmte Areale zu stimulieren kann man mit Lösungen getränkte Wattestäbchen (Bartoshuk et al., 1985) oder Filterpapier (Tomita et al., 1986) verwenden. Hänig verwendete in seiner Studie 1901 feine Haarpinsel zum Aufpinseln von flüssigen Schmeckstoffen. Als schneller und zuverlässiger

klinischer Test haben sich inzwischen die so genannten Taste Strips etabliert (Landis et al., 2009, Mueller et al., 2003) mit denen sowohl im ganzen Mund als auch in bestimmten Arealen getestet werden kann. Mit dem Gustometer kann in automatisierter Weise der ganze Mund stimuliert werden und eine Einteilung nach linker und rechter Seite ist möglich, die Areale genauer einzugrenzen gestaltet sich schwierig, da sich die applizierten Flüssigkeiten zwangsläufig etwas auf der Zunge und im Mund verteilen. Ein Gerät, was eine genaue Platzierung der Testflüssigkeiten durch ein Vakuumverfahren zulässt wird von Hebhargt, Bagla und Doty in dem Artikel „an automated taste testing system“ von 1999 vorgestellt. Es handelt sich hierbei um das so genannte RATTTS (Regional automated taste testing system) der Universität von Pennsylvania (Hebhardt et al., 1999), das sich allerdings nicht im klinischen Alltag durchsetzen konnte.

4.1.2 Elektrogustometrie

Bei den bisher genannten Testverfahren können die primären Qualitäten süß, salzig, bitter sauer und umami untersucht werden.

Hingegen wird bei der Elektrogustometrie schwacher Strom mit Elektroden appliziert, was ein säuerliches, leicht prickelndes Gefühl verursacht (Landis und Just, 2010). Die Methode ist sehr elegant, weil die dünnen Elektroden eine genaue Lokalisierung des Reizes erlauben. Außerdem kann man sehr schön Schwellen in den einzelnen Gebieten quantitativ erfassen, weil sich die Stromstärke leicht variieren lässt (Tomita et al., 1986). Nachteil der Methode ist die geringe Korrelation zwischen elektrisch und chemisch induzierter Schmeckwahrnehmung (Murphy et al., 1995).

4.1.3 Besonderheiten bei regionalen Tests

Für die regionalen Tests ist es wichtig sich zu vergegenwärtigen, dass die Chorda tympani zwar die vorderen zwei Drittel der Zunge versorgt, sich allerdings bei Versuchen zeigte, dass bei ihrer Schädigung nur ein viel kleinerer Bezirk auf der Zunge tatsächlich die Geschmacksempfindung einbüßt. Durch viele Verzweigungen und Überkreuzungen der Nervenfasern kann auch der N. glossopharyngeus in vorderen Bereichen der Zunge aktiviert werden. Aus diesem Grund ist es wichtig bei Untersuchungen nur zwei Zentimeter links bzw. rechts der Mittellinie an der Zungenspitze Reize zu setzen, wenn es darum geht allein die Funktion der Chorda tympani zu prüfen. Dies verhält sich andersherum für den N.

glossopharyngeus genauso. Hier sollten direkt die Papillae circumvallatae stimuliert werden oder die Bereiche um die Papillae folliatae (Tomita et al., 1986).

Für das Auftragen der Lösungen bei regionalen Tests ist es außerdem wichtig, Wattestäbchen oder den Pinsel von vorne nach hinten zu bewegen und nicht von hinten nach vorne: Wenn Chininhydrochlorid von vorne nach hinten auf die Zunge aufgebracht wird, scheint die Empfindung des bitteren Geschmackes gleich zu bleiben, bei der entgegengesetzten Bewegung scheint der Geschmack intensiver wahrgenommen zu werden (Bartoshuk, 1989).

4.1.4 Schmecktests: Unterschiede zwischen jungen und älteren Menschen

Viele ältere Menschen beklagen die Abnahme ihrer Sensibilität für Geschmack im Laufe des Lebens, andersherum haben viele Menschen im höheren Alter eine verringerte Geschmackswahrnehmung ohne dies im täglichen Leben zu bemerken. Die meisten Schmeckstudien zeigen bessere Ergebnisse für junge als für alte Probanden, sowohl bei Schwellentestungen im ganzen Mund z.B. (Richter und Campbell, 1939) als auch bei Schwellentestungen in bestimmten Regionen z.B. (Fikentscher et al., 1977) und (Hermel et al., 1970).

Übereinstimmend dazu finden auch Yamauchi, Hyde, Nordin, Dye und Weiffenbach einen Anstieg der Wahrnehmungsschwelle im Alter, insbesondere für den sauren Geschmack (Yamauchi et al., 2002a, Hyde und Feller, 1981, Nordin et al., 2007, Dye und Koziatek, 1981, Weiffenbach et al., 1982, Nordin et al., 2003).

Interessanterweise lieferten die älteren Probanden bei süßem Geschmack die stabilsten Ergebnisse (Weiffenbach et al., 1982, Dye und Koziatek, 1981, Yamauchi et al., 2002b, Hyde und Feller, 1981).

Siehe hierzu auch (Osada et al., 2003, Pingel et al., 2010, Mojet, 2004, Matsuda und Doty, 1995, Sawada, 2005, Liem und de Graaf, 2004).

4.1.5 Mögliche Ursachen für schlechtere Ergebnisse älterer Probanden bei Schmecktests

Nun stellt sich die Frage, worin die Gründe für eine schlechtere Geschmackswahrnehmung im Alter liegen könnten. Eine Abnahme der Anzahl von Geschmacksknospen wird als mögliche Ursache diskutiert. Diese Theorie ist aber bisher noch nicht hinreichend bestätigt. Junqueira und Carneiro geben in ihrem Histologiebuch an, dass die Anzahl der Geschmacksknospen im Laufe des Lebens abnimmt und der greise Mensch nur noch 1/3

seiner ursprünglich vorhandenen Geschmacksknospen aufweist. Auch andere Autoren (Arey et al., 1935, Mochizuki, 1939, Moses et al., 1967) wollen eine klare Verringerung der Geschmacksknospen im Alter beobachtet haben. Dagegen konnten Arvidson und Miller diese Annahme nicht bestätigen (Arvidson, 1979, Miller, 1988). Miller spricht viel mehr von einer großen Variation in der Anzahl von Geschmacksknospen beim Vergleich verschiedener Individuen, die aber unabhängig vom Alter auftritt (Matsuda und Doty, 1995). Angenommen es käme zu einer Abnahme der Geschmacksknospen würde dies aber nicht zwangsläufig zu einer offensichtlichen Veränderung der Geschmackswahrnehmung im ganzen Mund führen, sondern eher zu regionalen Beeinträchtigungen. In einer Untersuchung von Pfaffmann aus dem Jahre 1952 wurde die Chorda tympani von Ratten durchtrennt, was zu einer deutlichen Abnahme von Geschmacksknospen führte. Dies hatte keinen Einfluss auf ihre Reizschwelle für geschmackliche Wahrnehmung im gesamten Mundraum (Pfaffmann, 1952).

4.1.6 Besonderheiten bei der Testung älterer Probanden

Um entstandene Einschränkung des Schmeckens zu beurteilen sollte man also regionale Testungen durchführen. In einer Studie zeigte sich, dass junge Menschen im Alter zwischen 12 und 29 Jahren Kochsalz an der Zungenspitze leichter wahrnehmen konnten als in einer 3 cm weiter hinten gelegenen Zungenregion. Ihre Ergebnisse variierten je nach Größe der stimulierten Region und je nach Konzentration der Kochsalzlösung. Im Vergleich dazu erzielten die älteren Probanden im Alter zwischen 70 und 79 Jahren unabhängig von Region, Ausdehnung und Konzentration Ergebnisse die im Bereich der Zufallswahrscheinlichkeit lagen (Matsuda und Doty, 1995).

Auf jeden Fall muss man bei Studien und Ergebnissen, die sich auf die altersbedingte Abnahme der Geschmackswahrnehmung beziehen immer beachten, dass ältere Menschen unter allgemeinen kognitiven Einbußen leiden könnten, häufig Begleiterkrankungen aufweisen und mehr Medikamente einnehmen müssen. Für über 250 Medikamente ist eine Beeinträchtigung des Geschmacksinnes beschrieben worden (Mojet et al., 2001). Passend hierzu besteht ein Zusammenhang zwischen der altersbedingten Zunahme der Detektionsschwelle von Geschmack und der Anzahl eingenommener Medikamente (Schiffmann, 1993). Auch schlechte Mundhygiene oder das Tragen von Zahnprothesen sind äußere Faktoren, die Schmecktests beeinflussen könnten (Bartoshuk et al., 1986).

Daher soll nun ein Artikel hervorgehoben werden, der genau diese altersbedingten Begleiterscheinungen berücksichtigt. Es handelt sich um einen Schwellentest im gesamten Mund. Alle Geschmacksqualitäten wurden mit jeweils zwei verschiedenen Substanzen überprüft, zwei Altersgruppen (junge Probanden im Alter zwischen 19 und 33

Jahren und ältere Probanden im Alter zwischen 60 und 75 Jahren) miteinander verglichen. Es durften nur Probanden mit eigenen Zähnen und guter Mundhygiene, die keine Medikamente einnehmen, teilnehmen. Hier zeigten sich signifikante Altersunterschiede für NaCl und Zitronensäure sowie tendenzielle Unterschiede für Saccharose und Koffein (Mojet et al., 2001).

4.1.7 Schmecktests: Unterschiede zwischen Männern und Frauen

Beim Riechen ist eindeutig bewiesen, dass jüngere Probanden besser riechen können als ältere Probanden und Frauen besser als Männer. Beim Schmecken fallen die Ergebnisse nicht so eindeutig aus.

In der bereits weiter oben erwähnten Schwellentestung zeigte sich, dass Frauen von 20 Jahren aufwärts bei allen Reizen außer dem süßen Reiz niedrigere Wahrnehmungsschwellen aufwiesen als Männer (Yamauchi et al., 1995).

In einer Studie mit 41 Männern und 59 Frauen im Alter zwischen 20 und 89 Jahren, bei der die regionale Stimulation der vorderen zwei Drittel der Zunge mit überschwelligem Reizen erfolgte, schnitten Frauen auch besser ab als Männer (Hummel et al., 1997).

Bessere Ergebnisse erzielten Frauen auch bei überschwelligem Reizen, die als Tabletten appliziert wurden (Ahne et al., 2000).

Frauen scheinen nicht nur eine bessere Geschmackswahrnehmung zu haben sondern auch eine Störung des Schmeckens schneller zu bemerken als Männer bzw. subjektiv mehr darunter zu leiden. Mehr Frauen als Männer stellen sich in Spezialprechstunden vor, wobei sich die Anzahl zwischen männlichen und weiblichen Patienten nur in der Gruppe mit milden Symptomen unterscheidet, während sich in den Gruppen mit mittelgradiger oder schwerer Beeinträchtigung gleich viele Männer wie Frauen befinden (Hamada et al., 2002).

Weniger Studien zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden bei der Geschmackswahrnehmung (Matsuda und Doty, 1995, Robin et al., 2003, Mojet et al., 2001). Studien, in denen Männer sensibler für Geschmack waren als Frauen liegen nicht vor.

4.2 Sensorische Testverfahren für Kinder

Will man Kinder bestimmten Testverfahren unterziehen, sollte man sich zunächst darüber im Klaren sein, dass nicht nur eine altersentsprechende Aufgabenstellung nötig ist, sondern eine geschützte Atmosphäre geschaffen werden muss, in der sich das Kind wohl fühlt. Kritisierende Kommentare sollten genauso vermieden werden wie autoritärer Fragestil (Hemingway, 2002 aus Popper und Kroll, 2003). Eine kindgerechte Gestaltung des Untersuchungsraumes hilft den kleinen Probanden sich zu entspannen (Moskowitz, 1985 aus Guinard, 2001), allerdings muss darauf geachtet werden, dass die Dekoration nicht zur Ablenkung führt (Kimmel et al., 1994 aus Guinard, 2001). Das Leistungsvermögen von Kindern unterliegt viel stärker tageszeitlichen Schwankungen als das von Erwachsenen. Es wird daher empfohlen Kinder am Vormittag zu testen (Gollick, 2002 aus Popper und Kroll, 2003).

Prinzipiell sollte man zwischen objektivierbaren Testverfahren, die weder Sprachverständnis noch Sprachproduktion voraussetzen und psychophysischen Tests, die auf Erkennen und Benennen beruhen, unterscheiden. Bei objektivierbaren Testverfahren muss bezüglich der Aufgabenstellung wenig Rücksicht auf das Alter der Probanden genommen werden, psychophysische Tests hingegen sind erst ab einer bestimmten Entwicklungsstufe überhaupt möglich und müssen dann dem jeweiligen Alter angepasst sein.

Prüfungen des Hör- und Sehvermögens spielen bei Kindern sicher eine vorrangige Rolle, da hier isolierte Schäden möglich sind, die zunächst verborgen bleiben, deren Störungen aber die weitere Entwicklung stark beeinträchtigen. Ein Kind, das nicht richtig hören kann, wird Schwierigkeiten haben Sprache zu erlernen (Probst et al., 2008), unbehandelte Refraktionsfehler können zu Blindheit führen (Braverman, 2007). Eine angeborene Anosmie hingegen wird meist erst nach Jahren zufällig bemerkt, angeborene Ageusien sind nur im Rahmen von Syndromen bekannt, wobei hier andere Symptome im Vordergrund stehen. In der medizinischen Fachliteratur ist daher verhältnismäßig wenig Material zu Testverfahren der chemischen Sinne bei Kindern zu finden. Im Gegensatz hierzu hat die Lebensmittelindustrie das Kind als Kunden entdeckt und beschäftigt sich daher sehr ausführlich mit Schmeck-, Riech-, und Aromatests speziell für Kinder.

4.2.1 Sensorische Testverfahren für Kinder: Schmecken

Die Geschmackswahrnehmung von Neugeborenen lässt sich an ihren fazialen Reaktionen ablesen. Welche anderen Arten den Geschmacksinn zu testen gibt es und für welches Alter sind sie geeignet?

Einen Paarvergleichstest, bei dem beurteilt werden muss, welches von zwei Getränken das süßere ist, können Kinder zwischen vier und zehn Jahren bewältigen. Kinder zwischen zwei und drei Jahren sind dazu nicht in der Lage (Kimmel et al., 1994 aus Guinard, 2001).

Allerdings unterscheiden sich die Einstufungen nach Intensität bei Vierjährigen noch deutlich von den Ergebnissen Erwachsener, bei Kindern ab fünf Jahren hingegen ist die Bewertung der Intensität im Paarvergleich gleich gut wie bei Erwachsenen (Liem et al., 2004a). Geht es darum zu beurteilen, welches von zwei dargebotenen Getränken besser oder schlechter schmeckt ist der Test auch schon bei Kindern ab zwei Jahren möglich (Kimmel et al., 1994 aus Guinard, 2001). Kinder ab vier Jahren können bezüglich der Hedonik sogar Einschätzungen mit einer sieben Stufen Skala (1= super schlecht und 7= super gut) vornehmen (Kimmel et al., 1994) aus (Guinard, 2001).

Vergleicht man drei Arten des Bewertens und Einteilens von verschieden stark konzentrierten Saccharoselösungen, so zeigt sich, dass Kinder zwischen acht und neun Jahren mit einer kategorischen Skala (nicht süß, ein kleines bisschen süß, ein bisschen süß, mittel süß, sehr süß, super-süß) und mit einer Verhältnisskala (Intensität der Süße wird mit Zahlen bewertet) genauso gut umgehen können wie Erwachsene. Nicht geeignet für Kinder scheint im Vergleich dazu das Verfahren zu sein, bei dem die Intensität der Saccharoselösung durch den gezeigten Abstand der vorgehaltenen Hände repräsentiert wird (James et al., 2003).

Kinder zwischen sechs und sieben Jahren beschreiben Lebensmittel mit einer ähnlichen Anzahl an Worten wie Kinder zwischen zehn und elf Jahren. Dabei fällt auf, dass sich die Auswahl der Attribute bei den jüngeren Kindern häufiger auf die Textur einer Speise bezieht, bei den älteren Kindern eher auf Geruch und Geschmack (Rose et al., 2004). Dies könnte entweder Hinweis dafür sein, dass im Alter zwischen sechs und sieben Jahren die Begriffe für Geruch und Geschmack noch nicht so geläufig sind, oder aber dafür, dass für jüngere Kinder tatsächlich die Textur der Nahrung eine größere Bedeutung hat. Diese These wird unterstützt durch eine Studie bei der gezeigt werden konnte, dass jüngere Kinder Lebensmittel mit feiner, gleichmäßiger Textur bevorzugen (Urbick, 2002).

Möglich sind deskriptive Tests also bei Kindern ab einem Alter von ca. sechs Jahren, wobei Anzahl und Qualität der verwendeten Attribute erst ab einem Alter von neun bis elf Jahren mit denen von Erwachsenen zu vergleichen ist (Sune et al., 2002).

4.2.2 Sensorische Testverfahren für Kinder: Riechen

Genau wie beim Schmecken können auch beim Riechen die mimischen Reaktionen der Neugeborenen auf Düfte beobachtet werden, was ein Loslösen der Riechbeurteilung von der sprachlichen Entwicklung bedeutet. Neben der Mimik sind bei kleinen Kindern auch fixiertes Starren und eine relative Bewegungsarmut konstante Reaktionen auf Duftreize (Pomares et al. 2002). Eine weitere Möglichkeit sprachunabhängige Riechtests durchzuführen ist die Aufzeichnung der veränderten Atmung als Reaktion auf Düfte, der sogenannte „sniff magnitude test“ (Frank et al., 2004). Indirekte Testverfahren, bei denen der Einfluss von Düften auf die Kognition untersucht wird, sind auch bei Kindern aussagekräftig. Fünfjährige, die in einem bedufteten Raum bei einem Test schlechte Ergebnisse erzielten, schnitten daraufhin bei anderen Tests umgeben vom gleichen Duft deutlich schlechter ab als in der Umgebung eines neuen Duftes (Epple und Herz, 1999). Einteilungen im Paarvergleich bezüglich der Hedonik von Geschmacksqualitäten, waren ja bereits bei kleinen Kindern ab zwei bis drei Jahren möglich. Da die Hedonik von Düften aber stärker von Erfahrungen abhängt, sind solche Fragestellungen frühestens ab einem Alter von fünf Jahren sinnvoll (Rinck et al., 2011). Identifikationstests sollten erst ab dem Schulalter Anwendung finden, da ihre Ergebnisse sehr deutlich mit der sprachlichen Entwicklung zusammenhängen (Monnery-Patris et al., 2009). Tests zur Diskrimination von Düften fallen bei Kindern im Alter von sechs Jahren noch deutlich schlechter aus als bei Erwachsenen, während Elfjährige gleich gute Ergebnisse wie Erwachsene erzielen (Stevenson et al., 2007). Zu objektivierbaren Verfahren z.B. mittels evozierter Potentiale oder fMRT gibt es wenige Daten mit Kindern, z.B. (Hummel et al., 2007b). Diese Verfahren sind bei Kindern prinzipiell möglich, hängen aber vor allen Dingen von der Kooperation des zu untersuchenden Kindes ab.

4.2.3 Sensorische Testverfahren für Kinder: Hören

„Voraussetzung für den Erwerb der Lautsprache ist ein genügendes Hörvermögen. Das zentrale Nervensystem des Neugeborenen und Säuglings scheint Strukturen aufzuweisen, deren Ausreifung durch sprachliche Stimuli getriggert wird. Es scheinen zudem kritische Perioden vorhanden zu sein, in denen eine solche Ausreifung überhaupt möglich ist.“ (Probst et al., 2008). Für das Kind ist daher die Einteilung der Hörstörung nach dem Zeitpunkt des Auftretens besonders wichtig: kongenital und konnatal zum Zeitpunkt der Geburt, prälingual vor dem eigentlichen Spracherwerb mit 2-3 Jahren und nach dem Spracherwerb, also postlingual. Andere Einteilungen der Hörstörungen richten sich nach Ursache (genetisch hereditär oder erworben) oder nach Ort des Auftretens (Mittelohrschwerhörigkeit oder

Innenohrschwerhörigkeit). Eine frühe Prüfung des Hörens und Erkennung möglicher Hörstörungen ist wie schon gesagt von großer Bedeutung. Zu den objektiven Methoden zählt die Aufzeichnung der otoakustischen Emissionen (OAE). Hierbei handelt es sich um Schwingungen, die nicht von außen nach innen (anterograd) sondern von der Cochlea retrograd über das Trommelfell übertragen werden und dort mit Hilfe eines Sondenmikrophons als leise Töne empfangen werden können. Sind OAEs vorhanden kann ein genügendes peripheres Gehör angenommen werden. Ebenfalls zu den objektiven Testverfahren zählen die auditorisch evozierten Potenziale, die wie ein EEG an der Schädeloberfläche mit Elektroden registriert werden. Bei Säuglingen und Kleinkindern werden hauptsächlich die Hirnstammpotenziale (BAEP) abgeleitet, sie erlauben die Bestimmung der Hörschwelle. Sind keine BAEPs nachzuweisen muss eine hochgradige Hörstörung angenommen werden. Zu den subjektiven, verhaltensaudiometrischen Verfahren zählen die Reflexaudiometrie, Reaktionsaudiometrie, Spielaudiometrie und Kindersprachaudiometrie. Bei der Reflexaudiometrie werden unspezifische reflektorische Antworten wie Saugreaktionen, Bewegungsreaktionen oder Änderung des Atemmusters auf auditorische Reize beobachtet. Dies ist beim normalen Säugling von Geburt an möglich. Ab etwa dem 6. Lebensmonat lösen akustische Stimuli typische Reaktionsmuster aus, wie z.B. Zuwendung zu einer Schallquelle außerhalb des Gesichtsfeldes. Diese Reaktion ist erst in der Horizontal- und später in der Vertikalebene vorhanden und wird sich für die Reaktionsaudiometrie zu Nutze gemacht. Bei der Spielaudiometrie wird versucht Aufgaben und Antworten in den Spielablauf einzubauen. Zum Beispiel wird das Kind aufgefordert einen Bauklotz zu einem anderen hinzuzufügen sobald ein akustischer Stimulus aufhört. Dieses Testverfahren ist etwa ab dem 2.-3. Lebensjahr möglich. Drei Jahr und älter sollte ein Kind sein, wenn es im Rahmen der Kindersprachaudiometrie zum Beispiel aus zunehmender Distanz verbal aufgefordert wird, Dinge auf Bildern zu zeigen. Ab dem 4.-5. Lebensjahr lassen sich dann speziell für Kinder entwickelte Sprachtests ohne Bilder einsetzen (Mainzer oder Göttinger Kindersprachtest), bei denen Kinder bestimmte, dem kindlichen Wortschatz entsprechende Worte nachsprechen müssen (Probst et al., 2008, Eßer, 2004).

4.2.4 Sensorische Testverfahren für Kinder: Sehen

„Die Entwicklung des Sehvermögens beruht auf Lernprozessen des Gehirns, die nur am Anfang des Lebens erfolgreich ablaufen können. Entsprechend wichtig ist es, angeborene Sehbehinderungen so rasch wie möglich zu erkennen.“ (Mayatepek, 2007)

Die hochsensitive Phase der Visusentwicklung liegt zwischen dem 3. und 12. Lebensmonat, die Sehschärfe ist ab dem 2. Lebensjahr weitestgehend entwickelt, allerdings besteht bei

den meisten Säuglingen und Kleinkindern zunächst eine geringe Weitsichtigkeit, die sich zwischen dem 7. und 14. Lebensjahr wieder legt.

Als objektive Testverfahren stehen der Kinderophthalmologie die Inspektion, die direkte und indirekte Pupillenreaktion auf Licht, Testung des roten Lichtreflexes und visuell evozierte Potentiale zur Verfügung. Bei den visuell evozierten Potentialen besteht allerdings die Schwierigkeit darin, dass Signale aufgezeichnet werden, die durch die wiederholte Umkehr eines Schachbrettmusters ausgelöst werden. Voraussetzung ist, dass der Patient das Muster fixiert. Dieses Testverfahren ist also für Neugeborene, Säuglinge und Kleinkinder nicht anwendbar. Bei den psychophysischen Tests, die bei Erwachsenen durch das Erkennen von Buchstabentafeln (z.B. Snellen Tafeln), Landolt Ringen (hier muss der Patient die Orientierung einer Lücke erkennen) oder Farbtafeln (z.B. Ishihara Tafeln) abgedeckt werden, (Spalton, 2006) hat sich zur Testung der Fixation beim älteren Säugling bewährt, zu prüfen, ob das Kind ein dargebotenes Spielzeug fixiert und ihm mit den Blicken folgt. Zusätzlich sollte im Wechsel ein Auge abgedeckt werden. Wehrt sich das Kind stets gegen die Abdeckung desselben Auges ist davon auszugehen, dass es mit dem anderen Auge weniger scharf sehen kann. Beim „Preferential-looking“ Test kann beim Kind unter 2 Jahren bei Verdacht auf eingeschränkten Visus die Sehschärfe bestimmt werden. „ Dabei werden dem Kind mittels Diaprojektion auf neutralem Hintergrund Objekte mit unterschiedlich breitem Streifenmuster gezeigt und beobachtet, ob sich das Kind für diese Objekte interessiert. Erkennt es das Streifenmuster wird es vorzugsweise dieses Objekt betrachten. Die Streifenbreite wird nun nach und nach schmaler eingestellt. Das feinste Streifenmuster, das vom Kind noch gegen einen neutralen Hintergrund abgegrenzt werden kann, gibt die Sehschärfe wider.“ (Mayatepek, 2007)

Eine Visustestung mit Kinderbildern (statt wie beim Erwachsenen mit Landolt Ringen oder Buchstaben) ist ab 2-3 Jahren möglich.

5 Schmeckstörungen

Obwohl bekannt ist, dass fast 5% der Bevölkerung unter einer funktionellen Anosmie leiden, gab es bisher nur wenige Daten zur Häufigkeit von Schmeckstörungen in der Normalbevölkerung. Diese liegt vermutlich knapp unter 5%. Bei den beobachteten Schmeckstörungen handelt es sich vornehmlich um Hypogeusien (partieller Verlust des Schmeckvermögens). Ageusie (vollständiger Verlust des Schmeckvermögens) tritt höchstens bei einem Probanden von 1000 auf. Die Schmeckqualitäten salzig und sauer werden häufig miteinander verwechselt, bitter wird oft als sauer bezeichnet und als

Falschantwort wird meistens bitter angegeben (Welge-Lussen et al., 2011). Daher, und weil viele Menschen nicht in der Lage sind ihr Schmeckvermögen richtig einzuschätzen (Soter et al., 2008), ist es wichtig, den Schmecksinn zu testen und nicht nur zu erfragen. Dies zeigt sich auch darin, dass von allen Patienten die sich wegen subjektiver Schmeckstörungen in einer Spezial-Sprechstunde vorstellen, nur ca. 5% eine messbare Schmeckstörung vorweisen. Die überwiegende Mehrheit leidet unter Riechstörungen und damit einhergehend unter der veränderten Aromawahrnehmung beim Essen und Trinken (Deems et al., 1991).

Die folgende Tabelle aus den Leitlinien der Arbeitsgemeinschaft Olfaktologie und Gustologie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie, dient zur Erläuterung einer einheitlichen Terminologie (Arbeitsgemeinschaft, 2007).

Schmeckstörungen (Dysgeusien)		
Quantitative Schmeckstörungen	Hypergeusie	Überempfindlichkeit im Vergleich zu gesunden, jungen Probanden
	Normogeusie	Normale Empfindlichkeit
	Hypogeusie	Verminderte Empfindlichkeit im Vergleich zu gesunden, jungen Probanden
	Ageusie	<u>Komplette A.:</u> Vollständiger Verlust des Schmeckvermögens <u>Funktionelle A.:</u> sehr deutliche Einschränkung des Schmeckvermögens, beinhaltet sowohl den kompletten Verlust als auch das Vorhandensein einer geringen Restwahrnehmung <u>Partielle A.:</u> Verlust der Empfindlichkeit gegenüber einem bestimmten Schmeckstoff
Qualitative Schmeckstörungen	Parageusie	Veränderte Wahrnehmung von Schmeckreizen
	Phantogeusie	Wahrnehmung von Schmeckeindrücken in Abwesenheit einer Reizquelle

Tabelle 3 Einteilung der Schmeckstörungen

5.1 Ageusien

Während es beim Riechen eine angeborene, isolierte Anosmie gibt, ist eine isolierte, angeborene Ageusie im Grunde nicht bekannt. Allerdings gibt es Syndrome, in deren Rahmen es auch zu einer Ageusie kommen kann, beispielsweise die familiäre Dysautonomie oder Riley-Day-Syndrom. Im Hinblick darauf, dass bei dieser Erkrankung eine völlige Fehlfunktion des gesamten autonomen Nervensystems vorliegt mit fehlender Schmerzwahrnehmung, Wachstumsstörungen, hypotonen Krisen, Schluck- und Sprechstörungen spielt die bestehende Ageusie sicher eine untergeordnete Rolle. Warum gibt es keine angeborene, isolierte Ageusie? Unser Geschmackssinn ist überlebenswichtig, da er uns Auskunft über die Genießbarkeit von potentiellen Nahrungsmitteln gibt. Eine Störung des Schmeckens kann sich daher direkt auf unser Ernährungsverhalten und damit auf unsere Lebensqualität, sogar unser Überleben auswirken (Mattes, 1994, Sanchez-Lara et al., 2010, Deems et al., 1991, Schiffmann, 1997). Vermutlich ist dies der Grund, warum insgesamt sechs Nerven für die Integrität des Geschmackssinns sorgen und selbst bei einzelnen Ausfällen das Gesamtkonzept Schmecken nicht merklich beeinträchtigt wird.

5.2 Partielle Ageusien

Es sind Duftstoffe bekannt, die nur von einem Teil der Bevölkerung wahrgenommen werden können, der andere Teil ist anosmisch gegenüber diesen Substanzen (z.B. Androstenon). Diese sogenannten spezifischen Anosmien sprechen dafür, dass bestimmte Rezeptoren zur Wahrnehmung eines bestimmten Duftstoffes notwendig sind, klinisch haben sie aber wenig Bedeutung (Hummel et al., 2011b). Dementsprechend sind auch Substanzen beschrieben, die nicht von allen Menschen geschmeckt werden können. Eine partielle Ageusie besteht in der Bevölkerung beispielsweise für PROP (6-n-Propylthiouracil). Die Menschen, die PROP nicht wahrnehmen können, werden als „non-taster“ bezeichnet, die anderen, für die PROP als bitterer Geschmack imponiert (so genannte „taster“), teilen sich auf in „medium-taster“ und „super-taster“ (Bartoshuk und Beauchamp, 1994). Diese, vor langer Zeit zufällig gemachte Entdeckung, trug bei zur Identifizierung und Klassifizierung von Bitter-Rezeptoren und den kodierenden Genen und Chromosomenabschnitten (Breslin und Huang, 2006). Die Unterscheidung zwischen „non-taster“, „medium-taster“ und „super-taster“ ist nicht nur von rein wissenschaftlichem, sondern auch von klinischem Interesse. So konnte gezeigt werden, dass „medium- und super-taster“ auf Grund der bevorzugten Ernährung deutlich weniger Karies und gesündere Zähne aufweisen als „non-taster“. Diese entwickeln nicht nur häufiger Karies sondern auch einen erhöhten BMI (Verma et al., 2006, Hedge und Sharma, 2008).

5.3 Erworbene Schmeckstörungen

Der größte Teil der Schmeckstörungen ist nicht angeboren oder besteht im Rahmen eines Syndroms, sondern ist erworben.

Wie man der oben aufgeführten Tabelle entnehmen kann sind quantitative und qualitative Schmeckstörungen klinisch unterscheidbar. Während quantitative Schmeckstörungen objektiv messbar sind aber oft unbemerkt verlaufen, werden qualitative Schmeckstörungen häufig als störend empfunden entziehen sich aber objektivierbaren Tests. Die in Riech- und Schmecksprechstunden mit ca. 34% häufigste beklagte Schmeckstörung ist die Parageusie, bei der Schmeckreize anders als gewöhnlich, oft als metallisch oder bitter wahrgenommen werden (Deems et al., 1991 aus Hummel et al., 2011b).

Weitere Einteilungen der Schmeckstörungen sind nach dem Schädigungsort, der Schädigungsart oder der Schädigungsursache möglich (Landis und Just, 2010).

„Hauptursachen für Schmeckstörungen sind (1) Schädel-Hirn-Traumen, (2) Infektionen des oberen Respirationstraktes, (3) Exposition zu toxischen Substanzen, (4) iatrogene Ursachen (z.B. zahnärztliche Behandlung oder Bestrahlung), (5) Medikamente und (6) die Glossodynie, das sogenannte Burning Mouth Syndrom.“ (Hummel et al., 2011b)

Bei der Einteilung nach Ort der Läsion kann man zunächst zwischen peripher und zentral unterscheiden und die peripheren Schmeckstörungen weiter einteilen nach epithelialer und nervaler Ursache. Zwei peripher nervale Ursachen für Schmeckstörungen, nämlich die Schädigung der Chorda tympani durch Mittelohroperationen und die Schädigung des N. glossopharyngeus durch Tonsillektomie sollen hervorgehoben werden.

5.3.1 Schädigung der Chorda tympani durch Mittelohroperationen

Der Grad der Schädigung der Chorda tympani bei Mittelohroperationen variiert je nach operativem Vorgehen und führt zu unterschiedlich stark ausgeprägten postoperativen Schmeckstörungen. Erfreulicherweise kommt es aber bei 92% der symptomatischen Patienten im Laufe von 12 Monaten zu einer kompletten Remission (Gopalan et al., 2005). Teilt man Patienten in verschiedene Gruppen, je nach Schweregrad der intraoperativen Verletzung der Chorda tympani, so finden sich zwar in allen Gruppen Beschwerden wie Hypogeusie, Parageusie, Phantogeusie oder Taubheit der Zunge, allerdings fallen die Schmeckprüfungen bei der Gruppe mit dem stärksten Verletzungsgrad deutlich schlechter aus und nur bei 30% von ihnen kommt es im Verlauf zu einer kompletten Erholung (Just et al., 2003). Symptomatik und elektrogustometrische Ergebnisse scheinen bei den stärker beeinträchtigten Patienten besser zu korrelieren. So gaben 95% der Patienten, bei denen die

Chorda tympanie während der Stapedotomie durchtrennt wurde eine Dysgeusie an, bei 94% lag in der Elektrogustometrie ein kompletter Schmeckverlust im zugehörigen Zungenareal vor. Dagegen waren bei 25% der Patienten deren Chorda tympani intraoperativ gedehnt wurde eine Schmeckstörung objektivierbar obschon 52% von ihnen unter Symptomen litten (Mahendran et al., 2005). Auch wenn in den meisten Fällen nach intraoperativer Schädigung der Chorda tympani und postoperativer Schmeckstörungen im weiteren Verlauf eine Erholung des Geschmackssinns zu verzeichnen ist, sollte auf einen Erhalt des Nervens geachtet werden. Siehe hierzu auch (Mueller et al., 2008, Saito et al., 2000, Saito et al., 2001, Sakagami et al., 2003).

5.3.2 Schädigung des N. glossopharyngeus durch Tonsillektomie

Eine Schädigung des N. glossopharyngeus während Tonsillektomie tritt deutlich seltener auf als eine Verletzung der Chorda tympani bei Mittelohroperationen. Trotzdem kann auch hier eine Störung des Schmeckens resultieren. Über diese mögliche Komplikation der Tonsillektomie sollten Patienten im Vorfeld aufgeklärt werden, obschon auch hier eine Regeneration häufig zu sein scheint. Siehe hierzu (Collet et al., 2005, Donati et al., 1991, Goins und Pitovski, 2004, Tomofuji et al., 2005, Uzun et al., 2003).

6 Studie

Das folgende Kapitel stellt die, der Dissertation zu Grunde liegende, Studie mit Materialien und Methoden, Ergebnissen und Diskussion dar.

6.1 Materialien und Methoden

Die Untersuchungen wurden unter der Leitung von Professor Thomas Hummel aus Dresden und Professor David Laing in Sydney durchgeführt und gliederten sich in einen Schmecktest, einen Riechtest und einen Test zur Erfassung der trigeminalen Sensibilität.

Die Untersuchung des Geschmacksinnes bestand aus zwei verschiedenen Experimenten.

In Experiment 1 wurde das Schmeckvermögen des gesamten Mundes untersucht, in Experiment 2 wurden vier Regionen der Zunge einzeln stimuliert. Als Stimuli dienten saure, salzige, süße und bittere Geschmackslösungen und Wasser. Dabei ging es jeweils nur um die richtige Identifikation des angebotenen Geschmacks. Angaben zur Intensität und zum subjektiven Erleben der Schmeckempfindung wurden nicht erhoben. Zunächst werden Versuchspersonen, Räumlichkeiten, Planung und Aufbau der Untersuchungen für beide Tests zusammen beschrieben, daran schließt sich die Betrachtung jedes einzelnen Experimentes an.

6.2.1 Rekrutierung der Probanden

Etwa 9 Monate vor Beginn der Untersuchungen wurden die Direktoren der staatlichen Grundschulen (Primary Schools) in Sydney angeschrieben, über das Projekt aufgeklärt und gefragt, ob sie sich eine Teilnahme ihrer Schüler bei den Versuchen vorstellen könnten. Die Schulen, die eine positive Rückmeldung gaben bekamen ausführliche Beschreibungen der Versuche und Einwilligungserklärungen für die Eltern zugesandt. Alle Kinder nahmen freiwillig an dem Test teil. Voraussetzung war die Unterschrift der Eltern, Ausschlusskriterien waren akute Krankheiten, Diabetes mellitus, Asthma bronchiale und Lebensmittelallergien. Die Erwachsenengruppe bestand aus Studenten der Ernährungswissenschaften der

University of Western Sydney. Für sie galten die gleichen Ausschlusskriterien wie für die Kinder. Weder Erwachsene noch Kinder wurden für ihre Teilnahme belohnt oder bezahlt.

6.2.2 Ethikkommission

Die Versuche wurden durch das Ministerium für Bildung und Erziehung von New South Wales (New South Wales Department of Education and Training) und die Ethikkommission der Universität von New South Wales (Human research ethics committee of the University of New South Wales / HREC 03086) geprüft und gestattet.

6.2.3 Versuchspersonen, Räumlichkeiten, Zeitpunkt der Untersuchungen

Insgesamt nahmen 266 Personen an der Untersuchung teil, davon waren 125 (47%) männlich und 141 (53%) weiblich. Die Probanden wurden in vier Altersgruppen mit etwa gleicher Gruppenstärke unterteilt: in eine Gruppe von Fünfjährigen mit 72 Personen (35 Jungen, 37 Mädchen), eine Gruppe von Sechsjährigen mit 71 Personen (33 Jungen, 38 Mädchen), eine Gruppe von Siebenjährigen mit 69 Personen (40 Jungen, 29 Mädchen) und eine Erwachsenenengruppe mit 54 Personen (17 Männer, 37 Frauen). Die Erwachsenen lagen im Alter zwischen 18 und 51 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 21,4 Jahren. An Experiment 1 nahmen alle 266 Probanden teil. Zwei fünfjährige Jungen brachen das Experiment 2 ab, so dass sich die Anzahl der Teilnehmenden hier auf 264 Personen reduzierte.

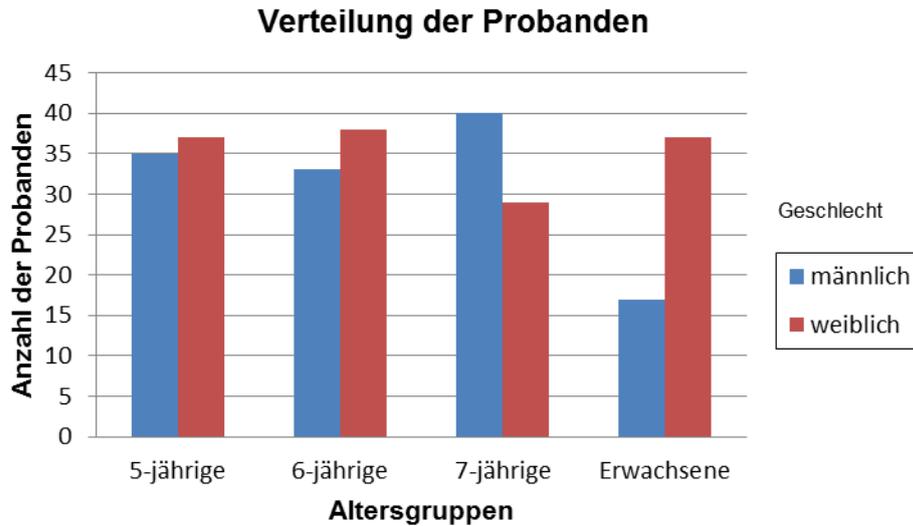


Abbildung 1 Anzahl männlicher und weiblicher Probanden für jede Altersgruppe

Die Kinder wurden vormittags an ihren Schulen untersucht. Die Schulen stellten dafür Klassenzimmer bzw. ihre Aula zur Verfügung. Die Räume waren hell, ruhig und gut belüftet, so dass für ideale Testbedingungen gesorgt war. Für die Erwachsenen fanden die Versuche in einem dafür vorgesehen Raum der Abteilung von Professor David Laing an der Universität von West-Sydney statt.

6.2.4 Aufbau der Untersuchungen



Abbildung 2 Versuchsaufbau

Untersucher und Proband saßen sich an einem Tisch gegenüber. Die Versuchsunterlagen, Bildvorlagen und Geschmackslösungen waren durch eine Sichtblende abgeschirmt, so dass der Proband nur sehen konnte, was ihm direkt präsentiert wurde.

6.2.6 Bildvorlagen

Insgesamt standen fünf Bildvorlagen zur Verfügung, die (im Rahmen der Möglichkeiten) in randomisierter Reihenfolge vorgelegt wurden. Eine Bildvorlage bestand aus einer Kombination von drei möglichen Antworten. Jeder Geschmack wurde dabei durch ein Bild repräsentiert, unter jedem Bild stand der Geschmack als Wort gedruckt. Bitter und sauer wurden als Antwortmöglichkeit nicht kombiniert, weil in Studien gezeigt werden konnte, dass diese beiden Geschmacksqualitäten extrem häufig verwechselt werden (O'Mahony et al. 1979). Wasser stand in jeder Dreierkombination zur Auswahl. Damit setzten sich die Bildvorlagen wie folgt zusammen:



Abbildung 4 Präsentation der Antwortmöglichkeiten

- 1) bitter, salzig, Wasser
- 2) bitter, süß, Wasser
- 3) salzig, sauer, Wasser
- 4) salzig, süß, Wasser
- 5) süß, sauer, Wasser

Salzig wurde durch einen Teller Pommes frites und einen Salzstreuer charakterisiert, bitter durch eine Frau die Kaffee trinkt und angewidert ihre Zunge aus dem Mund streckt, das Bild für sauer zeigte einen Jungen der in eine Zitrone beißt und sein Gesicht verzieht, ein Glas Wasser repräsentierte Wasser und ein strahlendes Kind, das ein Eis in den Händen hält verdeutlichte süß. (Siehe Anhang.)

6.2.7 Experiment 1

Zur Prüfung des Schmeckvermögens im ganzen Mund wurde die „sip and spit“ Methode angewendet. Wörtlich übersetzt bedeutet dies „nippen und spucken“ und ist mit dem Vorgehen bei einer Weinprobe vergleichbar. Eine 0,18 molare Kochsalz-Lösung (10,52 g NaCl in 1000 ml Wasser) diente als salziger Reiz, eine 0,0001 molare Chininhydrochlorid-Lösung (0,0395 g Chininhydrochlorid in 1000 ml Wasser) als bitterer, eine 0,009 molare Zitronensäure-Lösung (1,89 g Zitronensäure in 1000 ml Wasser) als saurer und eine 0,36 molare Saccharose-Lösung (123,25 g Saccharose in 1000 ml Wasser) als süßer Reiz.

Der Untersuchende erläuterte den Test in standardisierter Form, reichte der Versuchsperson den jeweiligen Plastikbecher mit ca. 10 ml Geschmackslösung, legte die Bilderkombination vor sich auf den Tisch und fragte, nachdem der Teilnehmer die Geschmackslösung probiert hatte, um welchen der drei zur Auswahl stehenden Geschmäcker es sich handelte. Dabei deutete er mit dem Finger nacheinander auf jedes Bild und las laut den dazugehörigen Geschmack vor. Der Proband sollte die Antwort sagen und/ oder auf das passende Bild zeigen. Jeder Teilnehmer erhielt vor Beginn des eigentlichen Versuches eine Probelösung, die nicht in die Wertung aufgenommen wurde, um sicher zu gehen, dass die Aufgabestellung verstanden wurde. Probanden konnten die Geschmackslösungen schlucken oder in einen leeren Plastikbecher spucken. Nach jedem Versuch mussten sie sich den Mund mit Wasser ausspülen. Das Probieren der Substanzen und die Auswahl der Antwort dauerten zusammen ca. 7 Sekunden. Die Pause zwischen den einzelnen Aufgaben betrug ungefähr 30 Sekunden.

Die Antworten wurden hinter der Sichtblende in eine Tabelle (siehe Anhang) eingetragen. Während des Testes gab es von Seiten des Untersuchers keine Rückmeldung bezüglich der Richtigkeit der Antwort.

6.2.8. Experiment 2

Direkt an Experiment 1 schloss sich Experiment 2 an. Entscheidender Unterschied zwischen den Versuchen war, dass die Geschmackslösungen bei Experiment 2 nicht im ganzen Mund verteilt wurden, sondern dass der Untersuchende den Geschmack mit einem Wattestäbchen (Johnson and Johnson, Sydney) auf eine bestimmte Region auftrug. Die vier zu

untersuchenden Regionen kennzeichneten die Versorgungsgebiete der rechten und linken Chorda tympani und des rechten und linken Nervus glossopharyngeus.

Region 1 befand sich an der Zungenspitze links der Mittellinie, Region 2 lag an der Zungenspitze rechts der Mittellinie, Region 3 war seitlich hinten rechts und Region 4 seitlich, hinten links angesiedelt. Die Regionen waren ungefähr 0,7 cm lang und 0,3 cm breit.

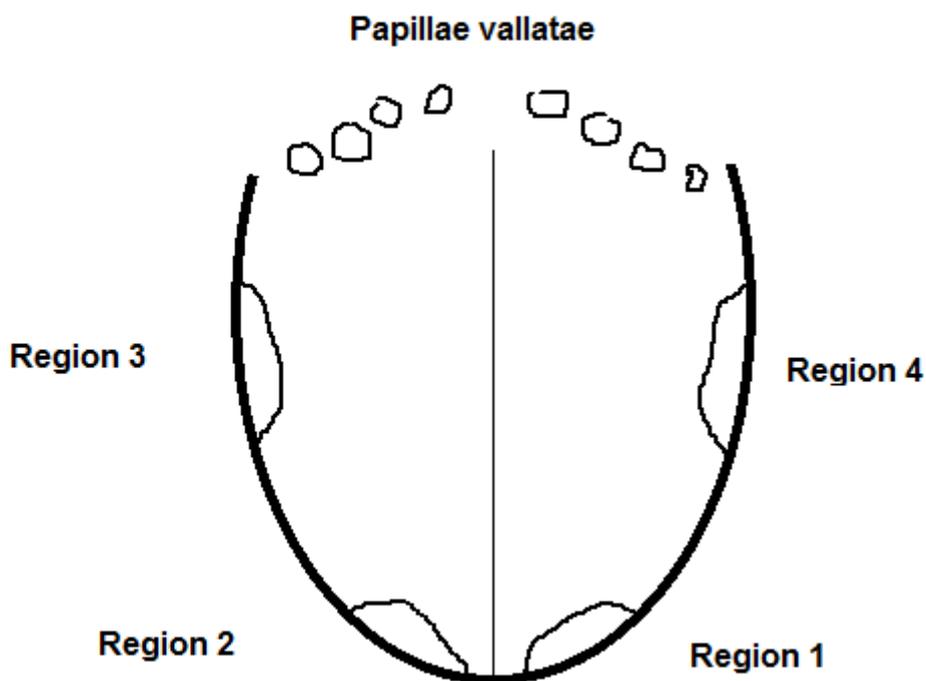


Abbildung 5 Zungenskizze mit den vier Regionen

Da jede Region mit jeder Geschmackslösung geprüft wurde, mussten alle Teilnehmer insgesamt 20 Reize bewerten. Die Reihenfolge der Stimuli und Regionen erfolgte randomisiert. Der Proband wurde gebeten die Zunge so weit wie möglich aus dem Mund zu strecken. Dann wurde die jeweilige Lösung auf die jeweilige Region aufgetragen. Dabei war es wichtig das Wattestäbchen von vorne nach hinten zu bewegen und nicht von hinten nach vorne um eine gleichbleibende Intensität des Geschmackes zu gewährleisten.

Dem Probanden wurden wie in Experiment 1 die Antwortmöglichkeiten gezeigt und vorgelesen, allerdings wurde darauf geachtet, dass der Proband die Zunge ausgestreckt hielt und nur mit dem Finger auf die Antwort zeigte. Das Zurückziehen der Zunge und das Sprechen hätten eine Verteilung der Substanz im ganzen Mund zur Folge gehabt. Auch hier musste der Proband nach jedem Stimulus den Mund mit Wasser ausspülen.



Abbildung 6 Auftrabend der Geschmackslösungen mit Wattestäbchen

Es dauerte ca. 15 Sekunden den Reiz zu setzen und die Antwort zu erhalten. Die Zeit zwischen den einzelnen Versuchen betrug ungefähr 30 Sekunden. Wie in Experiment 1 wurden die Antworten in eine Tabelle (siehe Anhang) hinter der Trennwand eingetragen, auch hier wurde während der Untersuchung keine Rückmeldung gegeben.

Die Geschmackslösungen in Experiment 2 wurden mit den gleichen Substanzen wie in Experiment 1 hergestellt, allerdings in einer höheren Konzentration.

So wurde für salzig eine 1 molare Kochsalz-Lösung (58,4 g NaCl in 1000 ml Wasser), für bitter eine 0,001 molare Chininhydrochlorid-Lösung (0,396 g Chininhydrochlorid in 1000 ml Wasser), für sauer eine 0,032 molare Zitronensäure Lösung (6,72 g Zitronensäure in 1000 ml Wasser) und für süß eine 1 molare Saccharose-Lösung (342,3 g Saccharose in 1000 ml Wasser) verwendet. Diese Angaben richteten sich nach den Konzentrationen für regionale Identifikationstests am Connecticut Chemosensory Clinical Research Center (Bartoshuk, 1989).

6. 3 Ergebnisse

Die 266 Probanden, von denen 125 männlich und 141 weiblich waren, teilten sich in vier Altersgruppen auf:

Altersgruppe 1: 72 Fünfjährige (35 Jungen, 37 Mädchen)

Altersgruppe 2: 71 Sechsjährige (33 Jungen, 38 Mädchen)

Altersgruppe 3: 69 Siebenjährige (40 Jungen, 29 Mädchen)

Altersgruppe 4: 54 Erwachsene (17 Männer, 37 Frauen)

Die Altersgruppen zeigten eine nahezu gleiche Gruppenstärke, allerdings gab es Unterschiede bei der Verteilung von weiblichen und männlichen Probanden. Während die Mädchen bei den Fünfjährigen und Sechsjährigen nur minimal in der Überzahl waren gab es in der Erwachsenenengruppe mehr als doppelt so viele weibliche wie männliche Probanden. Bei den Siebenjährigen nahmen mehr Jungen als Mädchen teil.

6.3.1. Ergebnisse Experiment 1

Betrachtet man zunächst die Ergebnisse aller Gruppen bezogen auf jeden einzelnen Schmeckstoff, so fällt auf, dass jeder dargebotene Reiz von über 80% der Probanden identifiziert wurde. Dabei wurde bitter von 81,6%, salzig von 83,8%, süß von 87,6%, sauer von 89,1% und Wasser von 98,1% der Teilnehmer richtig erkannt. Die häufigste Verwechslung trat beim bitteren Reiz auf, der von 16,9% der Probanden als Wasser bezeichnet wurde. Immerhin 13,9% der Probanden bewerteten den salzigen Reiz als bitter. Eine weitere häufige Verwechslung trat zwischen süß und sauer auf. 11,3 % missdeuteten den süßen Reiz als sauer. Das folgende Schaubild soll die eben beschriebenen Ergebnisse verdeutlichen.

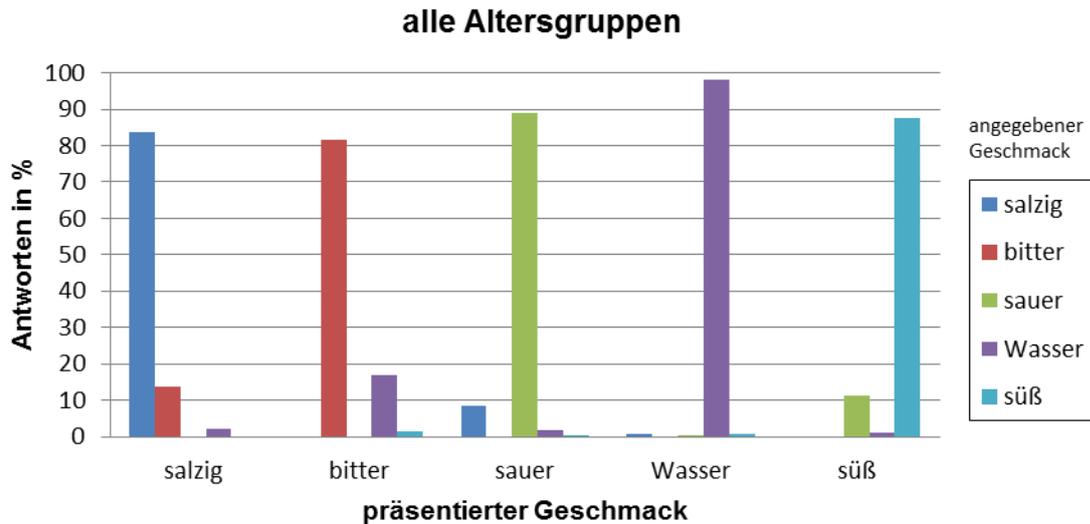


Abbildung 7 Antworten aller Gruppen auf die verschiedenen Schmeckreize

Diese Ergebnisse bezogen sich auf die einzelnen Reize in allen Altersgruppen. Nun sollen die Ergebnisse der einzelnen Altersgruppen miteinander verglichen werden. Die folgende Tabelle zeigt an, wie viel Prozent einer Altersgruppe den Geschmack richtig identifizierten.

	salzig	bitter	sauer	Wasser	süß
Fünfjährige	80,6	72,2	83,3	97,2	79,2
Sechsjährige	83,1	80,3	87,3	97,2	78,9
Siebenjährige	75,4	84,1	91,3	100	95,6
Erwachsene	100	81,6	96,3	98,1	100

Tabelle 4 Richtigantworten in Prozent

Die einfaktorielle ANOVA zeigte, dass die Erwachsenen insgesamt besser abschnitten als alle Kindergruppen, d. h. öfter in der Lage waren dem angebotenen Geschmack die richtige Antwort zuzuordnen. Dabei war der Unterschied nach Bonferroni-Mehrfachvergleichen zwischen den Erwachsenen und den Siebenjährigen auf einem Niveau von 0,041 und zwischen den Erwachsenen und den Sechs- und Fünfjährigen auf einem Niveau von 0,01 signifikant ($p < 0,05$). Die Kindergruppen unterschieden sich nicht signifikant voneinander, allerdings erzielten Siebenjährige etwas bessere Ergebnisse als Fünfjährige ($p=0,068$).

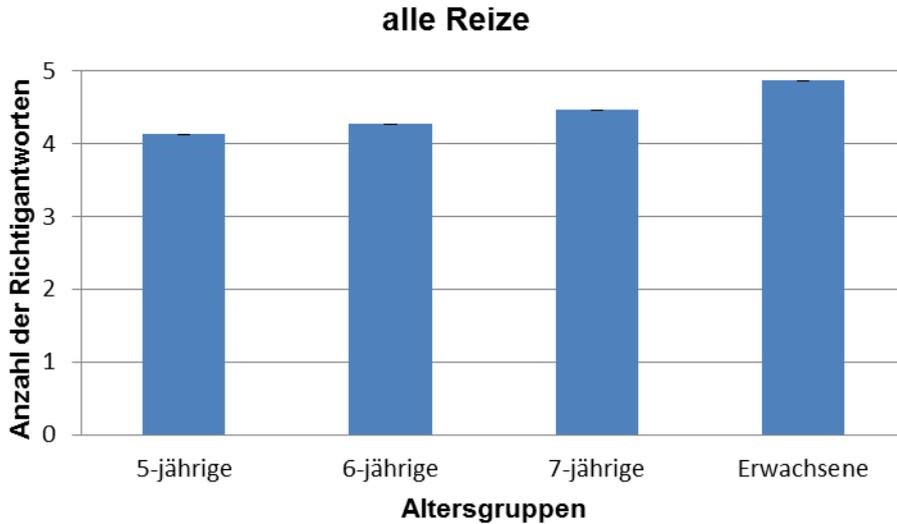


Abbildung 8 Richtigantworten auf die fünf Geschmacksreize der einzelnen Altersgruppen (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

Zwischen männlichen und weiblichen Probanden gab es keine signifikanten Unterschiede, weder bei den Fünfjährigen ($t = 1,82, p > 0,05$), den Sechsjährigen ($t = 0,32, p > 0,05$), den Siebenjährigen ($t = 0,46, p > 0,05$), noch den Erwachsenen ($t = 0,69, p > 0,05$). Allerdings gab es bei den Fünfjährigen einen deutlichen Trend dahingehend, dass Mädchen bessere Ergebnisse erzielten als Jungen (siehe Abbildung 9).

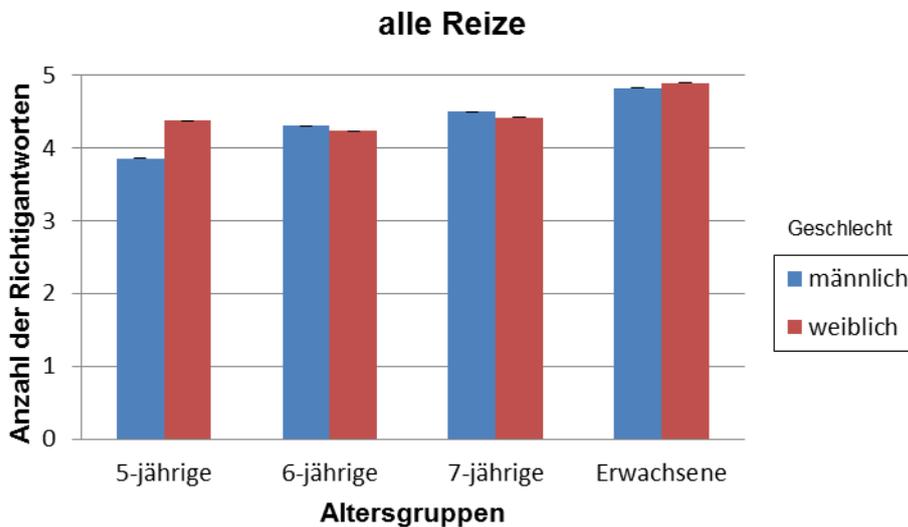


Abbildung 9 Richtigantworten auf die fünf Geschmacksreize der einzelnen Altersgruppen, getrennt dargestellt für männliche und weibliche Probanden (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

Beim Vergleich jedes einzelnen Geschmackes und jeder Altersgruppe zeigten sich beim Bonferroni Post- Hoc Test folgende signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede:

Erwachsene identifizierten salzig häufiger als Siebenjährige ($p = 0,033$) und bitter häufiger als Fünfjährige ($p = 0,018$). Während es bei sauer und Wasser keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gab, wurde der süße Reiz von Siebenjährigen und Erwachsenen signifikant häufiger erkannt als von Sechsjährigen ($p = 0,008$ und $p = 0,002$) und Fünfjährigen ($p = 0,01$ und $p = 0,002$).

Der Vergleich von Richtiganworten auf die verschiedenen Geschmacksreize in den einzelnen Altersgruppen wird auch durch das folgende Diagramm verdeutlicht.

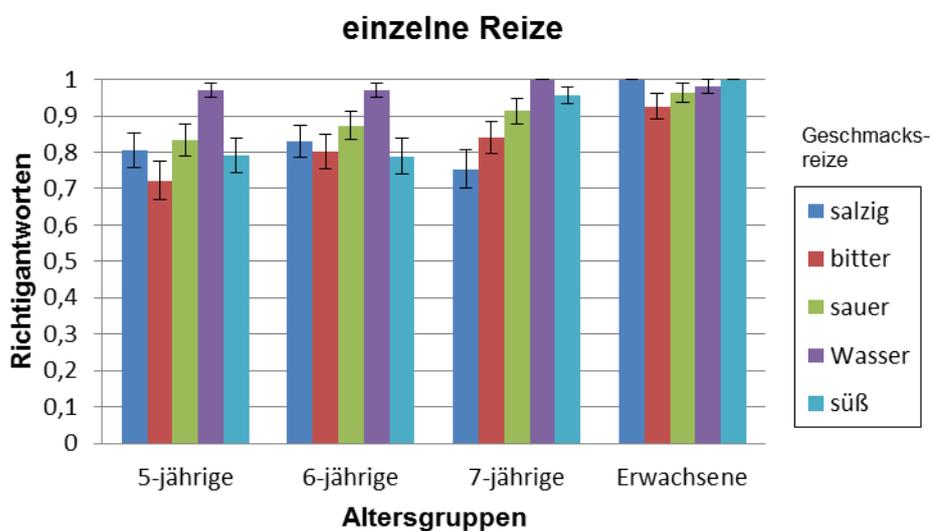
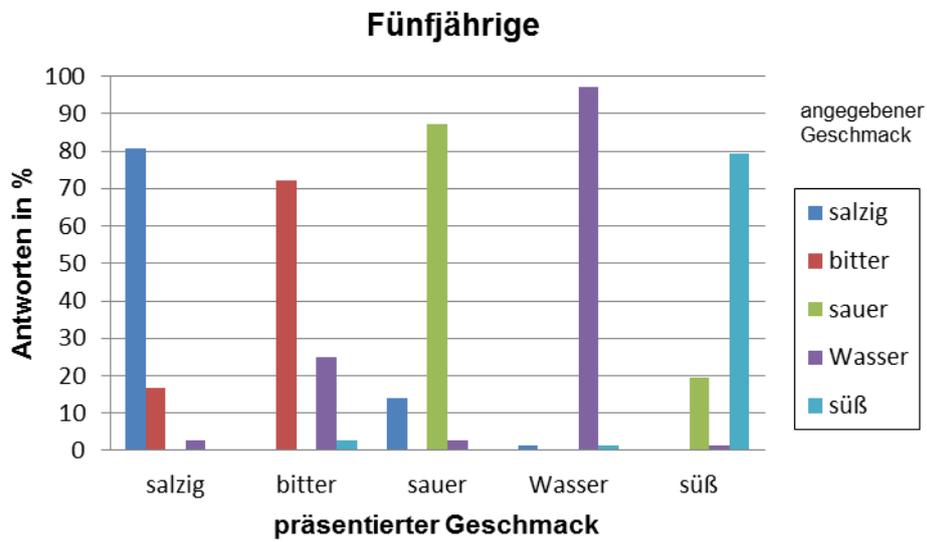


Abbildung 10 Mittelwerte der Richtiganworten der verschiedenen Altersgruppen auf die einzelnen Geschmacksreize (0= falsch, 1= richtig), Fehlerbalken entsprechen Standardfehler

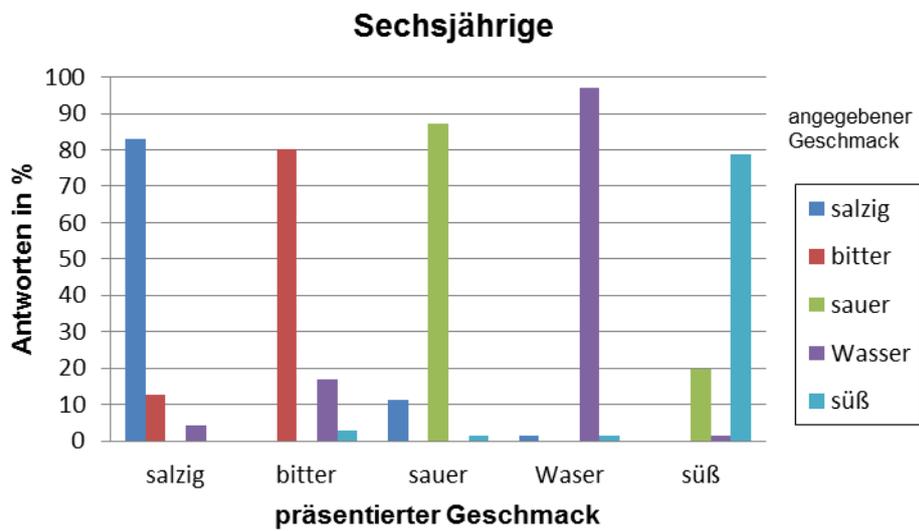
Es fällt also auf, dass die Fünf- und Sechsjährigen besonders bei der Identifizierung von Süß im Vergleich zu den Siebenjährigen und Erwachsenen Schwierigkeiten hatten. 19,4 % der Fünfjährigen und 19,7 % der Sechsjährigen hielten den süßen Geschmack für sauer, dies war die häufigste Falschantwort.

Die vier folgenden Diagramme zeigen das Antwortverhalten der einzelnen Altersgruppen auf die einzelnen Reize.

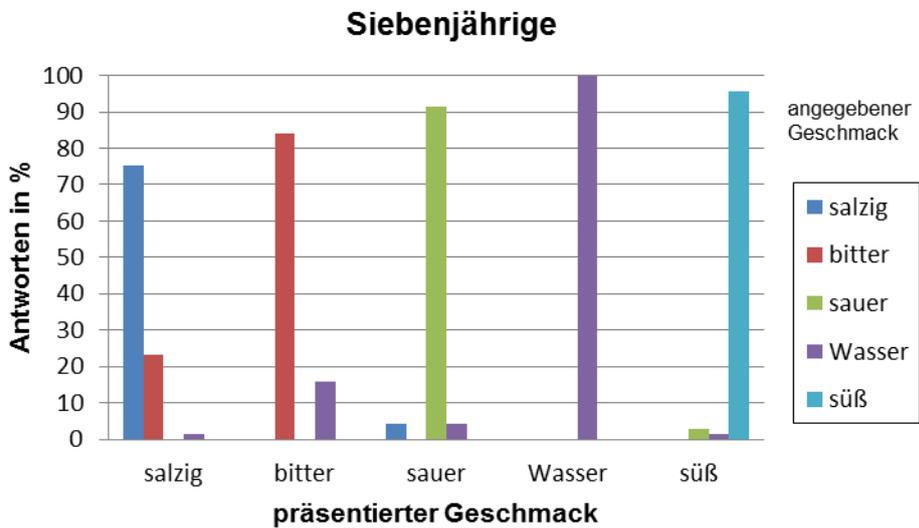
a)



b)



c)



d)

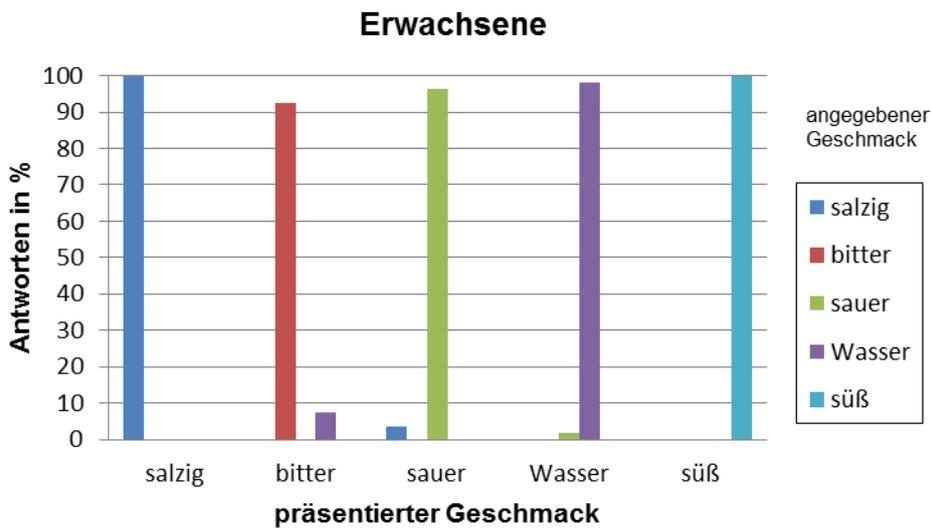


Abbildung 11 a) bis d) Antworten der verschiedenen Altersgruppen auf die fünf Geschmacksreize, Angaben in Prozent

6.3.2. Ergebnisse Experiment 2

In Experiment 1 fielen die Ergebnisse der Erwachsenen signifikant besser aus, als die der Kinder. Auch für Experiment 2 stellte sich die Frage nach altersabhängigen Unterschieden in der Identifikation von Geschmack.

Erwachsene und Kinder und die Kindergruppen untereinander schnitten bezogen auf alle vier Regionen und alle fünf Geschmacksreize gleichgut ab, es gab also im Gegensatz zu Experiment 1 keinen Alterseffekt: $F(3;256)= 0,81$, $p > 0,05$. Auch zwischen männlichen und weiblichen Probanden fanden sich keine signifikanten Unterschiede: $F(1;256)= 0,01$, $p > 0,05$. Siehe hierzu Abbildungen 12 und 13.

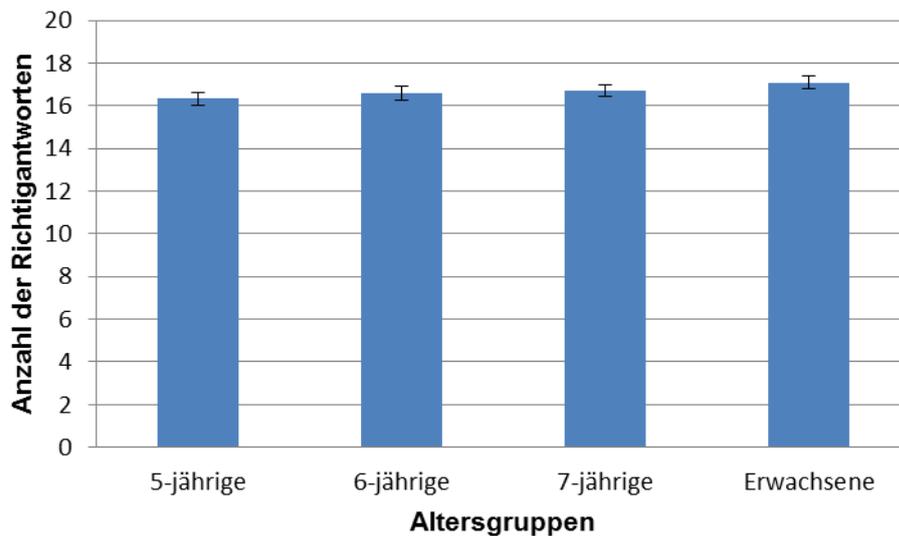


Abbildung 12 Richtigantworten auf alle fünf Geschmacksreize in allen vier Regionen bezogen auf die verschiedenen Altersgruppen (0= keine richtig, 20= alle richtig), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

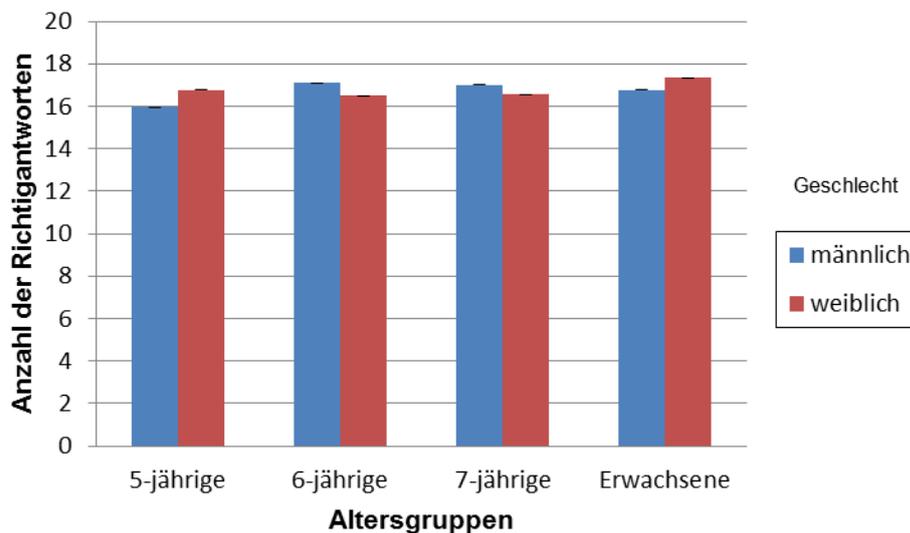


Abbildung 13 Richtigantworten auf alle fünf Geschmacksreize in allen vier Regionen bezogen auf die verschiedenen Altersgruppen (0= keine richtig, 20= alle richtig), getrennt dargestellt für weibliche und männliche Probanden, Fehlerbalken entspricht Standardfehler

Post-Hoc Vergleiche für die einzelnen Regionen zeigten einen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit von Richtigantworten zwischen Region 2 und Region 3 ($p < 0,01$) und zwischen Region 2 und Region 4 ($p < 0,01$), wobei richtige Antworten in Region 2 (86,5%)

häufiger gegeben wurden als in Region 3 (81,5%) und in Region 4 (81,7%). Diese Unterschiede sind auf die Ergebnisse der Erwachsenen zurückzuführen, da in den Kindergruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen auszumachen waren.

Bei der Untersuchung der Ergebnisse der einzelnen Altersgruppen in den einzelnen Regionen, ergaben sich bei 24 Vergleichen nur ein signifikanter und ein annähernd signifikanter Unterschied: In Region 2 waren Erwachsene deutlich sensibler als Sechsjährige und tendenziell sensibler als Fünfjährige.

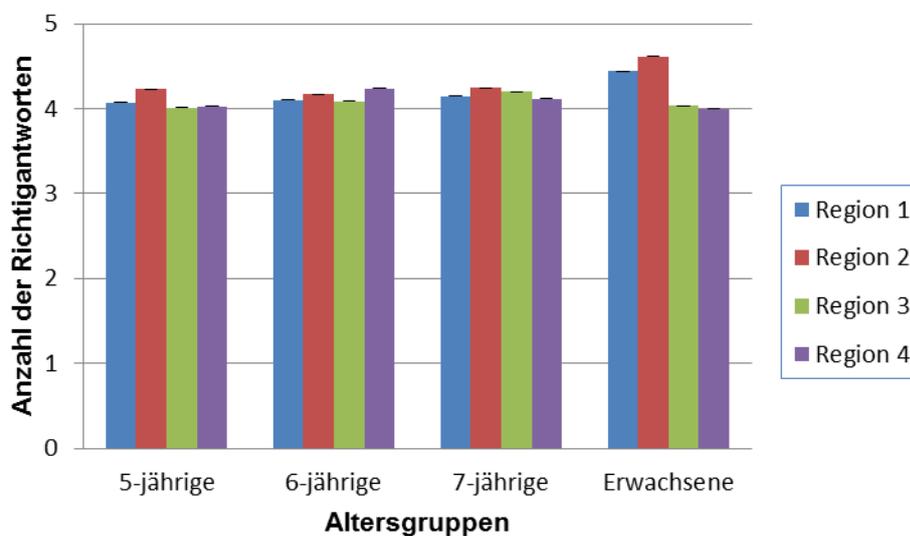


Abbildung 14 Richtigantworten der verschiedenen Altersgruppen in den einzelnen Regionen für alle Geschmacksreize (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

Fasst man nun die Regionen 1 und 2 zur vorderen Region zusammen und die Regionen 3 und 4 zur hinteren Region und betrachtet wiederum die Ergebnisse der verschiedenen Altersgruppen, so erkennt man bei insgesamt 12 Vergleichen drei signifikante Unterschiede: Erwachsene waren in der vorderen Region sensibler als Fünfjährige ($p= 0,010$), Sechsjährige ($p= 0,006$) und Siebenjährige ($p= 0,036$).

In der hinteren Region trat ein gegenteiliger Effekt ein. Hier identifizierten die Sechs- und Siebenjährigen den Geschmack häufiger als die Erwachsenen.

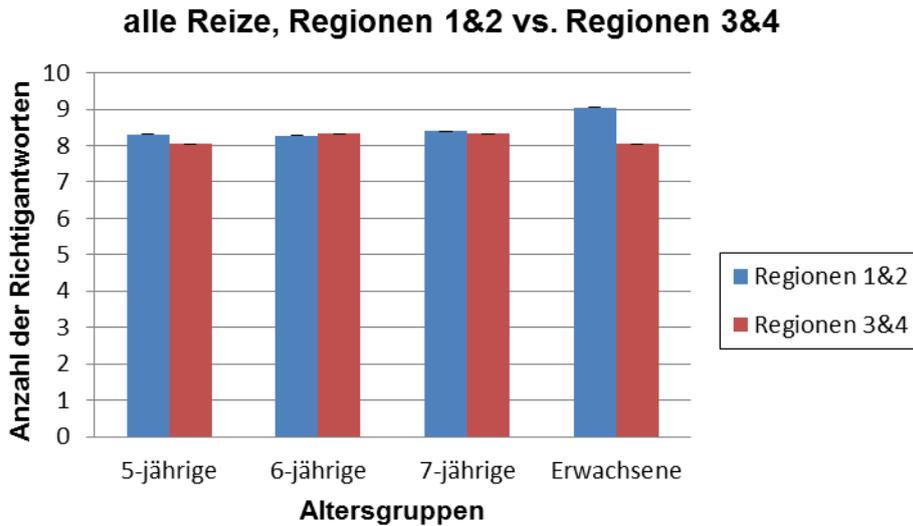


Abbildung 15 Richtigantworten in Regionen 1&2 und in Regionen 3&4 auf alle Geschmacksreize (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 10= alle Geschmacksreize richtig erkannt), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

Bemerkenswert bei der genauen Betrachtung der Ergebnisse bezogen auf die einzelnen Geschmacksqualitäten und einzelnen Regionen ist, dass nur 63% der Erwachsenen in Region 3 und nur 64,8% der Erwachsenen in Region 4 den bitteren Stimulus identifizieren konnten. Dies sind die schlechtesten Resultate des gesamten Tests. Häufigste Falschantwort war Wasser. Die folgenden Tabellen und Balkendiagramme sollen diese Ergebnisse verdeutlichen. Tabelle 5 zeigt die Antworten in Region 3 auf den bitteren Stimulus, Tabelle 6 die Antworten in Region 4 auf den bitteren Stimulus. Das Balkendiagramm zeigt die Verteilung der Richtigantworten auf den bitteren Reiz in Region 3 und in Region 4 (Abbildung 16).

	salzig	bitter	sauer	Wasser	süß
Fünffjährige	1,4	65,7	0	22,9	10,0
Sechsjährige	0	80,3	0	14,1	5,6
Siebenjährige	0	82,6	0	7,2	8,7
Erwachsene	1,9	63,0	0	27,8	5,6

Tabelle 5 Antworten auf bitteren Geschmack in Region 3 (Angaben in Prozent)

	salzig	bitter	sauer	Wasser	süß
Fünffährige	2,9	78,6	0,0	12,9	5,7
Sechsjährige	1,4	85,9	0,0	9,9	2,8
Siebenjährige	1,4	75,4	0,0	21,7	1,4
Erwachsene	0,0	64,8	0,0	29,6	5,6

Tabelle 6 Antworten auf bitteren Geschmack in Region 4 (Angaben in Prozent)

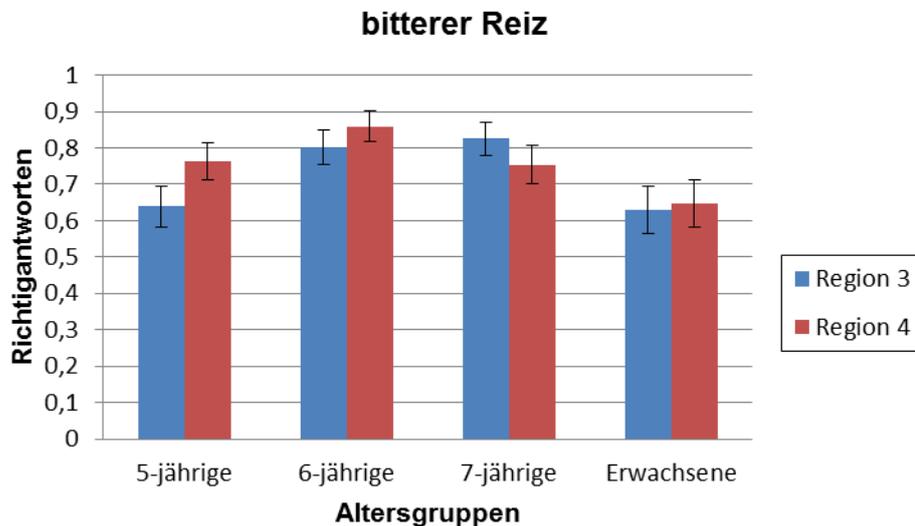


Abbildung 16 Mittelwerte der Richtigantworten auf bitteren Reiz in Region 3 und in Region 4 (0= falsch, 1= richtig), Fehlerbalken entspricht Standardfehler

6.3.3 Welche Ergebnisse sind bei der klinischen Anwendung zu erwarten?

Die Tests wurden bei gesunden Probanden mit anzunehmender normaler Schmeckfunktion durchgeführt. Es ist allerdings davon auszugehen, dass einige Probanden ein vermindertes Schmeckempfinden haben, ohne dies zu wissen. Um eine Aussage darüber treffen zu können, wie viele Geschmacksreize in welcher Altersgruppe richtig erkannt werden müssen um den Test zu „bestehen“ und ab wann der Test als „pathologisch“ einzustufen ist, müssen bestimmte Grenzen festgesetzt werden.

Es wird postuliert, dass Ergebnisse, die von über 90% der Probanden erzielt wurden als „normal“ einzustufen sind und Ergebnisse, die von weniger als 10% der Probanden erreicht wurden als „pathologisch“ zu bewerten sind. Daraus ergeben sich folgende Ergebnisse: Sechsjährige, Siebenjährige und Erwachsene sollten in Experiment 1 mindestens vier der fünf Reize erkennen, Fünfjährige mindestens drei. Bei Experiment 2 sollten von allen Altersgruppen mindestens drei Reize pro Region richtig erkannt werden. Die folgenden Schaubilder und Tabellen sollen diese Ergebnisse verdeutlichen.

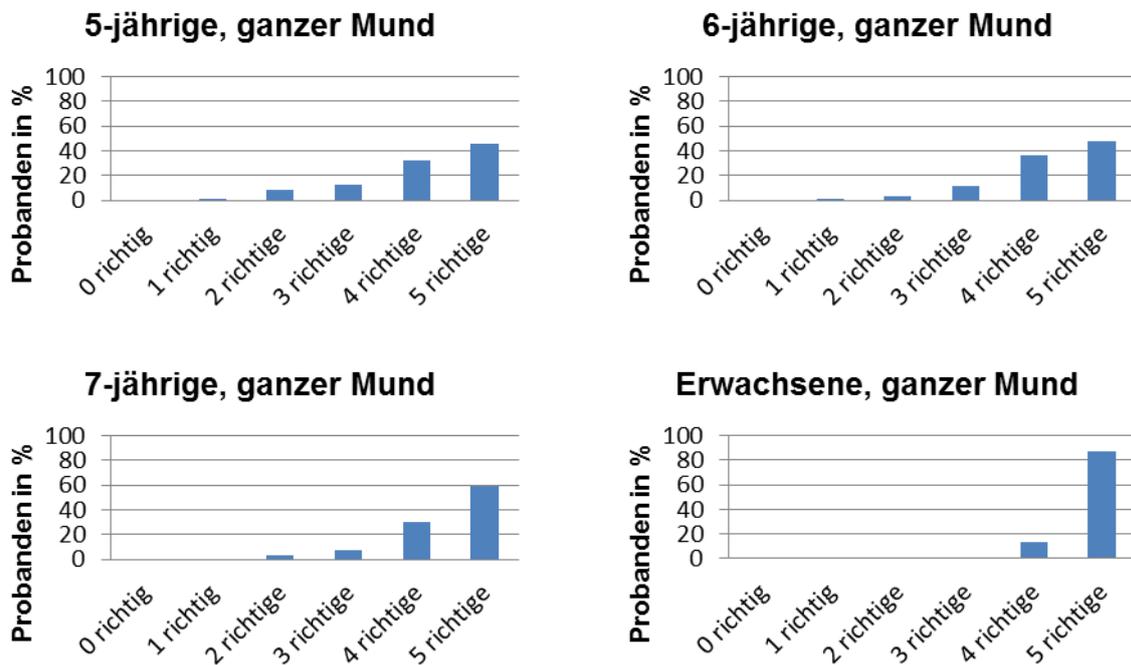


Abbildung 17 Verteilung der Richtigantworten im ganzen Mund bei den einzelnen Altersgruppen

a) Region 1

	Fünfstärkige	Sechsstärkige	Siebenstärkige	Erwachsene
0 richtig	0	0	0	0
1 richtig	0	0	0	1,8
2 richtige	7,1	4,2	8,7	0
3 richtige	15,7	18,3	8,7	9,3
4 richtige	40	40,8	42,02	29,6
5 richtige	37,1	36,6	40,6	59,3

b) Region 2

	Fünfstärkige	Sechsstärkige	Siebenstärkige	Erwachsene
0 richtig	0	0	0	0
1 richtig	0	2,8	0	0
2 richtige	2,8	1,4	4,3	0
3 richtige	17,1	9,8	11,6	7,4
4 richtige	34,3	47,8	39,1	24,1
5 richtige	45,7	38,0	44,9	68,5

c) Region 3

	Fünfstärkige	Sechsstärkige	Siebenstärkige	Erwachsene
0 richtig	0	0	0	0
1 richtig	1,4	1,4	0	0
2 richtige	11,4	1,4	1,4	9,6
3 richtige	14,3	25,4	18,8	14,8
4 richtige	30	30,9	37,7	38,8
5 richtige	42,9	40,8	42,0	37,0

d) Region 4

	Fünfstärkige	Sechsstärkige	Siebenstärkige	Erwachsene
0 richtig	0	0	0	0
1 richtig	2,8	1,4	0	0
2 richtige	1,4	5,6	4,3	5,5
3 richtige	17,1	15,5	18,8	24,1
4 richtige	47,1	22,5	37,7	35,2
5 richtige	31,4	54,9	39,1	35,2

Tabelle 7 a) bis d) Verteilung der Richtigantworten in den einzelnen Regionen bei den einzelnen Altersgruppen (Angaben in Prozent)

Zusammenfassung der Ergebnisse von Experiment 1

- 1) In Experiment 1 schnitten Erwachsene bezogen auf alle Geschmacksreize signifikant besser ab als Kinder zwischen fünf und sieben Jahren. Die Kinder untereinander unterschieden sich nicht signifikant voneinander.
- 2) Zwischen männlichen und weiblichen Probanden gab es in keiner der Altersgruppen signifikante Unterschiede, lediglich bei den Fünfjährigen erkannten Mädchen tendenziell mehr Geschmacksreize als Jungen.
- 3) Geht man davon aus, dass die von über 90% der Probanden erreichten Ergebnisse als „normal“ und die von unter 10% der Probanden erreichten Ergebnisse als „pathologisch“ einzustufen sind, sollten Erwachsene, Siebenjährige und Sechsjährige mindestens vier der fünf Reize erkennen und Fünfjährige mindestens drei.
- 4) Vergleicht man die Häufigkeit mit denen die einzelnen Reize richtig erkannt wurden, fällt auf, dass Wasser mit 98,1% Richtigantworten die übrigen Reize deutlich übertraf. Sauer wurde von 89,1%, süß von 87,6%, salzig von 83,8% und bitter nur von 81,6% der Probanden richtig erkannt.
- 5) Die häufigste Verwechslung trat beim bitteren Reiz auf, der von 16,9% der Probanden als Wasser gewertet wurde. Diese Verwechslung betraf vor allen die Fünfjährigen. Immerhin 11,3% der Probanden missdeuteten den süßen Reiz als sauer. Dieses Ergebnis war den Fünf- und den Sechsjährigen geschuldet.
- 6) Salzig wurde von den Siebenjährigen signifikant schlechter erkannt als von den Erwachsenen und dabei am häufigsten als bitter gewertet (23,2%).
- 7) Der saure Reiz und Wasser wurden von allen Probanden etwa gleich gut erkannt.

Zusammenfassung der Ergebnisse von Experiment 2

- 1) Bezogen auf alle Regionen und alle Reize gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen.
- 2) Bezogen auf alle Regionen, alle Reize und die verschiedenen Altersgruppen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden.

- 3) Während die Kinder in allen Regionen etwa gleichbleibende Ergebnisse erzielten, hatten die Erwachsenen deutlich schlechtere Ergebnisse in Region 3 und 4 verglichen mit Region 1 und 2.
- 4) Der bittere Reiz wurde in Region 3 nur von 63% der Erwachsenen, in Region 4 nur von 64,8% der Erwachsenen richtig identifiziert. Häufigste Falschantwort war Wasser.
- 5) Geht man davon aus, dass die von über 90% der Probanden erreichten Ergebnisse als „normal“ und die von unter 10% der Probanden erreichten Ergebnisse als „pathologisch“ einzustufen sind, sollten Erwachsene, Siebenjährige, Sechsjährige und Fünfjährige mindestens drei der fünf Reize in jeder Region erkennen.

6.4 Diskussion

In der folgenden Diskussion werden zunächst die allgemeinen Testbedingungen bewertet. Danach werden in jedem Abschnitt die einzelnen Ergebnisse diskutiert. Insgesamt war es schwierig Vergleichsliteratur zu dem Test zu finden, da sich nur wenige Studien mit dem Schmecken bei Kindern beschäftigen und diese überwiegend Tests zur Einschätzung der Intensität oder Hedonik darstellen, nicht aber darauf beruhen, dass Kinder den Geschmack erkennen und benennen müssen.

Die Kinder wurden an ihren Schulen getestet, also in einer für sie gewohnten Umgebung. Dabei wurden von den Schulen große, helle Räume mit angenehmer Temperatur und guter Ventilation zur Verfügung gestellt. Die Räume waren überwiegend mit Arbeiten aus dem Kunstunterricht dekoriert. Die Testungen fanden in den Vormittagsstunden statt, während die anderen Schüler in ihren Klassenräumen den Schulunterricht besuchten, so dass eine ruhige Atmosphäre herrschte. Viele Studien zeigen, dass Atmosphäre, Vertrautheit, kindgerechte Dekoration von Testräumen und der Zeitpunkt der Testung bei Kindern eine wesentliche Rolle spielen (Popper und Kroll, 2003). Da jeder Proband vor Beginn des eigentlichen Experimentes eine Testlösung erhielt, die nicht in die Ergebnisse einfließt, kann davon ausgegangen werden, dass die Aufgabenstellung von allen Probanden verstanden wurde. Der Test ist leicht und billig herzustellen und bedarf keiner speziellen Instrumente. Er kann schnell und unkompliziert angewendet werden und dauert insgesamt ca. 20 Minuten. Durch die Bildvorlagen, die bei der Auswahl der Antworten helfen, müssen die Probanden für den Test nicht schreiben oder lesen können.

Versuchsaufbau und Konzentrationen der Geschmackslösungen orientierten sich an dem Connecticut Chemosensory Clinical Research Center Spatial Taste Test (Bartoshuk et al.,

1987). Vergleicht man die Geschmackslösungen von Experiment 1 und Experiment 2 mit denen anderer Schmecktests, fällt auf, dass die Konzentrationen in Sprays und Taste Strips höher sind (siehe Tabelle 8). Allerdings ist davon auszugehen, dass bei der „sip and spit“ Methode (Experiment 1) und beim Aufbringen der Flüssigkeiten auf die Zunge mittels Wattestäbchen (Experiment 2) deutlich mehr Volumen im Mund des Probanden landet als bei einem einzelnen Sprühstoß aus einer Sprayflasche oder bei der Verwendung eines Taste Strips. Die Anzahl an Molekülen, die die Rezeptoren erreichen, ist in den verschiedenen Tests also durchaus vergleichbar.

	Saccharose	NaCl	Zitronensäure	Chininhydrochlorid
Experiment 1	12,3	1,05	0,18	0,0039
Experiment 2	34,23	5,84	0,67	0,039
Sprays	10	7,5	5	0,05
Taste Strip 1	66	33,3	42,8	0,6
Taste Strip 2	25	11,1	19,7	0,2
Taste Strip 3	11,1	4,1	9,9	0,09
Taste Strip 4	5,2	1,8	5,2	0,03

Tabelle 8 Konzentrationen der Geschmackslösungen verschiedener Schmecktests (Angaben in g/ 100 ml).

6.4.1 Experiment 1

Einige Studien gehen davon aus, dass Kinder zwischen fünf und sieben Jahren ähnliche Schwellen für Geschmacksreize aufweisen wie Erwachsene (Anliker et al., 1991 aus Guinard, 2001), andere beschreiben eine geringere Sensitivität bei Kindern (Glanville et al., 1964, Yasaki et al., 1976 aus Guinard, 2001).

In Experiment 1 schnitten Erwachsene bezogen auf alle Geschmacksreize signifikant besser ab als Kinder zwischen fünf und sieben Jahren. Die Kinder untereinander unterschieden sich nicht signifikant voneinander.

Diese Ergebnisse zeigen, dass Schulkinder im Alter von fünf, sechs und sieben Jahren gleich gut Geschmacksqualitäten erkennen und benennen können. Die schlechteren Ergebnisse im Vergleich zu den Erwachsenen könnten zum einen auf einer schlechteren gustatorischen oder aber einer schlechteren sprachlichen Leistung der Kinder beruhen. Dafür spricht insbesondere die Aufschlüsselung der Ergebnisse nach den einzelnen Qualitäten.

Vergleicht man die Häufigkeit mit denen die einzelnen Reize richtig erkannt wurden, fällt auf, dass Wasser mit 98,1% Richtigantworten die übrigen Reize deutlich übertraf. Sauer wurde von 89,1%, süß von 87,6%, salzig von 83,8% und bitter nur von 81,6% der Probanden richtig erkannt.

Die häufigste Verwechslung trat beim bitteren Reiz auf, der von 16,9% der Probanden als Wasser gewertet wurde. Diese Verwechslung betraf vor allen die Fünfjährigen. Immerhin 11,3% der Probanden missdeuteten den süßen Reiz als sauer. Dieses Ergebnis war den Fünf- und den Sechsjährigen geschuldet.

Bitter wurde also am schlechtesten erkannt. Da bitter im täglichen Leben eine Warnfunktion übernimmt und weil bitter schon von Neugeborenen als unangenehm empfunden wird und, wie auch süßer Geschmack, im Vergleich zu salzig und sauer eher stabile Reaktionen hervorruft, ist anzunehmen, dass die Kinder bitter zwar wahrnehmen aber nicht benennen konnten. Mit bitterem Geschmack kommen Kindern im modernen Alltag wenig in Kontakt, z.B. trinken sie keinen bitteren Kaffee oder kein bitteres Bier. Dies könnte erklären, warum ihnen die Vokabel bitter und ihre Bedeutung fremd ist. Hierzu muss noch gesagt werden, dass die Bildvorlage für den bitteren Geschmack durch eine kaffeetrinkende Dame, die angewidert die Zunge rausstreckt, symbolisiert wurde. Mit Kaffee können Kinder nicht unbedingt etwas assoziieren. Dass Kinder in diesem Alter deutlich weniger Vokabeln zum Beschreiben einer Speise nutzen, die sich auf deren Aroma oder Geschmack bezieht als vielmehr auf deren Textur (Rose et al., 2004) könnte auch dafür sprechen, dass es sich eher um ein sprachliches als ein gustatorisches Problem handelt.

Wasser schneidet als Reiz mit Abstand am besten ab. Dies liegt vermutlich an zwei Dingen. Zum einen stand Wasser im Gegensatz zu den anderen Reizen bei allen Bilderkombinationen zur Auswahl, zum anderen ist Wasser jedem Menschen, ungeachtet seiner Ess- und Trinkgewohnheiten bekannt. Dass Wasser immer zur Auswahl stand könnte auch erklären, warum Wasser die häufigste Falschantwort beim bitteren Reiz war. Eine andere Möglichkeit wäre, dass Wasser immer dann angegeben wurde, wenn sich die

Probanden unsicher waren. Im Hinblick auf diese Ergebnisse wäre es vermutlich deutlich besser den Test ohne Wasser durchzuführen.

Sauer wurde häufiger erkannt als süß und der süße Reiz wurde häufig als sauer missdeutet. Dies ist ein unerwartetes und schwer zu erklärendes Ergebnis. Kinder bevorzugen süße Speisen und Getränke und sind in Industrienationen täglich mit süßem Geschmack konfrontiert. Es war anzunehmen, dass süß am häufigsten erkannt wird. In einzelnen Studien konnten Kinder zwar sauer besser einschätzen als Erwachsene und bevorzugten im Vergleich zu Erwachsenen höhere Konzentrationen von sauer, doch trafen diese Ergebnisse nur für etwa ein Drittel der getesteten Kinder zu (Liem et al., 2004b, Liem und de Graaf, 2004). Süß dagegen wird sonst von Kindern, Erwachsenen und sogar älteren Probanden gleichermaßen sehr gut erkannt. Auch im Hinblick auf die eindeutigen Bildvorlagen, bei denen der süße Geschmack durch einen strahlenden Jungen, der Eiscreme isst und der saure Geschmack durch jemanden der in eine Zitrone beißt und das Gesicht verzieht verdeutlicht wurden, ist dieses Ergebnis nicht zu erklären.

Allerdings sind die Ergebnisse insgesamt so verteilt, dass der Test durchaus geeignet erscheint für Kinder diesen Alters, insbesondere im Hinblick darauf, dass in der Literatur Ergebnisse zu finden sind, bei denen sogar ältere Kinder den Erwachsenen viel deutlicher unterlegen sind:

Eine Studie aus Österreich kommt zu dem Ergebnis, dass nur 27,3% der zehn- bis dreizehnjährigen Schulkinder in der Lage sind alle der vier getesteten Geschmacksqualitäten (süß, bitter, salzig und sauer) zu erkennen und richtig zu benennen. 5,2% der Kinder erkannten drei von vier, 35,8% erkannten zwei von vier, 23,6% erkannten eine von vier und 8,1% erkannten keine der Geschmacksqualitäten. Im Vergleich hierzu lieferten Erwachsene bessere Ergebnisse. Über 70% der Erwachsenen erkannten alle Geschmacksqualitäten (Dürschmidt et al., 2008) aus (Traar, 2009).

Zwischen männlichen und weiblichen Probanden gab es in keiner der Altersgruppen signifikante Unterschiede, lediglich bei den Fünfjährigen erkannten Mädchen tendenziell mehr Geschmacksreize als Jungen.

Einige Studien konnten zwar zeigen, dass weibliche Probanden Geschmack besser wahrnehmen als männliche Probanden, doch es gibt auch Studien, bei denen kein Unterschied zwischen den Geschlechtern bestand. Insofern sind diese Ergebnisse nicht ungewöhnlich. Die Tendenz, dass die fünfjährigen Mädchen etwas besser als ihre männlichen Altersgenossen abschnitten, ist am ehesten mit den besseren Sprachfertigkeiten der Mädchen in diesem Alter zu erklären (Monnery-Patris et al., 2009).

Geht man davon aus, dass die von über 90% der Probanden erreichten Ergebnisse als „normal“ und die von unter 10% der Probanden erreichten Ergebnisse als „pathologisch“ einzustufen sind, sollten Erwachsene, Siebenjährige und Sechsjährige mindestens vier der fünf Reize erkennen und Fünfjährige mindestens drei.

Auch hier stellt sich die Frage, ob es nicht günstiger wäre den Test mit insgesamt vier statt fünf Reizen durchzuführen, also Wasser wegzulassen. Schließlich ist klinisch betrachtet ein richtiges Ergebnis bei Wasser nicht so hoch zu werten wie ein richtiges Ergebnis bei den vier Grundgeschmacksqualitäten.

6.4.2 Experiment 2

Bezogen auf alle Regionen und alle Reize gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen.

Warum gab es in Experiment 1 signifikante Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen, nicht aber in Experiment 2? Nach genauerer Aufschlüsselung der Ergebnisse scheint es nicht so zu sein, dass die Kinder im Vergleich zu Experiment 1 besser wurden, was man mit einer anfänglichen Aufregt- und Unsicherheit erklären hätte können, sondern dass die Erwachsenen mehr Probleme bei der regionalen Testung hatten.

Während die Kinder in allen Regionen etwa gleichbleibende Ergebnisse erzielten, hatten die Erwachsenen deutlich schlechtere Ergebnisse in Region 3 und 4 verglichen mit Region 1 und 2.

An der Zungenspitze befinden sich deutlich mehr Papillen und Geschmacksknospen als an den hinteren Rändern der Zunge, was erklären könnte, warum die Erwachsenen in den beiden vorderen Regionen Geschmack besser erkannten als in den beiden hinteren Regionen. Warum bestand dieser Unterschied nicht auch bei den Kindern? Es wäre denkbar, dass Kinder in diesem Alter tatsächlich mehr Geschmacksknospen haben als Erwachsene und damit bei regionalen Testungen einen Vorteil haben, der im ganzen Mund nicht zum Tragen kommt. Bei Kindern im Alter zwischen 8 und 9 Jahren befinden sich gleich viele Geschmacksknospen in jeder fungiformen Papille wie beim Erwachsenen, allerdings bei höherer Papillendichte (Segovia et al., 2002 aus Nicklaus et al., 2005). Das heißt Kinder haben insgesamt mehr Geschmacksknospen als Erwachsene, was aber keine Rückschlüsse auf die Funktion zulässt. Die Innervation der Papillen und Knospen scheint bei Kindern noch nicht so gut ausgebildet zu sein wie beim Erwachsenen (Plattig, 1984 aus Guinard, 2001).

Eine andere, weniger elegante aber durchaus wahrscheinliche Erklärung für die Unterschiede zwischen Kindern und Erwachsenen in den hinteren Zungenregionen wäre, dass die Kinder nicht gleichermaßen konsequent wie die Erwachsenen die Zunge herausstreckten und so nicht ausschließlich die gewünschten Areale stimuliert wurden.

Der bittere Reiz wurde in Region 3 nur von 63% der Erwachsenen, in Region 4 nur von 64,8% der Erwachsenen richtig identifiziert. Häufigste Falschantwort war Wasser.

Auch dieses Ergebnis ist erstaunlich, weist es doch darauf hin, dass es sich, insbesondere nach den guten Ergebnissen der Erwachsenen in Experiment 1, um ein rein gustatorisches Problem handelt. Die häufigste Falschantwort ist zwar auch hier damit zu erklären, dass Wasser immer zur Auswahl stand, allerdings könnte dieses Ergebnis auch einfach dafür sprechen, dass bitter überhaupt nicht wahrgenommen wurde und das, obschon für die hinteren Bereiche der Zunge eine sogar leicht erhöhte Bitterdetektion angenommen wird.

Geht man davon aus, dass die von über 90% der Probanden erreichten Ergebnisse als „normal“ und die von unter 10% der Probanden erreichten Ergebnisse als „pathologisch“ einzustufen sind, sollten Erwachsene, Siebenjährige, Sechsjährige und Fünfjährige mindestens drei der fünf Reize in jeder Region erkennen.

Wie schon oben erläutert sollte der Test erneut durchgeführt werden, aber nur mit den vier Qualitäten süß, sauer, salzig und bitter. Wasser sollte nicht als Antwortmöglichkeit verwendet werden. Die Idee dahinter war den Probanden die Möglichkeit zu geben Wasser zu nennen, falls sie gar nichts wahrnehmen können. Dies führt aber offensichtlich dazu, dass Wasser auch dann angegeben wird, wenn der Proband etwas wahrnimmt, sich aber nicht sicher ist, um was es sich handelt. Würde man die Anzahl der Stimuli von fünf auf vier reduzieren, wäre es zu überlegen, ob man die Anzahl der Auswahlmöglichkeiten von drei auf vier erhöht, also immer alle möglichen Geschmacksqualitäten zur Auswahl stellt. Es ist zwar derzeit fraglich, ob die Kinder in dieser Altersgruppe mit einem solchen Test überfordert wären, doch dies gilt es herauszufinden. Dabei könnte auch überprüft werden, ob tatsächlich bitter und sauer so häufig verwechselt werden, wie dies im Vorfeld beschrieben wurde. In unserem Test ist es schwierig nachzuvollziehen, welche Verwechslungen tatsächlich häufig sind und welche Verwechslungen den jeweiligen Auswahlmöglichkeiten geschuldet sind.

Ein weiterer Kritikpunkt an der Studie ist, dass in den Kindergruppen die Verteilung zwischen weiblichen und männlichen Probanden nahezu ausgeglichen war, während in der Erwachsenenengruppe deutlich mehr Frauen als Männer teilnahmen. So ist nicht sicher auszuschließen, dass die unterschiedlichen Ergebnisse zwischen Erwachsenen und Kindern nicht nur einen Alters-, sondern auch einen Geschlechtseffekt widerspiegeln.

7 Zusammenfassung/ Summary

Hintergrund

Die vorgelegte Arbeit stellt die Entwicklung eines Schmecktests für Kinder im Alter zwischen fünf und sieben Jahren vor. Zunächst wird auf Anatomie, Physiologie und Entwicklung des Geschmackssinns eingegangen, wobei auch das Zusammenspiel zwischen Geruch und Geschmack und trigeminaler Sensibilität und Geschmack beschrieben wird. Um ein besseres Verständnis für die Sensorik bei Kindern zu entwickeln und um Möglichkeiten und Grenzen der Testung von Kindern aufzuzeigen, werden neben dem Schmecken auch das Riechen, Sehen und Hören beleuchtet. Etablierte Schmecktests werden benannt und deren Ergebnisse miteinander verglichen, Ursachen und Auswirkungen von Schmeckstörungen zeigen, weshalb es von klinischem Interesse sein kann, den Geschmackssinn zu testen. Über den Geschmackssinn bei Kindern im Alter zwischen fünf und sieben Jahren und ihre Fähigkeit Geschmacksqualitäten zu erkennen und zu benennen ist bisher wenig bekannt. Bei Neugeborenen kann die Mimik als Parameter für die Geschmackswahrnehmung herangezogen werden, ältere Kinder und Erwachsene haben auf Grund ihrer sprachlichen Entwicklung einen leichteren Zugang zu psychophysischen Tests. Anspruch an den Test ist nicht nur der mögliche Einsatz bei Kindern, sondern auch die einfache Anwendung in der klinischen Routine. Der Entwicklung des vorgestellten Schmecktests liegen zwei Untersuchungen zu Grunde. In der ersten Untersuchung wird die Wahrnehmung der vier Grundgeschmacksqualitäten sauer, süß, salzig und bitter sowie die Wahrnehmung von Wasser im ganzen Mund getestet, in der zweiten Untersuchung werden vier Regionen der Zunge (vorne links, vorne rechts, hinten links, hinten rechts) bezogen auf die versorgenden Nerven (linke und rechte Chorda tympani, linker und rechter N. glossopharyngeus) einzeln stimuliert, um so mögliche partielle Ausfälle (beispielsweise der Chorda tympani nach Mittelohroperationen) zu erkennen.

Fragestellung/ Hypothesen

Können Kinder im Alter von fünf, sechs und sieben Jahren, vier der Grundgeschmacksqualitäten, nämlich süß, sauer, salzig und bitter richtig erkennen und

benennen? Unterscheiden sich ihre Ergebnisse signifikant voneinander und im Vergleich zu Erwachsenen? Gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Probanden? Welche Geschmacksqualitäten werden besser, welche schlechter erkannt und welche Falschantworten sind häufig? Bis wann ist das Testergebnis als „normal“, ab wann ist das Testergebnis als „pathologisch“ einzustufen? Gibt es Unterschiede zwischen der Testung im ganzen Mund und der Testung in den einzelnen Regionen? Unterschieden sich die Ergebnisse in den einzelnen Regionen signifikant voneinander?

Material und Methoden

Als Geschmackslösungen werden bei beiden Untersuchungen Saccharose für süß Natriumchlorid für salzig, Zitronensäure für sauer, und Chininhydrochlorid für bitter verwendet, wobei die Lösungen bei der regionalen Testung (1 M Saccharose, 1 M Natriumchlorid, 0,032 M Zitronensäure und 0,001 M Chininhydrochlorid) in höherer Konzentration als bei der Testung im ganzen Mund (0,36 M Saccharose, 0,18 M Natriumchlorid, 0,009 M Zitronensäure und 0,0001 M Chininhydrochlorid) vorliegen. Die Antwortmöglichkeiten werden durch Bildvorlagen mit je drei betitelten Bildern eingegrenzt, jedem Probanden werden die Antwortmöglichkeiten außerdem verbal mitgeteilt. Beim Test im ganzen Mund nippen die Probanden die Geschmackslösung und schlucken sie herunter oder spucken sie in einen Becher, bei der regionalen Testung werden die Geschmackslösungen mit Wattestäbchen aufgetragen. Bei der Testung im ganzen Mund dürfen die Probanden ihre Antwort verbal mitteilen, bei der regionalen Testung müssen die Probanden ihre Zunge herausstrecken und die Antwort mit dem Finger auf der Bildvorlage anzeigen.

Ergebnisse

Experiment 1

- 1) In Experiment 1 schneiden Erwachsene bezogen auf alle Geschmacksreize signifikant besser ab als Kinder zwischen fünf und sieben Jahren. Die Kinder in den verschiedenen Altersgruppen unterschieden sich nicht signifikant voneinander.
- 2) Zwischen männlichen und weiblichen Probanden gibt es in keiner der Altersgruppen signifikante Unterschiede.
- 3) Vergleicht man die Häufigkeit mit denen die einzelnen Reize richtig erkannt werden, fällt auf, dass Wasser mit 98,1% Richtigantworten die übrigen Reize deutlich

übertrifft. Sauer wird von 89,1%, süß von 87,6%, salzig von 83,8% und bitter nur von 81,6% der Probanden richtig erkannt.

- 4) Die häufigste Verwechslung tritt beim bitteren Reiz auf, der von 16,9% der Probanden als Wasser gewertet wird. Diese Verwechslung betrifft vor allem die Fünfjährigen. Immerhin 11,3% der Probanden missdeuten den süßen Reiz als sauer.

Experiment 2

- 1) Bezogen auf alle Regionen und alle Reize gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen.
- 2) Bezogen auf alle Regionen, alle Reize und die verschiedenen Altersgruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Probanden.
- 3) Während die Kinder in allen Regionen etwa gleichbleibende Ergebnisse erzielen, haben die Erwachsenen deutlich schlechtere Ergebnisse in Region 3 und 4 verglichen mit Region 1 und 2.
- 4) Der bittere Reiz wird in Region 3 nur von 63% der Erwachsenen, in Region 4 nur von 64,8% der Erwachsenen richtig identifiziert. Häufigste Falschantwort ist Wasser.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, dass der Test für Kinder im Alter zwischen fünf und sieben Jahren geeignet ist. Bei fünfjährigen Kindern ist zu erwarten, dass sie im ganzen Mund drei von fünf Stimuli richtig erkennen, von sechs- und siebenjährigen Kindern und Erwachsenen sollten vier von fünf Stimuli erkannt werden. Bei der regionalen Testung sind von allen Altersgruppen drei von fünf Stimuli pro Region richtig zu benennen. Wasser sollte als Stimulus und Antwortmöglichkeit aus der Testung herausgenommen werden, da Probanden Wasser nicht nur als Antwort auswählen, wenn sie Wasser oder gar nichts wahrnehmen, sondern auch wenn sie sich mit der Antwort nicht sicher sind. Wird der Test nur mit süß, sauer, salzig und bitter durchgeführt, wäre zu überlegen, ob man die Anzahl der möglichen Antworten von drei auf vier erhöht.

Background

This work shows the development of a taste test for children, aged five to seven years. Anatomy, physiology and the development of the taste system is explained and compared to olfaction and the trigeminal system. The interaction between the three systems is essential for understanding what we define commonly as taste. Specialties of the senses in children and the possibilities and limits of testing them are also a part of this work. Some of the established taste tests and their results are itemized, and the causes and consequences of taste disorders show why taste tests are important for clinical routines.

Only some data is available regarding the sense of taste in children and their knowledge of taste vocabulary. In newborns, facial reactions can be monitored to test responses to taste, whereas psychophysical tests are frequently used for older children and adults.

The test was required to be suitable for children between five and seven years as well as for clinical routines.

Two experiments were performed.

Experiment One is a whole-mouth taste test that uses the “sip and spit” method. The four common tastes (sour, sweet, salty and bitter), and water, were tested. The same stimuli were used for Experiment Two, where four different regions of the tongue (tip left, tip right, back left, back right) as related to the four nerves (left and right Chorda tympani and left and right glossopharyngeal nerve) were tested separately using the “Q-tip” method.

Questions/ Hypothesis

Are children between the ages of five and seven able to recognize and name the basic tastes of sweet, sour, bitter and salty?

Is there a significant difference between adults and children and between children themselves?

Are there significant differences between male and female participants?

Which tastes can be easily recognized; which tastes are confused with other tastes?

Which results are expected in the administration of normal clinical routines? Are there differences between the results of the whole-mouth test and the regional test, and between the different regions?

Methods

In the whole mouth and regional tests, respectively, salty, bitter, sour and sweet tastes were represented by analytical grade sodium chloride (0.18 M, 1 M), quinine hydrochloride (0,0001 M, 0.001 M), citric acid (0.009 M, 0.0032 M) and sucrose (0.36 M, 1 M). Purified drinking water was both the dilutant and the water stimulus.

Both experiments were forced-choice tests, where subjects had to identify the tastes from a set of three photographs, two of which represented tastes and one showed water in a glass. Each photograph also had the name of the taste it represented and each name was read out by the experimenter.

Results

Whole-mouth test

- 1) In the whole-mouth test, adults out-performed children of all age groups. Differences between the children were not statistically significant.
- 2) No gender effect could be found.
- 3) Water was the most recognized stimulus with 98.1%. Sour was recognized by 89.1% of the participants, sweet by 87.6%, salty by 83.8% and bitter by 81.6%.
- 4) When bitter was the given stimulus, it was most often mistaken as water (16.9%); 11.3% of the subjects thought sweet to be sour.

Regional test

- 1) In all regions with all stimuli, no significant differences were found between the age groups.
- 2) In all regions with all stimuli and in all age groups, no gender effect occurred.
- 3) While children had more or less the same results in all regions, adults had more problems recognizing taste at the back of the tongue in comparison to the tip of the tongue.
- 4) The bitter taste was only recognized by 63% of the adults in region 3 and by 64.8% of the adults in region 4. Bitter was mostly mistaken as water.

Conclusion

Results show that the test is suitable for children between the ages of five and seven. Children who are five years old should recognize three out of five stimuli, six- and seven-year-old children and adults should recognize four out of five stimuli in the whole-mouth test.

In the regional test, all age groups should be able to name three out of five stimuli in every region.

The experiments should be repeated without water as a stimulus. Water seems to be given as an answer not only when participants taste water or don't taste anything but also when they are not sure what to answer. It would also be interesting to see if a four- instead of a three-alternative choice test would be suitable for this age group.

8 Literaturverzeichnis

- AHNE, G., ERRAS, A., HUMMEL, T. & KOBAL, G. 2000. Assessment of gustatory function by means of tasting tablets. *Laryngoscope*, 110, 1396-401.
- ANLIKER, J. A., BARTOSHUK, L., FERRIS, A. M. & HOOKS, L. D. 1991. Children's food preferences and genetic sensitivity to the bitter taste of 6-n-propylthiouracil (PROP). *Am J Clin Nutr*, 54, 316-20.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT, O. U. G. 2007. *Schmeckstörungen* [Online]. Available: <http://www.awmf.org/leitlinien/leitlinien-suche.html#result-list> [Accessed].
- AREY, L. B., TREMAINE, M. J. & MONZINGO, F. L. 1935. The numerical and topographical relations of taste buds to human circumvallate papillae throughout the life span. *Anatomical Record*, 64, 9-25.
- ARVIDSON, K. 1979. Location and variation in number of taste buds in human fungiform papillae. *Scand J Dent Res*, 87, 435-42.
- BARTOSHUK, L., DESNOYERS, S., HUDSON, C., MARKS, L., O'BRIAN, M., CATALANOTTO, F. A., GENT, J., WILLIAMS, D. & OSTRUM, K. 1987. Tasting on localized areas. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 510, 166-168.
- BARTOSHUK, L. M. 1989. Taste. Robust across the age span? *Ann N Y Acad Sci*, 561, 65-75.
- BARTOSHUK, L. M. & BEAUCHAMP, G. K. 1994. Chemical senses. *Annu Rev Psychol*, 45, 419-49.
- BARTOSHUK, L. M., DESNOYERS, S., O'BRIAN, M. & CATALANOTTO, F. A. 1985. Taste stimulation of localized areas: The Q-tip *Chemical Senses*, 10, 453.
- BARTOSHUK, L. M., RIFKIN, B., MARKS, L. E. & BARS, P. 1986. Taste and aging. *J Gerontol*, 41, 51-7.
- BEAUCHAMP, G. K., COWART, B. J., MENNELLA, J. A. & MARSH, R. R. 1994. Infant salt taste: developmental, methodological, and contextual factors. *Dev Psychobiol*, 27, 353-65.
- BEAUCHAMP, G. K., COWART, B. J. & MORAN, M. 1986. Developmental changes in salt acceptability in human infants. *Dev Psychobiol*, 19, 17-25.
- BEHRENS, M., REICHLING, C., BATRAM, C., BROCKHOFF, A. & MEYERHOF, W. 2009. Bitter taste receptors and their cells. *Ann N Y Acad Sci*, 1170, 111-5.
- BENSAFI, M., RINCK, F., SCHAAL, B. & ROUBY, C. 2007. Verbal cues modulate hedonic perception of odors in 5-year-old children as well as in adults. *Chem Senses*, 32, 855-62.

- BORNSTEIN, W. S. 1940. Cortical Representation of Taste in Man and Monkey: II. The Localization of the Cortical Taste Area in Man and a Method of Measuring Impairment of Taste in Man. *Yale J Biol Med*, 13, 133-56.
- BOYLE, J. A., HEINKE, M., GERBER, J., FRASNELLI, J. & HUMMEL, T. 2007. Cerebral activation to intranasal chemosensory trigeminal stimulation. *Chem Senses*, 32, 343-53.
- BRADBURY, J. 2004. Taste Perception: Cracking the Code. *PLoS Biol* 2(3):e64.doi:10.1371/journal.pbio.0020064 [Online].
- BRAVERMAN, R. 2007. Diagnosis and treatment of refractive errors in the pediatric population. *Current Opinion in Ophthalmology*, 18, 379-383.
- BRESLIN, P. A. & HUANG, L. 2006. Human taste: peripheral anatomy, taste transduction, and coding. *Adv Otorhinolaryngol*, 63, 152-90.
- BUSCHHUTER, D., SMITKA, M., PUSCHMANN, S., GERBER, J. C., WITT, M., ABOLMAALI, N. D. & HUMMEL, T. 2008. Correlation between olfactory bulb volume and olfactory function. *Neuroimage*, 42, 498-502.
- CAIN, W. S. 1974. Contribution of the trigeminal nerve to perceived odor magnitude. *Ann N Y Acad Sci*, 237, 28-34.
- CAIN, W. S. & MURPHY, C. L. 1980. Interaction between chemoreceptive modalities of odour and irritation. *Nature*, 284, 255-7.
- CASCINO, G. D. & KARNES, W. E. 1990. Gustatory and second sensory seizures associated with lesions in the insular cortex seen on magnetic resonance imaging. *Journal of Epilepsy*, 3, 185-187.
- 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, 703-11.
- CHANDRASHEKAR, J., YARMOLINSKY, D., VON BUCHHOLTZ, L., OKA, Y., SLY, W., RYBA, N. J. & ZUKER, C. S. 2009. The taste of carbonation. *Science*, 326, 443-5.
- CHAUDHARI, N. & ROPER, S. D. 2010. The cell biology of taste. *J Cell Biol*, 190, 285-96.
- CHOPRA, A., BAUR, A. & HUMMEL, T. 2008. Thresholds and chemosensory event-related potentials to malodors before, during, and after puberty: differences related to sex and age. *Neuroimage*, 40, 1257-63.
- COLLET, S., ELOY, P., ROMBAUX, P. & BERTRAND, B. 2005. Taste disorders after tonsillectomy: case report and literature review. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 114, 233-6.
- COLLINGS, V. B. 1974. Human taste response as a function of locus of stimulation on the tongue and soft palate. *Perception and Psychophysics*, 16, 169-174.
- DALTON, P., DOOLITTLE, N., NAGATA, H. & BRESLIN, P. A. 2000. The merging of the senses: integration of subthreshold taste and smell. *Nat Neurosci*, 3, 431-2.

- 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., JR. 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, 519-28.
- DELAY, R. J., KINNAMON, J. C. & ROPER, S. D. 1986. Ultrastructure of mouse vallate taste buds: II. Cell types and cell lineage. *J Comp Neurol*, 253, 242-52.
- DELWICHE, J., HALPERN, B. P. & LEE, M. Y. 1996. A comparison of tip of the tongue and sip and spit screening procedures. *Food Quality and Preference*, 7, 293-297.
- DESHPANDE, D. A., WANG, W. C., MCILMOYLE, E. L., ROBINETT, K. S., SCHILLINGER, R. M., AN, S. S., SHAM, J. S. & LIGGETT, S. B. 2010. Bitter taste receptors on airway smooth muscle bronchodilate by localized calcium signaling and reverse obstruction. *Nat Med*, 16, 1299-304.
- DESOR, J. A. & BEAUCHAMP, G. K. 1987. Longitudinal changes in sweet preferences in humans. *Physiol Behav*, 39, 639-41.
- DJORDJEVIC, J., ZATORRE, R. J. & JONES-GOTMAN, M. 2004. Odor-induced changes in taste perception. *Exp Brain Res*, 159, 405-8.
- DONATI, F., PFAMMATTER, J. P., MAUDERLI, M. & VASSELLA, F. 1991. Neurological complications following tonsillectomy. *Schweiz Med Wochenschr*, 121, 1612-7.
- DOTY, R. L., SHAMAN, P., APPLEBAUM, S. L., GIBERSON, R., SIKSORSKI, L. & ROSENBERG, L. 1984. Smell identification ability: changes with age. *Science*, 226, 1441-3.
- DÜRRSCHMIDT, K., STADLBAUER, U., HANZ, K., LAHM, B., UNTERBERGER, E. & BISKOVSKY, S. 2008. Smell and Taste Skills of Austrian Pupils aged 10-12 Years. *First European Food Congress 2008*.
- DYE, C. J. & KOZIATEK, D. A. 1981. Age and diabetes effects on threshold and hedonic perception of sucrose solutions. *J Gerontol*, 36, 310-5.
- EPPLE, G. & HERZ, R. S. 1999. Ambient odors associated to failure influence cognitive performance in children. *Dev Psychobiol*, 35, 103-7.
- EßER, B. 2004. *Ears - ein Hörprüfverfahren für Kinder*. Inaugural-Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität.
- FERNALD, A. 1985. Four-month-old infants prefer to listen to mothers. *Infant Behavior and Development*, 8, 118-195.
- FIKENTSCHER, R., ROSEBURG, B., SPINAR, H. & BRUCHMÜLLER, W. 1977. Loss of taste in elderly: sex differences. *Clinical Otolaryngology*, 183-189.
- FINGER, T. E., BOTTGER, B., HANSEN, A., ANDERSON, K. T., ALIMOHAMMADI, H. & SILVER, W. L. 2003. Solitary chemoreceptor cells in the nasal cavity serve as sentinels of respiration. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100, 8981-6.

- FRANK, R. A., DULAY, M. F., NIERGARTH, K. A. & GESTELAND, R. C. 2004. A comparison of the sniff magnitude test and the University of Pennsylvania Smell Identification Test in children and nonnative English speakers. *Physiol Behav*, 81, 475-80.
- GANCHROW, J., JE., S. & MUNIF, D. 1983. Neonatal facial expressions in response to different qualities and intensities of gustatory stimuli. *Inf Behav Dev*, 6, 473-484.
- GANCHROW, J. & MENNELLA, J. 2003. The ontogeny of human flavor perception. In: DOTY, R. (ed.) *Handbook of olfaction and gustation*. New York: M. Dekker.
- GILBERTSON, T. A., BOUGHTER, J. D., JR., ZHANG, H. & SMITH, D. V. 2001. Distribution of gustatory sensitivities in rat taste cells: whole-cell responses to apical chemical stimulation. *J Neurosci*, 21, 4931-41.
- GLANVILLE, E. V., KAPLAN, A. R. & FISCHER, R. 1964. Age, Sex and Taste Sensitivity. *J Gerontol*, 19, 474-8.
- GOINS, M. R. & PITOVSKI, D. Z. 2004. Posttonsillectomy taste distortion: a significant complication. *Laryngoscope*, 114, 1206-13.
- GOLLICK, M. Year. Asking kids questions: possible pitfalls. In: Annual Meeting Institute of Food Technologists, June 15-19 2002 2002 Anaheim, California.
- GOPALAN, P., KUMAR, M., GUPTA, D. & PHILLIPPS, J. J. 2005. A study of chorda tympani nerve injury and related symptoms following middle-ear surgery. *J Laryngol Otol*, 119, 189-92.
- GOTTFRIED, J. A. 2006. Smell: central nervous processing. *Adv Otorhinolaryngol*, 63, 44-69.
- GREEN, B. G., NACHTIGAL, D., HAMMOND, S. & LIM, J. 2011. Enhancement of Retronasal Odors by Taste. *Chem Senses*.
- GREEN, B. G. & SCHULLERY, M. T. 2003. Stimulation of bitterness by capsaicin and menthol: differences between lingual areas innervated by the glossopharyngeal and chorda tympani nerves. *Chem Senses*, 28, 45-55.
- GRUSHKA, M., CHING, V. & EPSTEIN, J. 2006. Burning mouth syndrome. *Adv Otorhinolaryngol*, 63, 278-87.
- GUDZIOL, H. & HUMMEL, T. 2007. Normative values for the assessment of gustatory function using liquid tastants. *Acta Otolaryngol*, 127, 658-61.
- GUINARD, J.-X. 2001. Sensory and consumer testing with children. *Trends in Food Science & Technology* 11 (2001), 273-283.
- HAENIG, D. P. 1901. Zur Psychophysik des Geschmackssinnes. *Philosophische Studien*.
- HAHNER, A. & WELGE-LUSSEN, A. 2010. Olfactory dysfunction in neurodegenerative disorders. *HNO*, 58, 644-9.

- HAMADA, N., ENDO, S. & TOMITA, H. 2002. Characteristics of 2278 patients visiting the Nihon University Hospital Taste Clinic over a 10-year period with special reference to age and sex distributions. *Acta Otolaryngol Suppl*, 7-15.
- HEBHARDT, P., BAGLA, R. & DOTY, R. L. 1999. An automated regional taste-testing system. *Behav Res Methods Instrum Comput*, 31, 464-9.
- HEDGE, A. M. & SHARMA, A. 2008. Genetic sensitivity to 6-n-propylthiouracil (PROP) as a screening tool for obesity and dental caries in children. *J Clin Pediatr Dent*, 33, 107-11.
- HEMINGWAY, M. Year. Effective techniques for consumer research in a challenging market. *In: Annual Meeting Institute of Food Technologists, June 15-19 2002 2002 Anaheim, California.*
- HERMEL, J., SCHONWETTER, S. & SAMUELOFF, S. 1970. Taste sensation and age in man. *J Oral Med*, 25, 39-42.
- HOFER, D., PUSCHEL, B. & DRENCKHAHN, D. 1996. Taste receptor-like cells in the rat gut identified by expression of alpha-gustducin. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 93, 6631-4.
- HOOVER, K. C. 2010. Smell with inspiration: the evolutionary significance of olfaction. *Am J Phys Anthropol*, 143 Suppl 51, 63-74.
- HUMMEL, C., FRASNELLI, J., GERBER, J. & HUMMEL, T. 2007a. Cerebral processing of gustatory stimuli in patients with taste loss. *Behav Brain Res*, 185, 59-64.
- HUMMEL, C., ZUCCO, G. M., IANNILLI, E., MABOSHE, W., LANDIS, B. N. & HUMMEL, T. 2011a. OLAF: standardization of international olfactory tests. *Eur Arch Otorhinolaryngol*.
- HUMMEL, T. 2008. Retronasal perception of odors. *Chem Biodivers*, 5, 853-61.
- HUMMEL, T., BARZ, S., LOTSCH, J., ROSCHER, S., KETTENMANN, B. & KOBAL, G. 1996. Loss of olfactory function leads to a decrease of trigeminal sensitivity. *Chem Senses*, 21, 75-9.
- HUMMEL, T., BENSAFI, M., NIKOLAUS, J., KNECHT, M., LAING, D. G. & SCHAAL, B. 2007b. Olfactory function in children assessed with psychophysical and electrophysiological techniques. *Behavioural Brain Research*, 180, 133-138.
- HUMMEL, T., ERRAS, A. & KOBAL, G. 1997. A test for the screening of taste function. *Rhinology*, 35, 146-8.
- HUMMEL, T., GENOW, A. & LANDIS, B. N. 2010. Clinical assessment of human gustatory function using event related potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 81, 459-64.
- HUMMEL, T., LANDIS, B. N. & HUTTENBRINK, K. B. 2011b. Dysfunction of the chemical senses smell and taste. *Laryngorhinootologie*, 90 Suppl 1, S44-55.

- HUMMEL, T., LIVERMORE, A., HUMMEL, C. & KOBAL, G. 1992. Chemosensory event-related potentials in man: relation to olfactory and painful sensations elicited by nicotine. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 84, 192-5.
- HUMMEL, T., ROUDNITZKY, N., KEMPTER, W. & LAING, D. G. 2007c. Intranasal trigeminal function in children. *Dev Med Child Neurol*, 49, 849-53.
- HUMMEL, T., SMITKA, M., PUSCHMANN, S., GERBER, J. C., SCHAAL, B. & BUSCHHUTER, D. 2011c. Correlation between olfactory bulb volume and olfactory function in children and adolescents. *Exp Brain Res*, 214, 285-91.
- HYDE, R. J. & FELLER, R. P. 1981. Age and sex effects on taste of sucrose, NaCl, citric acid and caffeine. *Neurobiol Aging*, 2, 315-8.
- IANNILLI, E., DEL GRATTA, C., GERBER, J. C., ROMANI, G. L. & HUMMEL, T. 2008. Trigeminal activation using chemical, electrical, and mechanical stimuli. *Pain*, 139, 376-88.
- IWASAKI, K., KASAHARA, T. & SATO, M. 1985. Gustatory effectiveness of amino acids in mice: behavioral and neurophysiological studies. *Physiol Behav*, 34, 531-42.
- JAMES, C. E., LAING, D. G., JINKS, A. L., ORAM, N. & HUTCHINSON, I. 2003. Taste response functions of adults and children using different rating scales. *Food Quality and Preference*, 15, 77-82.
- JAMES, C. E., LAING, D. G. & ORAM, N. 1997. A comparison of the ability of 8-9-year-old children and adults to detect taste stimuli. *Physiol Behav*, 62, 193-7.
- JUNQUEIRA, L. C. & CARNEIRO, J. 1996. *Histologie*, Springer Verlag.
- JUNQUEIRA, L. C. & CARNEIRO, J. 2004. *Histologie*, Springer-Verlag.
- JUST, T., HOMOTH, J., GRAUMULLER, S. & PAU, H. W. 2003. Taste disorders and recovery of the taste function after middle ear surgery. *Laryngorhinootologie*, 82, 494-500.
- JUST, T., PAU, H. W., WITT, M. & HUMMEL, T. 2006. Contact endoscopic comparison of morphology of human fungiform papillae of healthy subjects and patients with transected chorda tympani nerve. *Laryngoscope*, 116, 1216-22.
- KIMMEL, S. A., SIGMAN-GRANT, M. & GUINARD, J.-X. 1994. Sensory testing with young children. *Food Technology Feature*, 48(3), 92-99.
- KINNAMON, J. C., HENZLER, D. M. & ROYER, S. M. 1993. HVEM ultrastructural analysis of mouse fungiform taste buds, cell types, and associated synapses. *Microsc Res Tech*, 26, 142-56.
- KINOMURA, S., KAWASHIMA, R., YAMADA, K., ONO, S., ITOH, M., YOSHIOKA, S., YAMAGUCHI, T., MATSUI, H., MIYAZAWA, H., ITOH, H. & ET AL. 1994. Functional anatomy of taste perception in the human brain studied with positron emission tomography. *Brain Res*, 659, 263-6.

- KOBAL, G. 1985. Gustatory evoked potentials in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 62, 449-54.
- KOBAL, G., VAN TOLLER, S. & HUMMEL, T. 1989. Is there directional smelling? *Experientia*, 45, 130-2.
- KOBAYAKAWA, T., OGAWA, H., KANEDA, H., AYABE-KANAMURA, S., ENDO, H. & SAITO, S. 1999. Spatio-temporal analysis of cortical activity evoked by gustatory stimulation in humans. *Chem Senses*, 24, 201-9.
- KVETON, J. F. & BARTOSHUK, L. M. 1994. The effect of unilateral chorda tympani damage on taste. *Laryngoscope*, 104, 25-9.
- LABBE, D., RYTZ, A., MORGENEGG, C., ALI, S. & MARTIN, N. 2007. Subthreshold olfactory stimulation can enhance sweetness. *Chem Senses*, 32, 205-14.
- LANDIS, B. N. & JUST, T. 2010. Taste disorders. An update. *Hno*, 58, 650-5.
- LANDIS, B. N., SCHEIBE, M., WEBER, C., BERGER, R., BRAMERSON, A., BENDE, M., NORDIN, S. & HUMMEL, T. 2010. Chemosensory interaction: acquired olfactory impairment is associated with decreased taste function. *J Neurol*, 257, 1303-8.
- LANDIS, B. N., WELGE-LUESSEN, A., BRAMERSON, 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, 242-8.
- LEHMAN, C. D., BARTOSHUK, L. M., CATALANOTTO, F. C., KVETON, J. F. & LOWLICHT, R. A. 1995. Effect of anesthesia of the chorda tympani nerve on taste perception in humans. *Physiol Behav*, 57, 943-51.
- LIEM, D. G. & DE GRAAF, C. 2004. Sweet and sour preferences in young children and adults: role of repeated exposure. *Physiol Behav*, 83, 421-9.
- LIEM, D. G., MARS, M. & DE GRAAF, C. 2004a. Consistency of sensory testing with 4- and 5- year-old children *Food Quality and Preference*, 15, 541-548.
- LIEM, D. G. & MENNELLA, J. A. 2003. Heightened sour preferences during childhood. *Chem Senses*, 28, 173-80.
- LIEM, D. G., WESTERBEEK, A., WOLTERINK, S., KOK, F. J. & DE GRAAF, C. 2004b. Sour taste preferences of children relate to preference for novel and intense stimuli. *Chem Senses*, 29, 713-20.
- LIM, J. & JOHNSON, M. B. 2011. Potential mechanisms of retronasal odor referral to the mouth. *Chem Senses*, 36, 283-9.
- LINDEMANN, B. 2001. Receptors and transduction in taste. *Nature*, 413, 219-25.
- LYALL, V., ALAM, R. I., PHAN, D. Q., ERESO, G. L., PHAN, T. H., MALIK, S. A., MONTROSE, M. H., CHU, S., HECK, G. L., FELDMAN, G. M. & DESIMONE, J. A. 2001. Decrease in rat taste receptor cell intracellular pH is the proximate stimulus in sour taste transduction. *Am J Physiol Cell Physiol*, 281, C1005-13.

- MAHENDRAN, S., HOGG, R. & ROBINSON, J. M. 2005. To divide or manipulate the chorda tympani in stapedotomy. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 262, 482-7.
- MARCINKOWSKI, M. & LEWANDOWSKI, L. 2006. Perception of gustatory sensation after treatment of the third branch trigeminal nerve and lingual nerve by peripheral alcohol injection. *Ann Acad Med Stetin*, 52 Suppl 3, 65-8.
- MATSUDA, T. & DOTY, R. L. 1995. Regional taste sensitivity to NaCl: relationship to subject age, tongue locus and area of stimulation. *Chem Senses*, 20, 283-90.
- MATTES, R. D. 1994. Influences on acceptance of bitter foods and beverages. *Physiol Behav*, 56, 1229-36.
- MAYATEPEK, E. 2007. *Pädiatrie*, Urban und Fischer.
- MCMAHON, D. B., SHIKATA, H. & BRESLIN, P. A. 2001. Are human taste thresholds similar on the right and left sides of the tongue? *Chem Senses*, 26, 875-83.
- MENNELLA, J. A., JAGNOW, C. P. & BEAUCHAMP, G. K. 2001. Prenatal and postnatal flavor learning by human infants. *Pediatrics*, 107, E88.
- MEUSEL, T. 2009. *Verteilung und Spezifität trigeminaler Chemorezeptoren der menschlichen Nase- Untersuchung an normosmischen Probanden*. TU Dresden.
- MIDDLETON, R. A. & ALLMAN-FARINELLI, M. A. 1999. Taste sensitivity is altered in patients with chronic renal failure receiving continuous ambulatory peritoneal dialysis. *J Nutr*, 129, 122-5.
- MILLER, I. J., JR. 1988. Human taste bud density across adult age groups. *J Gerontol*, 43, B26-30.
- MILLER, I. J., JR. & REEDY, F. E., JR. 1990. Variations in human taste bud density and taste intensity perception. *Physiol Behav*, 47, 1213-9.
- MOCHIZUKI, Y. 1939. Studies on papilla foliata of Japanese. 2. The number of taste buds. *Okajimas folia anatomica japonica* 18, 355-369.
- MOJET, J. 2004. *Taste perception with age*. PhD Thesis, Wageningen.
- MOJET, J., CHRIST-HAZELHOF, E. & HEIDEMA, J. 2001. Taste perception with age: generic or specific losses in threshold sensitivity to the five basic tastes? *Chem Senses*, 26, 845-60.
- MONNERY-PATRIS, S., ROUBY, C., NICKLAUS, S. & ISSANCHOU, S. 2009. Development of olfactory ability in children: sensitivity and identification. *Dev Psychobiol*, 51, 268-76.
- MONTAVON, P., HELLEKANT, G. & FARBMAN, A. 1996. Immunohistochemical, electrophysiological, and electron microscopical study of rat fungiform taste buds after regeneration of chorda tympani through the non-gustatory lingual nerve. *J Comp Neurol*, 367, 491-502.

- MOSES, S., ROTEM, Y., JAGODA, N., TALMOR, N., EICHORN, F. & LEVIN, S. 1967. A clinical, genetic and biochemical study of familial dysautonomia in Israel. *Israel Journal of Medical Sciences*, 3, 358-371.
- MOSKOWITZ, H. R. 1985. Product Testing with Children. *New Directions for Product Testing and Sensory Analysis of Foods*, 147-164.
- MOTTA, G. 1959. The cortical taste centers. *Bull Sci Med (Bologna)*, 131, 480-93.
- MUELLER, C., KALLERT, S., RENNER, B., STIASSNY, K., TEMMEL, A. F., HUMMEL, T. & KOBAL, G. 2003. Quantitative assessment of gustatory function in a clinical context using impregnated "taste strips". *Rhinology*, 41, 2-6.
- MUELLER, C. A., KHATIB, S., NAKA, A., TEMMEL, A. F. & HUMMEL, T. 2008. Clinical assessment of gustatory function before and after middle ear surgery: a prospective study with a two-year follow-up period. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 117, 769-73.
- MUELLER, K. L., HOON, M. A., ERLNBACH, I., CHANDRASHEKAR, J., ZUKER, C. S. & RYBA, N. J. 2005. The receptors and coding logic for bitter taste. *Nature*, 434, 225-9.
- MURPHY, C., QUINONEZ, C. & NORDIN, S. 1995. Reliability and validity of electrogustometry and its application to young and elderly persons. *Chem Senses*, 20, 499-503.
- N.N. 2011. *Wikipedia* [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Umami> [Accessed].
- NAKA, A., RIEDL, M., LUGER, A., HUMMEL, T. & MUELLER, C. A. 2010. Clinical significance of smell and taste disorders in patients with diabetes mellitus. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 267, 547-50.
- NELSON, G., HOON, M. A., CHANDRASHEKAR, J., ZHANG, Y., RYBA, N. J. & ZUKER, C. S. 2001. Mammalian sweet taste receptors. *Cell*, 106, 381-90.
- NICKLAUS, S., BOGGIO, V. & ISSANCHOU, S. 2005. Gustatory perceptions in children. *Arch Pediatr*, 12, 579-84.
- NORDIN, S., BRAMERSON, A., BRINGLOV, E., KOBAL, G., HUMMEL, T. & BENDE, M. 2007. Substance and tongue-region specific loss in basic taste-quality identification in elderly adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 264, 285-9.
- NORDIN, S., RAZANI, L. J., MARKISON, S. & MURPHY, C. 2003. Age-associated increases in intensity discrimination for taste. *Exp Aging Res*, 29, 371-81.
- O'MAHONY, M. & ISHII, R. 1986. A comparison of English and Japanese taste languages: taste descriptive methodology, codability and the umami taste. *Br J Psychol*, 77 (Pt 2), 161-74.
- OSADA, K., KOMAI, M., BRYANT, B. P., SUZUKI, H., TSUNODA, K. & FURUKAWA, Y. 2003. Age related decreases in neural sensitivity to NaCl in SHR-SP. *J Vet Med Sci*, 65, 313-7.

- PENFIELD, W. & FAULK, M. E., JR. 1955. The insula; further observations on its function. *Brain*, 78, 445-70.
- PFAFFMANN, C. 1952. Taste preferences and aversions following lingual denervation. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 45, 393-400.
- PILKOVA, L., NOVAKOVA, M. & POKORNY, J. 1991. Naming and identification of tastes in aqueous solutions. *Nahrung*, 35, 999-1002.
- PINGEL, J., OSTWALD, J., PAU, H. W., HUMMEL, T. & JUST, T. 2010. Normative data for a solution-based taste test. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 267, 1911-7.
- PLATTIG, K. H. 1984. The sense of Taste. In: PIGGOTT, J. R. (ed.) *Sensory Analysis of Food*. London: Elsevier Applied Science Publishers.
- POPPER, R. & KROLL, J. J. 2003. Conducting sensory research with children. *Food Technology Feature*, 57(5), 60-65.
- PROBST, R., GREVERS, G. & IRO, H. 2008. *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*, Thieme.
- RICHTER, C. P. & CAMPBELL, K. H. 1939. Sucrose Taste Thresholds Of Rats And Humans. *American Journal of Physiology*, 128, 291-297.
- RINCK, F., BARKAT-DEFRADAS, M., CHAKIRIAN, A., JOUSSAIN, P., BOURGEAT, F., THEVENET, M., ROUBY, C. & BENSAFI, M. 2011. Ontogeny of odor liking during childhood and its relation to language development. *Chem Senses*, 36, 83-91.
- ROBIN, O., ROUSMANS, S., DITTMAR, A. & VERNET-MAURY, E. 2003. Gender influence on emotional responses to primary tastes. *Physiol Behav*, 78, 385-93.
- ROLLS, E. T. 2005. Taste, olfactory, and food texture processing in the brain, and the control of food intake. *Physiol Behav*, 85, 45-56.
- ROSE, G., LAING, D. G., ORAM, N. & HUTCHINSON, I. 2004. Sensory Profiling by children aged 6-7 and 10-11 years, part 1 (a descriptor approach) and part 2 (a modality approach). *Food Quality and Preference*, 15(6), 585-606.
- ROUSMANS, S., ROBIN, O., DITTMAR, A. & VERNET-MAURY, E. 2000. Autonomic nervous system responses associated with primary tastes. *Chem Senses*, 25, 709-18.
- SAITO, T., MANABE, Y., SHIBAMORI, Y., YAMAGISHI, T., IGAWA, H., TOKURIKI, M., FUKUOKA, Y., NODA, I., OHTSUBO, T. & SAITO, H. 2001. Long-term follow-up results of electrogustometry and subjective taste disorder after middle ear surgery. *Laryngoscope*, 111, 2064-70.
- SAITO, T., SHIBAMORI, Y., MANABE, Y., YAMAGISHI, T., YAMAMOTO, T., OHTSUBO, T. & SAITO, H. 2000. Morphological and functional study of regenerated chorda tympani nerves in humans. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 109, 703-9.
- SAKAGAMI, M., SONE, M., TSUJI, K., FUKAZAWA, K. & MISHIRO, Y. 2003. Rate of recovery of taste function after preservation of chorda tympani nerve in middle ear

- surgery with special reference to type of disease. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 112, 52-6.
- SAKAI, N., KOBAYAKAWA, T., GOTOW, N., SAITO, S. & IMADA, S. 2001. Enhancement of sweetness ratings of aspartame by a vanilla odor presented either by orthonasal or retronasal routes. *Percept Mot Skills*, 92, 1002-8.
- SANCHEZ-LARA, K., SOSA-SANCHEZ, R., GREEN-RENNER, D., RODRIGUEZ, C., LAVIANO, A., MOTOLA-KUBA, D. & ARRIETA, O. 2010. Influence of taste disorders on dietary behaviors in cancer patients under chemotherapy. *Nutr J*, 9, 15.
- SAWADA, M. 2005. [A study of measurements of and factors influencing threshold levels of taste perception]. *Kokubyo Gakkai Zasshi*, 72, 28-41.
- SCHAAL, B. 1988. Olfaction in Infants and Children: Developmental and Functional Perspectives. *Chemical Senses*, 13, 145-190.
- SCHAAL, B., MARLIER, L. & SOUSSIGNAN, R. 2000. Human foetuses learn odours from their pregnant mother's diet. *Chem Senses*, 25, 729-37.
- SCHIEBLER, SCHMIDT & ZILLES 1999. *Anatomie*, Springer Verlag.
- SCHIEBLER, T. H. & KORF, H. W. 2005. *Anatomie*, Steinkopff-Verlag.
- SCHIFFMAN, S. S. 1997. Taste and smell losses in normal aging and disease. *Jama*, 278, 1357-62.
- SCHIFFMAN, S. S. 2000. Taste quality and neural coding: implications from psychophysics and neurophysiology. *Physiol Behav*, 69, 147-59.
- SCHIFFMANN, S. 1993. Perception of taste and smell in elderly persons. *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 33, 17-26.
- SCHIFFMANN, S. 1997. Taste and Smell in Normal Aging and Disease. *Journal of the American Medical Association*, 278(16), 1357-1362.
- SCHMIDT, H. J. & BEAUCHAMP, G. K. 1988. Adult-like odor preferences and aversions in three-year-old children. *Child Dev*, 59, 1136-43.
- SEGOVIA, C., HUTCHINSON, I., LAING, D. G. & JINKS, A. L. 2002. A quantitative study of fungiform papillae and taste pore density in adults and children. *Brain Res Dev Brain Res*, 138, 135-46.
- SINGH, P. B., IANNILLI, E. & HUMMEL, T. 2011. Segregation of gustatory cortex in response to salt and umami taste studied through event-related potentials. *Neuroreport*, 22, 299-303.
- SMALL, D. M. 2006. Central gustatory processing in humans. *Adv Otorhinolaryngol*, 63, 191-220.
- SMALL, D. M., ZALD, D. H., JONES-GOTMAN, M., ZATORRE, R. J., PARDO, J. V., FREY, S. & PETRIDES, M. 1999. Human cortical gustatory areas: a review of functional neuroimaging data. *Neuroreport*, 10, 7-14.

- SMITH, D. V. & BOUGHTER JR., J. D. 2007. Neurochemistry of the gustatory system. *In: LAJTHA, A. J., D. (ed.) Handbook of Neurochemistry and Molecular Neurobiology*. 3 ed.: Springer-Verlag.
- SMITH, D. V. & MARGOLSKEE, R. F. 2001. Making sense of taste. *Sci Am*, 284, 32-9.
- SOLLARS, S. I. 2005. Chorda tympani nerve transection at different developmental ages produces differential effects on taste bud volume and papillae morphology in the rat. *J Neurobiol*, 64, 310-20.
- SOLLARS, S. I. & BERNSTEIN, I. L. 2000. Neonatal chorda tympani transection permanently disrupts fungiform taste bud and papilla structure in the rat. *Physiol Behav*, 69, 439-44.
- SOTER, A., KIM, J., JACKMAN, A., TOURBIER, I., KAUL, A. & DOTY, R. L. 2008. Accuracy of self-report in detecting taste dysfunction. *Laryngoscope*, 118, 611-7.
- SPALTON, D. 2006. *Atlas der klinischen Ophthalmologie*, Urban und Fischer.
- STEINER, J. 1977. Facial expressions of the neonate infant indicating the hedonics of food related chemical stimuli. *In: WEIFFENBACH, J. (ed.) Taste and Development: The genesis of sweet preference*. Washington DC: US Government Printing Office.
- STEINER, J. 1987. What the neonate can tell us about umami. *In: KAWAMURA, Y., KARE, MR. (ed.) Umami- a basic taste*. New York: M. Dekker.
- STEINER, J. E. 1979. Human facial expressions in response to taste and smell stimulation. *Advances in Child Development and Behavior*, 13, 257-95.
- STEVENSON, R. J., PRESCOTT, J. & BOAKES, R. A. 1999. Confusing tastes and smells: how odours can influence the perception of sweet and sour tastes. *Chem Senses*, 24, 627-35.
- STEVENSON, R. J., SUNDQVIST, N. & MAHMUT, M. 2007. Age-related changes in discrimination of unfamiliar odors. *Percept Psychophys*, 69, 185-92.
- STINTON, N., ATIF, M. A., BARKAT, N. & DOTY, R. L. 2010. Influence of smell loss on taste function. *Behav Neurosci*, 124, 256-64.
- SUNE, F., LACROIX, P. & HUON DE KERMADEC, F. 2002. A comparison of sensory attribute use by children and experts to evaluate chocolate. *Food Quality and Preference*, 13(7-8), 545-553.
- SZAGUN, G. 1980. *Sprachentwicklung beim Kind*, München, Urban und Schwarzenberg.
- THEE, S. 2008. *Die Entwicklung der auditorischen Hirnstambbahnen bei Kindern bis zum 2. Lebensjahr und deren Einfluss auf den späteren Spracherwerb*. Uniklinikum Charite.
- TIE, K., FAST, K., KVETON, J., COHEN, Z., DUFFY, V. & GREEN, B., ET AL. 1999. Anesthesia of chorda tympaninerve and effect on oral pain. *Chemical Senses*, 24, 609.

- TOMITA, H., IKEDA, M. & OKUDA, Y. 1986. Basis and practice of clinical taste examinations. *Auris Nasus Larynx*, 13 Suppl 1, S1-15.
- TOMOFUJI, S., SAKAGAMI, M., KUSHIDA, K., TERADA, T., MORI, H. & KAKIBUCHI, M. 2005. Taste disturbance after tonsillectomy and laryngomicrosurgery. *Auris Nasus Larynx*, 32, 381-6.
- TRAAR, V. 2009. *Sensorische Prüfungen mit Kindern*. Universität Wien.
- TREPEL, M. 1999. *Neuroanatomie- Struktur und Funktion*, Urban und Fischer.
- UEBAYASHI, H., HATANAKA, T., KANEMURA, F. & TONOSAKI, K. 2001. Acute anosmia in the mouse: behavioral discrimination among the four basic taste substances. *Physiol Behav*, 72, 291-6.
- URBICK, B. Year. Kids have great taste: An update to sensory work with children. *In: Annual Meeting Institute of Food Technologists, 2002 Anaheim, California*.
- UZUN, C., ADALI, M. K. & KARASALIHOGU, A. R. 2003. Unusual complication of tonsillectomy: taste disturbance and the lingual branch of the glossopharyngeal nerve. *J Laryngol Otol*, 117, 314-7.
- VENNEMANN, M. M., HUMMEL, T. & BERGER, K. 2008. The association between smoking and smell and taste impairment in the general population. *J Neurol*, 255, 1121-6.
- VERMA, P., SHETTY, V. & HEGDE, A. M. 2006. Propylthiouracil (PROP)--a tool to determine taster status in relation to caries experience, streptococcus mutans levels and dietary preferences in children. *J Clin Pediatr Dent*, 31, 113-7.
- WANG, Y., ERICKSON, R. P. & SIMON, S. A. 1995. Modulation of rat chorda tympani nerve activity by lingual nerve stimulation. *J Neurophysiol*, 73, 1468-83.
- WEIFFENBACH, J. M., BAUM, B. J. & BURGHAUSER, R. 1982. Taste thresholds: quality specific variation with human aging. *J Gerontol*, 37, 372-7.
- WELGE-LUSSEN, A., DORIG, P., WOLFENBERGER, M., KRONE, F. & HUMMEL, T. 2011. A study about the frequency of taste disorders. *J Neurol*, 258, 386-92.
- WELGE-LUSSEN, A., DRAGO, J., WOLFENBERGER, M. & HUMMEL, T. 2005. Gustatory stimulation influences the processing of intranasal stimuli. *Brain Res*, 1038, 69-75.
- WITT, M., REUTTER, K. & MILLER JR., I. 2003. Morphology of the peripheral taste system. *In: DOTY, R. (ed.) Handbook of olfaction and gustation*. Philadelphia: Marcel Dekker, Inc.
- WONG, G. T., GANNON, K. S. & MARGOLSKEE, R. F. 1996. Transduction of bitter and sweet taste by gustducin. *Nature*, 381, 796-800.
- YAMAMOTO, K., ISHIMARU, Y., OHMOTO, M., MATSUMOTO, I., ASAKURA, T. & ABE, K. 2011. Genetic tracing of the gustatory neural pathway originating from Pkd113-expressing type III taste cells in circumvallate and foliate papillae. *J Neurochem*, 119, 497-506.

- YAMAUCHI, Y., ENDO, S., SAKAI, F. & YOSHIMURA, I. 1995. Whole mouth gustatory test (Part 1)--basic considerations and principal component analysis. *Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho*, 98, 119-29.
- YAMAUCHI, Y., ENDO, S., SAKAI, F. & YOSHIMURA, I. 2002a. A new whole-mouth gustatory test procedure. 1. Thresholds and principal components analysis in healthy men and women. *Acta Otolaryngol Suppl*, 39-48.
- YAMAUCHI, Y., ENDO, S. & YOSHIMURA, I. 2002b. A new whole-mouth gustatory test procedure. II. Effects of aging, gender and smoking. *Acta Otolaryngol Suppl*, 49-59.
- YANG, R., TABATA, S., CROWLEY, H. H., MARGOLSKEE, R. F. & KINNAMON, J. C. 2000. Ultrastructural localization of gustducin immunoreactivity in microvilli of type II taste cells in the rat. *J Comp Neurol*, 425, 139-51.
- YARMOLINSKY, D. A., ZUKER, C. S. & RYBA, N. J. 2009. Common sense about taste: from mammals to insects. *Cell*, 139, 234-44.
- YASAKI, T., MIYASHITA, N., AHIKO, R., HIRANO, Y. & KAMATA, M. 1976. Study on sucrose taste thresholds in children and adults. *Koku Eisei Gakkai Zasshi*, 26, 200-5.
- ZANCANARO, C., CARETTA, C. M., MERIGO, F., CAVAGGIONI, A. & OSCULATI, F. 1999. alpha-Gustducin expression in the vomeronasal organ of the mouse. *Eur J Neurosci*, 11, 4473-5.
- ZHAO, G. Q., ZHANG, Y., HOON, M. A., CHANDRASHEKAR, J., ERLLENBACH, I., RYBA, N. J. & ZUKER, C. S. 2003. The receptors for mammalian sweet and umami taste. *Cell*, 115, 255-66.
- ZILLES, K. 2010. *Gustatorisches System und Sinnesorgane*, Springer-Verlag.

9 Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Anzahl männlicher und weiblicher Probanden für jede Altersgruppe	46
Abbildung 2 Versuchsaufbau	46
Abbildung 3 Glaskaraffen und Plastikbecher	47
Abbildung 4 Präsentation der Antwortmöglichkeiten.....	48
Abbildung 5 Zungenskizze mit den vier Regionen	50
Abbildung 6 Auftragend der Geschmackslösungen mit Wattestäbchen	51
Abbildung 7 Antworten aller Gruppen auf die verschiedenen Schmeckreize.....	53
Abbildung 8 Richtigantworten auf die fünf Geschmacksreize der einzelnen Altersgruppen (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt).....	54
Abbildung 9 Richtigantworten auf die fünf Geschmacksreize der einzelnen Altersgruppen, getrennt dargestellt für männliche und weibliche Probanden (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt).....	54
Abbildung 10 : Mittelwerte der Richtigantworten der verschiedenen Altersgruppen auf die einzelnen Geschmacksreize (0= falsch, 1= richtig).....	55
Abbildung 11 a) bis d) Antworten der verschiedenen Altersgruppen auf die fünf Geschmacksreize, Angaben in Prozent	57
Abbildung 12 Richtigantworten auf alle fünf Geschmacksreize in allen vier Regionen bezogen auf die verschiedenen Altersgruppen (0= keine richtig, 20= alle richtig)	58
Abbildung 13 Richtigantworten auf alle fünf Geschmacksreize in allen vier Regionen bezogen auf die verschiedenen Altersgruppen (0= keine richtig, 20= alle richtig), getrennt dargestellt für weibliche und männliche Probanden.....	58
Abbildung 14 Richtigantworten der verschiedenen Altersgruppen in den einzelnen Regionen für alle Geschmacksreize (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 5= alle Geschmacksreize richtig erkannt)	59
Abbildung 15 Richtigantworten in Regionen 1&2 und in Regionen 3&4 auf alle Geschmacksreize (0= keinen Geschmacksreiz richtig erkannt, 10= alle Geschmacksreize richtig erkannt).....	60
Abbildung 16 Mittelwerte der Richtigantworten auf bitteren Reiz in Region 3 und in Region 4 (0= falsch, 1= richtig).....	61
Abbildung 17 Verteilung der Richtigantworten im ganzen Mund bei den einzelnen Altersgruppen	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Reifung des Hörorgans.....	28
Tabelle 2 Visuelle Entwicklung.....	29
Tabelle 3 Einteilung der Schmeckstörungen.....	40
Tabelle 4 Richtigantworten in Prozent.....	53
Tabelle 5 Antworten auf bitteren Geschmack in Region 3 (Angaben in Prozent)	60
Tabelle 6 Antworten auf bitteren Geschmack in Region 4 (Angaben in Prozent)	61
Tabelle 7 a) bis d) Verteilung der Richtigantworten in den einzelnen Regionen bei den einzelnen Altersgruppen (Angaben in Prozent).....	64
Tabelle 8 Konzentrationen der Geschmackslösungen verschiedener Schmecktests (Angaben in g/ 100 ml).....	66

Abkürzungsverzeichnis

AWMF	Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften e. V.
BAEP	brainstem auditory evoked potentials
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
ENaC	epithelial sodium channel
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
KCl	Kaliumchlorid
LJ	Lebensjahre
M	Musculus
Mm	Musculi
N	Nervus
NaCl	Natriumchlorid
Ncl	Nucleus

Ncll	Nuclei
OAE	otoakustische Emissionen
SSW	Schwangerschaftswoche
Tr	Tractus
TRP	transient receptor potential channel

Auswertungstabelle Ganzer-Mund-Test:

3	232	
2	683	
5	128	
1	457	
4	526	

Auswertungstabelle Regionale Testung:

Stimulus	Region	Picture	
683	2	2	
128	2	5	
128	4	4	
457	3	1	
457	4	4	
232	3	3	
683	1	2	
526	4	4	
683	3	2	
457	1	1	
232	1	3	
683	4	2	
128	3	5	
526	1	4	
128	1	5	
232	2	3	
526	3	4	
457	2	1	
232	4	3	
526	2	4	