



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Altersbedingte Veränderungen in der chemosensorischen Wahrnehmung

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasserin / Verfasser:	Daniela Wagner
Matrikel-Nummer:	0206299
Studienrichtung /Studienzweig (lt. Studienblatt):	Ernährungswissenschaften
Betreuerin / Betreuer:	Ao. Univ. Prof. Dr. Dorota Majchrzak

Wien, im September 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
2	Der Ernährungszustand der älteren Generation	3
2.1	Statistiken	3
2.1.1	Der Anteil der älteren Bevölkerung in Europa und weltweit	3
2.1.2	Der Anteil der älteren Bevölkerung in Österreich	3
2.2	Ernährungsgewohnheiten der älteren Bevölkerung in Österreich	4
2.2.1	Der Body-Mass-Index (BMI)	5
2.2.2	Die Versorgung der älteren Bevölkerung mit Makronährstoffen	5
2.2.3	Die Versorgung der älteren Bevölkerung mit Mikronährstoffen	6
2.2.4	Die Flüssigkeitszufuhr bei Senioren	7
3	Sensorik	8
3.1	Methoden der Sensorik	8
3.1.1	Die analytischen Methoden	9
3.1.2	Die hedonischen Methoden	9
3.2	Geruchs- und Geschmackstests zur Erkennung von chemosensorischen Funktionsstörungen	10

4 Die Sinne als Instrumente der Sensorik	11
4.1 Der Geruchssinn	12
4.1.1 Die Anatomie des Geruchssystems	14
Aufbau und Funktion von Rezeptorzellen	14
Der Aufbau des Riechepithels	14
Aufbau und Funktion von Glomeruli	15
Der Bulbus olfactorius	17
4.1.2 Die Physiologie des Geruchssystems	17
Die Signaltransduktion im olfaktorischen System . . .	17
Die Entstehung und Bedeutung von Geruchsbildern .	19
4.1.3 Die Funktion des Geruchssinnes	20
4.1.4 Orthonasales vs. retronasales Riechen	20
4.1.5 Das vomeronasale System	23
4.2 Der Geschmackssinn	23
4.2.1 Die Anatomie des Geschmackssystems	23
Vorkommen und Anatomie der Geschmackspapillen .	23
Der Aufbau der Geschmacksknospen	24
Die Geschmackssinneszellen	25
Die Rezeptorzellen	25
Rezeptorzellen für süßen Geschmack	25
Rezeptorzellen für bitteren Geschmack	26
Rezeptorzellen für umami Geschmack	27
Rezeptorzellen für sauren Geschmack	28

Rezeptorzellen für salzigen Geschmack	28
CD36 als potentieller Fettgeschmacksrezeptor	29
CaSR als möglicher Rezeptor für Calcium- Geschmack	30
4.2.2 Die Physiologie des Geschmackssystems	30
Signaltransduktion	30
Die Kodierung der Geschmacksqualitäten	32
Das labelled line modell	32
Das across-fibre-pattern	32
4.2.3 Die Funktion des Geschmackssinnes	33
4.3 Der Sehsinn	33
4.4 Der Gehörsinn	34
4.5 Der Tastsinn	35
4.6 Der Einfluss und das Zusammenspiel der einzelnen Sinne . .	36
5 Flavour	37
5.1 Das Aroma - der Gesamtgeruchseindruck	37
5.1.1 Gustatorischer und nasaler Geruch	37
5.1.2 Trigeminale Geruchseindrücke	39
5.2 Der Gesamtgeschmackseindruck	39
5.2.1 Haptische Eindrücke	40
5.2.2 Trigeminale Geschmackseindrücke	40

6	Faktoren, die die Sinneswahrnehmung beeinflussen	41
6.1	Anatomische Veränderungen	44
6.1.1	Geruch	44
	Veränderungen des olfaktorischen Trakts	44
	Veränderungen in der Regenerationsfähigkeit	44
6.1.2	Geschmack	45
	Veränderungen in den gustatorischen Arealen	45
	Veränderungen in der Regenerationsfähigkeit	45
6.2	Physiologische Veränderungen	46
6.2.1	Geruch	46
6.2.2	Geschmack	48
	Ansteigen der Geschmacksschwellen	48
	Verlängerte Regenerationszeiten	48
	Veränderungen im Gehirn	48
	Alter	49
	Zahnstatus	50
	Kau- und Schluckstörungen	50
	Geschlecht	51
6.3	Trigeminale Veränderungen	52
6.3.1	Geruch	52
6.3.2	Geschmack	52
6.4	Krankheiten	53
6.4.1	Ernährungsbedingte Krankheiten	53

Alters-Anorexie	53
Zinkstatus	56
6.4.2 hormonbedingte Krankheiten	56
Hypothyroidismus	56
6.4.3 Neurodegenerative Krankheiten	57
Alzheimer	57
Parkinson	58
6.5 Der Einfluss von Medikamenten	59
6.5.1 Veränderte Pharmakokinetik und Pharmakodynamik	59
6.5.2 Nebenwirkungen von Medikamenten	60
6.6 Genussmittel	61
6.6.1 Rauchen	61
6.7 Soziale Faktoren	64
7 Schlussbetrachtung	65
8 Zusammenfassung	68
9 Summary	69
10 Literatur	71

Abbildungsverzeichnis

1	Bevölkerungspyramide für das Jahr 2030 Quelle: [STATISTIK AUSTRIA, 2008]	4
2	Schematische Darstellung des olfaktorischen Neuroepithels b: Vorgänge im Riechepithel c: Verarbeitungsvorgänge im Gehirn Quelle: [FIRESTEIN, 2001]	16
3	Verbindung von Glomeruli und Bulbus olfactorius Quelle: [SHEPHERD, 2006]	17
4	Schematische Darstellung der olfaktorischen Transduktion Quelle: [FIRESTEIN, 2001]	18
5	Ortho- bzw. retronasales Riechen Quelle: [SHEPHERD, 2006]	21
6	Geschmacksknospen und Geschmackspapillen a: Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe und die Verteilung der verschiedenen Geschmackspapillen auf der Zungenoberfläche b: Zungenlandkarte mit Lokalisation der verschiedenen Geschmäcker -veraltete Annahme Quelle: [CHANDRASHEKAR et al., 2006]	24
7	Darstellung der verschiedenen Geschmacksrezeptoren Quelle: [LINDEMANN, 2001]	26
8	Gustatorische Signaltransduktionsvorgänge Quelle: [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005]	31
9	Labelled-line-model und across-fibre-pattern Quelle: [CHANDRASHEKAR et al., 2006]	32
10	Verschiedene Aspekte der Nahrungsmittelauswahl Quelle: [SHEPHERD, 2006]	36
11	Flavour - die Gesamtheit der Sinneseindrücke Quelle: [MAJCHRZAK, 2009]	38

Tabellenverzeichnis

1	Mögliche Gründe für Gewichtsverlust bei älteren Menschen Quelle: [MORLEY, 2001]	42
2	Medizinische Ursachen, die Geruch und Geschmack beeinflussen können	54
3	Veränderungen in der Körperzusammensetzung und -funktion im Alter	59
4	Einfluss von Pharmaka auf die chemischen Sinne Teil 1	62
5	Einfluss von Pharmaka auf die chemischen Sinne Teil 2	63

Abkürzungsverzeichnis

LBM lean body mass, fettfreie Körpermasse

TBW total body water, Gesamtkörperwasser

OB *Bulbus olfactorius*, der Riechkolben, der als vorgelagerter Hirnteil zu betrachten ist

MAP Mikrotubuli assoziiertes Protein

PDCG Parkinsonism-dementia complex of Guam

PTU Propylthiouracil

fMRI functional magnetic resonance imaging

BOLD blood oxygen level dependency, ist ein bildgebendes Verfahren der funktionellen Magnetresonanztomografie, mittels dessen sich lokale Änderungen der Gehirnaktivität bestimmen lassen

PUFA poly unsaturated fatty acids (mehrfach ungesättigte Fettsäuren)

IMP Inosinmonophosphat

MNG Mononatriumglutamat

GPCR G-Protein gekoppelte Rezeptoren

AMP Adenosinmonophosphat, spielt eine wichtige Rolle in der Signalisierung der Zelle

cAMP cyclisches Adenosinmonophosphat

ENaC Amilorid-sensitiver Natrium-Kanal

NTD Amino-terminale Domäne bei Aminosäuren

Begriffserklärungen

Geschmacksschwelle Konzentration, bei der der Mensch mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (geschmacklich) stimuliert wird

Pharmakokinetik Verhalten eines Arzneimittels im menschlichen Körper. Umfasst Absorption, Verteilung im Körper, Ab- und Umbauvorgänge und schließlich die Ausscheidung

Pharmakodynamik befasst sich mit der Wirkung von Arzneistoffen im Organismus. Dies umfasst Wechselwirkungen mit Rezeptoren, Beeinflussung von spannungsabhängigen Ionenkanälen, Transportsystemen und Enzymaktivitäten sowie die Hemmung von Biosynthesen

Kachexie Krankhafte Abmagerungszustände. Neben dem Depotfett wird auch Baufett angegriffen. Kann krankheitsbedingt auftreten (z.B. Krebs)

Sarkopenie Mit dem Alter einsetzender Schwund der Muskelmasse. Damit verbunden ist eine merkliche Einschränkung der körperlichen Funktionen

Anorexie Zustand, bei dem das Verlangen nach Nahrungsaufnahme nachlässt oder völlig fehlt. Reicht von Appetitlosigkeit bis hin zu schweren Abmagerungszuständen

adstringierend Trigeminaler Reiz, der ein zusammenziehendes Mundgefühl verursacht

Bradykinese Verlangsamung der motorischen Aktion, tritt bei Parkinson'scher Krankheit auf

Presbyosmie Altersbedingter Verlust der Geruchsfunktion. Der Begriff Presbyosmie wurde dem Phänomen aus idiopathischen Gründen zugeschrieben trotz der Berücksichtigung, dass viele neurodegenerative Krankheiten ebenfalls einen Verlust der Geruchsfunktion induzieren und in der älteren Population eine höhere Inzidenz haben

Presbygeusie altersbedingte Beeinträchtigung der Geschmacksfunktion. siehe oben

Apoptose von der Zelle selbst aktiv herbeigeführter/programmierter Zelltod. Benachbartes Gewebe wird hierbei nicht geschädigt

idiopathisch Krankheit unklarer Ursache

Hypogeusie verringertes Geschmackempfinden

Dysgeusie abnormale Geschmacksempfindungen

1 Einleitung und Fragestellung

“Und ich bin dem Greisenalter großen Dank schuldig, dass es mir während die Begierde nach Unterhaltung zunahm, die Begierde nach Speise und Trank beinahe ganz aufgehoben hat.”

Cicero Cato Maior: De senectute, 43 vor Christus

Bereits vor 2000 Jahren kannte man die Problematik der chemosensorischen Verluste, die mit steigendem Alter einsetzen. Die Beeinträchtigungen des Geruchs- und Geschmackssinnes sind auch heute noch allgemein verbreitet. Bei der Hälfte der Bevölkerung zwischen 65 und 80 Jahren sowie bei drei Viertel der Menschen ab 80 Jahren treten Verluste in den olfaktorischen und gustatorischen Fähigkeiten auf.

Diesen Beeinträchtigungen der chemischen Sinne wird zwar selten hohe Bedeutung beigemessen aber sie haben schwerwiegende Folgen für die Betroffenen, die von beeinträchtigter Lebensqualität hin zu höheren Gesundheitsrisiken durch verdorbenes Essen und gefährliche Dämpfe wie austretendes Gas oder Feuerrauch reichen. Auf der gustatorischen Seite ist die Bevorzugung einzelner Nahrungsmittel wegen der Gefahr einer einseitigen Ernährung problematisch. Vor allem bei den älteren Betroffenen können die Veränderungen in Nahrungsmittelauswahl und Konsummustern durch verminderte sensorische Leistung die Gesundheit oder bestehende Krankheiten negativ beeinflussen. Dies kann sich allgemein in geringem Körpergewicht, geschwächtem Immunsystem aber auch in übermäßiger Aufnahme von Salz bei Bluthochdruck oder Zucker bei Diabetes melitus äußern [DOTY, 2005].

Im Alter sind im Allgemeinen alle Sinne zu einem gewissen Grad beeinflusst, hier soll aber besonders auf die chemosensorischen eingegangen werden, da beispielsweise Verluste im Gehör oder Sehsinn bereits seit längerem Aufmerksamkeit genießen und die Chemosensorik ein neues Gebiet darstellt. In der vorliegenden Arbeit werden neben einer Erklärung der chemischen Sinne die Probleme, die mit dem Alter auftreten beleuchtet, es wird auf die physiologischen und sozialen Veränderungen

eingegangen, ebenso die Ernährungsweisen von älteren behandelt und versucht, weitere Einflussfaktoren auf die Ernährung der älteren Menschen zu definieren. Dadurch wird versucht, die multifaktoriellen Ursachen der altersbedingten Veränderungen in der sensorischen Wahrnehmung und der damit verbundenen verminderten Speisenaufnahme zu erklären.

2 Der Ernährungszustand der älteren Generation

2.1 Statistiken

2.1.1 Der Anteil der älteren Bevölkerung in Europa und weltweit

6% der Weltbevölkerung sind über 65 Jahre alt: in Norwegen beträgt der Anteil der über 65-Jährigen 14,63%, in Großbritannien 17%, in Europa 14%, in den Vereinigten Staaten 13% und in Afrikanischen Ländern 3%. Die Zahl derjenigen, die 60 Jahre oder älter sind, wird sich bald verdreifachen (von 672 Millionen anno 2005 hin zu 2 Milliarden im Jahr 2050 weltweit), dies ist vor allem in den Entwicklungsländern der Fall. Jener Teil der älteren Bevölkerung, der am schnellsten wächst, sind die über 80-Jährigen: 2050 werden über 400 Millionen Menschen über 80 sein, das sind fünfmal so viele wie 2005 [KINSELLA & VELKOFF, 2001].

Die Lebenserwartung steigt stetig an, 1868 lag die fernere Lebenserwartung für einen 60jährigen bei 72 Jahren, heute bei Männern bei 80 und bei Frauen bei 84 Jahren.

2.1.2 Der Anteil der älteren Bevölkerung in Österreich

Die Bevölkerungsentwicklung in Österreich von 1950 bis 2050 zeigt, dass 1950 in Österreich ca. 6,9 Millionen Menschen lebten, 2007 waren es circa 8,3 Millionen. Schätzungen zufolge wird die österreichische Bevölkerung 2050 auf 9,5 Millionen anwachsen.

Heute sind 22,6% der Bevölkerung 60 Jahre oder älter. Den Prognosen zufolge wird 2075 jeder dritte in Österreich lebende Mensch (34,1%) 60 Jahre oder älter sein. Auch die Bevölkerungspyramide (Abb. 1) für das Jahr 2030 zeigt, dass der Anteil der älteren Bevölkerung deutlich wachsen wird [STATISTIK AUSTRIA, 2008].

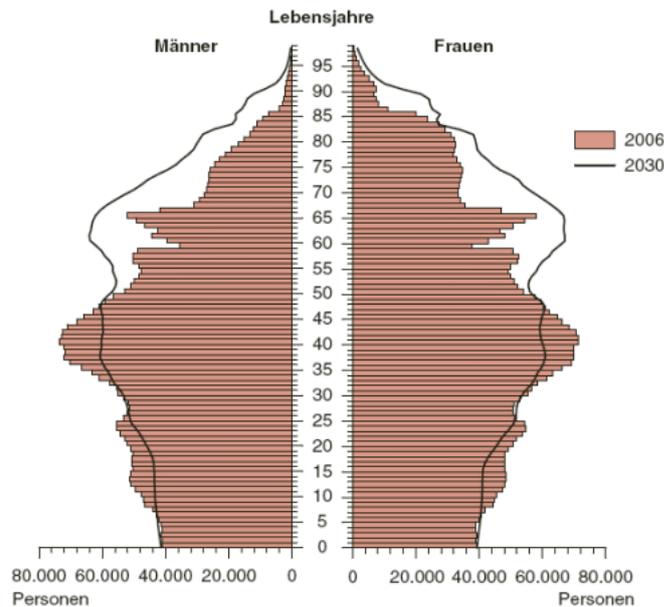


Abbildung 1: Bevölkerungspyramide für das Jahr 2030

Quelle: [STATISTIK AUSTRIA, 2008]

2.2 Ernährungsgewohnheiten der älteren Bevölkerung in Österreich

Bis zum 65. Lebensjahr geht der Trend zum Übergewicht, danach wird eher Untergewicht bei der älteren Bevölkerung beobachtet. Im Folgenden wird versucht, den Ernährungszustand der älteren Bevölkerung zu beschreiben und einen kurzen Überblick über den Versorgungszustand der älteren Mitmenschen zu gewähren. Laut österreichischem Ernährungsbericht 2003 lag der BMI insgesamt bei 60% der untersuchten Senioren im Normalgewichtsbereich. Es wurden mehr Untergewichtige im Pensionistenwohneim als selbstständig Lebende im Eigenheim erfasst.

Ab dem 65. Lebensjahr variiert der Energiebedarf stark. Er ist abhängig vom Gewicht, der körperlichen Aktivität und dem Grundumsatz, der wiederum eng verbunden ist mit der Zusammensetzung der Kompartimente, das bedeutet die Verteilung und die Anteile der fettfreien und fetten Masse am Körpergewicht. Die Senioren stellen also diesbezüglich eine heterogene Gruppe dar, da es starke individuelle Unterschiede in der Fitness und dem Gesundheits- bzw. Krankheitszustand gibt [ELMADFA et al., 2008]. Allgemein gesehen neigt das Körpergewicht bei älteren Personen, auch bei gutem Gesundheitszustand zu sinken [BATES et al., 2001].

Unfreiwillige Gewichtsabnahme, wie sie im Alter oft auftritt, ist ein Indikator für unzureichende Ernährung oder eine zehrende Krankheit. Bei geringer Energieaufnahme besteht oft auch das Risiko einer nicht ausreichenden Nährstoff-Aufnahme. Da der Nährstoffbedarf im Alter erhöht ist, der Energiebedarf aber sinkt, muss das Hauptaugenmerk der Ernährung auf eine möglichst hohe Nährstoffdichte gerichtet werden [ELMADFA et al., 2008].

2.2.1 Der Body-Mass-Index (BMI)

$$BMI = \frac{\text{Körpergewicht in kg}}{(\text{Körpergröße in m})^2}$$

Der BMI kann als Vorhersageindikator für ernährungsbezogene Krankheiten herangezogen werden. Mit dem Alter nimmt aber seine Aussagekraft ab, da das Körpergewicht und somit auch der BMI anders bewertet werden müssen als bei jüngeren Erwachsenen [BATES et al., 2001]. Durch Veränderungen der Körperzusammensetzung steigt das Körpergewicht an und höhere BMI-Werte sind im Vergleich zu jüngeren Personen mit geringerem Mortalitätsrisiko verbunden.

Im österreichischen Ernährungsbericht beschreiben ELMADFA et al.[2003] Unterschiede zwischen Bewohnern von Pensionistenheimen und selbstständig lebende Senioren auf und zeigen keine relevanten Unterschiede in den Indizes im Hinblick auf die Prävalenz von Unter- oder Übergewicht. Der durchschnittliche BMI der Personengruppe der Senioren ab einem Alter von 55 Jahren betrug 26,7 kg/m². 57% lagen im normalen Gewichtsbereich, 22% waren unter-, 21% übergewichtig. Es gab jedoch sehr wohl Unterschiede zwischen den Altersgruppen: bei der Gruppe der Senioren ab dem 85. Lebensjahr trat Untergewicht dreimal häufiger auf als bei der Gruppe der 55-64-jährigen. Bei der Prävalenz für Übergewicht kam es zu umgekehrten Ergebnissen [ELMADFA et al., 2003].

2.2.2 Die Versorgung der älteren Bevölkerung mit Makronährstoffen

Die Proteinaufnahme der älteren Generation in Österreich beträgt relativ zur Gesamtenergie gesehen 15%, absolut bedeutet das bei Männern

eine durchschnittliche Aufnahme von 76 g/Tag bei Frauen 68 g/Tag. Das entspricht einer zufriedenstellenden Zufuhr. Im späteren Lebensabschnitt kommt es oft zu unfreiwilligen Gewichtsverlusten [BATES et al., 2001]. Es besteht ein erhöhtes Risiko für Protein-, Energie - Mangelernährung. In diesem Fall sollte auf eine ausreichende Proteinzufuhr geachtet werden.

Die Erhebung des Fettkonsums zeigt eine nicht wünschenswerte Aufnahme, vor allem bei den über 75jährigen. Die Aufnahme beträgt durchschnittlich 40% der Gesamtenergiezufuhr. Laut Zufuhrempfehlungen der deutschen, österreichischen und schweizerischen Ernährungsgesellschaften [D-A-CH, 2000] sollten maximal 30% der Nahrungsenergie in Form von Fetten aufgenommen werden. Ebenso problematisch ist das ungünstige Fettsäure-Muster: Die Aufnahme von gesättigten Fettsäuren ist mit durchschnittlich 18% der Gesamtenergie zu hoch, laut Empfehlungen der D-A-CH sollten maximal 10% des täglichen Bedarfs an Energie durch gesättigte Fettsäuren gedeckt werden. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren hingegen machen nur 5% der Gesamtenergiezufuhr aus, wünschenswert wäre eine Aufnahme dieser essentiellen Fettsäuren von mindestens 7% [D-A-CH, 2000]. Auch die Cholesterinaufnahme ist viel zu hoch bewertet worden. Sowohl Frauen als auch Männer überschritten mit 313 mg/Tag bzw. 351 mg/Tag die von der D-A-CH empfohlenen Zufuhrmengen von 300 mg/Tag.

Der Kohlenhydratkonsum der österreichischen Senioren bleibt ebenfalls hinter den Empfehlungen zurück: es werden durchschnittlich 45% statt der empfohlenen 50% konsumiert, der Ballaststoffanteil sollte ebenso um 10% gesteigert werden. Allgemein kann man sagen, dass mit dem Alter der Fettkonsum bei sinkender Gesamtenergiezufuhr steigt, zulasten einer ausreichenden Kohlenhydrat- und Ballaststoffversorgung. Dies ist durch die langjährigen Ernährungsgewohnheiten der Senioren zu begründen, die im Alter schwer oder gar nicht abgelegt werden können. Die gewohnte, typisch österreichische Hausmannskost ist sehr energiereich mit einem hohen Anteil an Fett und Zucker, was mit den veränderten Nährstoffanforderungen des Körpers nicht kompatibel ist [ELMADFA et al., 2003].

2.2.3 Die Versorgung der älteren Bevölkerung mit Mikronährstoffen

Die durchschnittliche Aufnahme der älteren Personen in Österreich von Folsäure, Vitamin D, β -Carotin, Iod, Calcium und Magnesium entspricht

nicht den D-A-CH - Empfehlungen [2000]. Die Folsäure-Aufnahme erreicht nur die Hälfte der empfohlenen Zufuhr. Vitamin D wird durch die zu geringe Zufuhr zu einem Risikonährstoff, da berücksichtigt werden muss, dass mit dem Alter die Eigensynthesefähigkeit der Haut nachlässt, bei Sonnenexposition Vitamin D₃ zu produzieren und die Niere 25-OH-Vitamin-D in unzureichendem Maße in die wirksame Form umwandeln kann. Die Versorgung an β -Carotin ist ebenfalls nicht wünschenswert, da 60% der untersuchten Senioren, unabhängig von Alter, Geschlecht und Lebensweise, unterversorgt waren. Dies kann als eine Folge der schlechten Ernährungsgewohnheiten gesehen werden, da β -Carotin als Marker für optimalen Obst- und Gemüse-Konsum gilt.

Bei Calcium ist die nicht ausreichende Aufnahme und die Auswirkungen auf die Knochengesundheit im Kontext mit den bereits erwähnten Problemen im Vitamin D-Stoffwechsel zu sehen. Bei anderen Nährstoffen, wie Vitamin E, Vitamin C, dem Vitamin B-Komplex, Vitamin A, Eisen, Zink und Kalium, entspricht die Zufuhr im Durchschnitt zwar den Empfehlungen, dennoch ist Vorsicht geboten, da bei den älteren in der Personengruppe der Senioren sehr wohl geringere Aufnahmen beobachtet wurden [ELMADFA et al., 2008].

2.2.4 Die Flüssigkeitszufuhr bei Senioren

Für das optimale Ablaufen aller Stoffwechselprozesse im Körper ist eine regelmäßige und ausreichende Flüssigkeitszufuhr notwendig. Bei älteren Menschen ist die Reabsorption von Wasser in der Niere oft beeinträchtigt, das Durstgefühl abgeschwächt [DGE, 2008]. Laut D-A-CH-Referenzwerten [2000] sollte die Flüssigkeitsaufnahme von Senioren 2250 ml pro Tag betragen. Die österreichischen Senioren trinken im Durchschnitt 2380 +/- 790 ml pro Tag, was eine mehr als bedarfsdeckende Bilanz darstellt. Je älter die untersuchten Personen waren, desto geringer war ihr Flüssigkeitskonsum [ELMADFA et al., 2003].

Allgemein gesehen kann der Gesundheitszustand beziehungsweise die körperliche Verfassung der österreichischen Senioren als "gut dem Alter entsprechend" bewertet werden. Das gilt sowohl für Bewohner von Pensionistenheimen, bei denen die höhere Altersstruktur im Vergleich zu

im eigenen Haushalt lebenden Senioren beachtet werden muss, als auch für selbstständig Lebende [ELMADFA et al., 2003].

3 Sensorik

Die Sensorik ist eine noch junge Wissenschaft, die in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung von Lebensmitteln Anwendung findet. Sie basiert auf der Überlegung, die Begutachtung von Lebensmitteln nicht nur anhand von chemischen und physikalischen Parametern durchzuführen, sondern auch geschmackliche Maßstäbe und eine Qualitätsprüfung anzusetzen. Diese Notwendigkeit ergibt sich, da sensorische Beeinträchtigungen der Qualität nicht notwendigerweise mit technisch erfassbaren Analysemethoden ident sein müssen.

Eine Ausbildung auf dem Gebiet der Sensorik umfasst grob die Vermittlung von Prüfverfahren und deren Anwendung, ausführliche Schulung der Sinne und die Beurteilung von industriell hergestellten Erzeugnissen gemäß produktspezifischen Verfahren.

Früher wurden Lebensmittel im Rahmen der Organoleptik Geruchs- und Geschmacksprüfungen unterzogen, diese wurden aber eher gefühlsmäßig ohne objektivierbare Methoden durchgeführt. Sie waren subjektiv und lieferten keine zuverlässigen und befriedigenden Ergebnisse. Heute werden Ziele, Verfahren und Methoden in ISO- und DIN- Normen genau definiert [FLIEDNER & WILHELMI, 1993].

3.1 Methoden der Sensorik

Die Instrumente der Sensorik sind die Sinne. Das Messinstrument ist sozusagen der Mensch, genauer der Sensoriker. Die Lebensmittelprüfung kann anhand von analytischen und hedonischen Prüfmethoden durchgeführt werden, wobei die analytischen Methoden auf trainierte Prüfer und objektive Bedingungen und die hedonischen Verfahren auf Laien oder Konsumenten ausgerichtet sind [FLIEDNER & WILHELMI, 1993].

3.1.1 Die analytischen Methoden

Zu den analytischen Methoden gehören deskriptive Prüfungen sowie Unterschiedsprüfungen. Letztere lassen sich weiter unterteilen in den Triangeltest, die Rangordnungsprüfung, die paarweise Vergleichsprüfung und den Duo-Trio-Test.

Die deskriptiven Methoden umfassen die qualitative Beschreibung und quantitative Beurteilung des Produkts. Hierbei werden im ersten Schritt im Rahmen der einfachen beschreibenden Prüfung die Attribute festgelegt, nach denen das Produkt untersucht werden soll, im zweiten Schritt, der qualitativen Beschreibung, werden diese Produkteigenschaften in ihrer Intensität auf einer stufenlosen Skala bewertet.

Um reproduzierbare Ergebnisse liefern zu können, ist es wichtig, dass sie möglichst objektiv ablaufen. Das bedeutet, dass persönliche Vorlieben ausgeblendet werden müssen, störende und ablenkende Faktoren vermieden werden, die Proben codiert werden und geschulte Prüfer eingesetzt werden. Ziel ist es, durch Erkennen von sensorischen Unterschieden oder Einstufen nach definierten Skalen das Produkt zu charakterisieren.

3.1.2 Die hedonischen Methoden

Hedonische Prüfungsmethoden sind in die Präferenzprüfungen und die Akzeptanzprüfungen zu unterteilen. Im Gegensatz zu den analytischen Methoden steht nicht die Charakteristik eines Produktes im Mittelpunkt des Interesses dieser Prüfung sondern die Meinung und Einstellung des Konsumenten zu dem Produkt. Die Prüfungen des Produkts müssen daher auch nicht unter standardisierten Bedingungen erfolgen und finden bei Verbrauchenumfragen und Marktforschungen Anwendung [BUSCH-STOCKFISCH, 2006].

3.2 Geruchs- und Geschmackstests zur Erkennung von chemosensorischen Funktionsstörungen

Das Hauptaugenmerk der letzten Jahre wurde darauf gelegt, verlässliche und einfache Verfahren zur Evaluierung des Geruchs- und Geschmackssinnes zu finden. Solche quantitativen Untersuchungen sind notwendig um zu determinieren, welche Hirnnerven von Veränderungen betroffen sind und deren Funktionsweise genau abzuschätzen, weil subjektive Bewertungen der Patienten irreführend sein können. Sie dienen auch dazu, dem Patienten gültige Informationen über das Ausmaß der Beeinträchtigung kommunizieren zu können und ob diese dem Alter entsprechend ausfallen. Weiters sind sie hilfreich, um Krankheitsverläufe und Behandlungsfortschritte zu beobachten, und für die Früherkennung von Tumoren und neurologischen Störungen, die auf anderem Weg nicht erkannt werden können, und schließlich um die Effizienz von Therapieerfolgen zu steigern und Verschlechterungen zu erkennen sowie medizinische Beobachtung und Pflege auf dem neuesten Stand anbieten zu können. Die mittlerweile gut entwickelten und kommerziell erhältlichen Geruchstest umfassen Untersuchungen der Geruchserkennung, -identifizierung und -gedächtnis [DOTY, 2005].

Faktoren, die neben den sensorischen Bedingungen auf die Ergebnisse solcher Geruchs- und Geschmackstests Einfluss haben, wurden in einer Studie von HULSHOFF POL et al. [2000] beleuchtet. Es wurde der Effekt der Testdauer auf die Fähigkeit zur Geruchsunterscheidung überprüft. Dabei sollten sowohl ältere als auch jüngere Erwachsene einen Geruchsunterschiedstest machen. Die Ergebnisse zeigten einen Abfall in der Unterscheidungsfähigkeit mit dem Alter. Weiters sank bei den älteren, männlichen Teilnehmern die Leistungsfähigkeit mit der Dauer der Aufgabestellung, während sie bei den jüngeren Teilnehmern gleich blieb. Außerdem konnte ein kleiner Vorteil der Frauen gegenüber den Männern beobachtet werden, dieser Effekt verschwand aber mit steigender Dauer der Aufgabenstellung. Mögliche Ursache dafür könnte sein, dass ältere Menschen stärker auf olfaktorische Adaption anfällig sind und sich langsamer von Beanspruchungen erholen [STEVENS et al. 1989].

Während die Einflüsse von Variablen wie Alter und Geschlecht für die meisten standardisierten Geruchsidentifizierungs- und -erkennungstests

gut bewährt sind, ist das bei den Geruchsgedächtnis-Tests nicht der Fall. In einer Studie wurden 231 nicht rauchende Frauen und Männer im Alter von 10 bis 68 Jahren angewiesen, einen standardisierten Geruchsgedächtnis-Test mit 12 Elementen durchzuführen. Zuerst rochen die Teilnehmer an Plättchen mit Mikrokapseln von Duftstoffen. Nach einem Zeitabstand von 10, 30 oder 60 Sekunden sollten sie den Zielduftstoff aus einer gleichermaßen präsentierten Gruppe von vier Duftstoffen auswählen, von denen drei nicht dem ursprünglichen Beispiel entsprachen. Die Gesamtwerte des Geruchsgedächtnistests lagen bei Frauen höher als bei Männern und nahmen bei jedem Geschlecht abhängig vom Alter ab. Das Verhalten war unabhängig von den unterschiedlichen Verzögerungszeiten [CHOUDHURY et al., 2003].

4 Die Sinne als Instrumente der Sensorik

Die Sinne sind dazu da, eine innere Darstellung der Umwelt wiederzugeben, einschließlich ihrer chemischen Eigenschaften, die durch Geruchs- und Geschmackssinn vermittelt werden sowie der physikalischen, die wir durch Gehör-, Tast-, Seh-, Temperatur- und Schmerzsinne wahrnehmen. Die sensorische Transduktion sind die Signal wandelnden Vorgänge, die in spezifischen Sinneszellen ablaufen. Verschiedene Reizenergien aus der Umwelt werden aufgefangen und in elektrische Potentialänderung umgewandelt [CHANDRASHEKAR et al., 2006].

Es gibt Chemorezeptoren, Mechanorezeptoren, Photo-, Thermo- und Nozirezeptoren. Die jeweiligen Rezeptorzellen sind spezialisiert auf Transduktion einer bestimmten Form der Reizenergie. Die Reizspezifität einer Rezeptorzelle ist aber niemals absolut, denn beispielsweise sind fast alle Rezeptortypen durch elektrischen Strom erregbar.

Für die Signalwandlung ist entweder ein bestimmter Teil der Rezeptorzelle spezialisiert, wie zum Beispiel modifizierte Zilien bei Photorezeptoren, oder die ganze Zelle nimmt an der Transduktion teil. Ein Beispiel dafür sind Geschmackssinneszellen. Diese haben an ihrem apikalen Zellende eine Reiztransduktionszone und bilden am proximalen Ende Synapsen mit sensorischen Interneuronen aus ohne ein dazwischen geschaltetes Axon. Olfaktorische Sinneszellen besitzen zusätzlich zu einer nahe dem Zellkörper

gelegenen Transduktionszone ein langes Axon, das von der Peripherie ins Hirn reicht, wo es Synapsen ausbildet. Schmerzrezeptoren sind vereinzelt Nervenzellen, deren Reiz empfangende Dendrite als "freie Nervenenden" im Gewebe liegen [REICHERT, 2000].

Anatomische Studien an Affen zeigen, dass es zusätzlich zu den primären neocortikalen Geruchsarealen verschiedene Unterregionen gibt, die differenziert sind, um Verbindungen anderer sensorischer, neocortikaler Areale zu empfangen, einschließlich Geschmack, Gehör, Sehen und Fühlen. Es gibt ebenso Untereinheiten mit gegenseitigen Verbindungen mit den limbischen subkortikalen Regionen wie Amygdala und Hypothalamus [ONGUR et al., 2003].

4.1 Der Geruchssinn

Im Vergleich zur restlichen Tierwelt ist das menschliche Geruchssystem relativ bescheiden ausgestattet. Die Empfindlichkeit und Bandbreite des olfaktorischen Systems ist dennoch bemerkenswert, weil es Organismen befähigt, Hunderte von niedermolekularen Teilchen, meist organische Komponenten, die wir allgemein als Gerüche bezeichnen, zu erkennen und zwischen ihnen zu unterscheiden [FIRESTEIN, 2001].

Sowohl aliphatische als auch aromatische Moleküle mit unterschiedlichen Kohlenstoffskeletten und den unterschiedlichsten funktionellen Gruppen, wie die von Alkoholen, Aldehyden, Estern, Ketonen, Carboxylsäuren, Aminen, Iminen, Thiolen, Haliden, Nitrilen, Ethern und Sulfiden sind in diesem olfaktorischen Repertoire vertreten. Dieses bemerkenswerte chemische Detektionssystem entwickelte sich im Laufe der Evolution [SMALL et al., 2005].

Wir können laut Literatur zwischen 2000 und 100000 Gerüche detektieren. Theoretisch (aufgrund von möglichen Kombinationen von Rezeptoren) könnten es Milliarden sein. Die genaue zahlenmäßige Erfassung ist ebenso unmöglich wie die Beantwortung der Frage, wieviele Farben wir sehen. Trainierte Riecher wie Sommeliers, Köche, Parfumeure und auch viele Tierarten können noch mehr verschiedene Gerüche unterscheiden. Dies ist aber nicht auf angeborene Unterschiede der sensorischen Ausstattung zurückzuführen. Ein möglicher limitierender Faktor ist die physikalische

Chemie, denn ein potentieller Duftstoff muss eine gewisse Löslichkeit, Flüchtigkeit und Stabilität aufweisen, um auf das sensorische Gewebe der Nase einwirken zu können [FIRESTEIN, 2001].

Auch die Intensität der Duftstoffe hat einen Effekt auf die Codierung. Manche Gerüche verändern ihre wahrgenommene Qualität abhängig von der Stimulusintensität. Zum Beispiel Thiole: hochkonzentriert stinken sie ekelig, wohingegen sie in niedrigen Dosen Zitrusnoten aufweisen. Wenn die Konzentration steigt, werden neue Rezeptoren aktiviert [RUBIN & KATZ, 1999].

Bei olfaktorischen Sinneszellen sind Rezeptormoleküle und Ionenkanäle unterschiedliche Transmembranmoleküle. Eine Second-Messenger - abhängige Enzymkaskade ist als Bindeglied zwischen der Aktivierung der Rezeptormoleküle durch einen Reiz und der Öffnung der Ionenkanäle geschaltet. Beim olfaktorischen Rezeptormolekül handelt es sich um ein großes Transmembranprotein, das durch Bindung eines passenden Duftmoleküls aktiviert wird [REICHERT, 2000].

Die Stimulation der olfaktorischen Sinneszellen in der Nase umfasst die Interaktion von Geruchsmolekülen mit olfaktorischen Rezeptorproteinen. Genomuntersuchungen zeigen, dass die Familie der olfaktorischen Gene mehr als 1000 Gene umfasst. Das macht sie zur größten Genfamilie im Säugetiergenom. Bei den meisten Säugern ist der Großteil der Gene funktionell, beim Menschen nur ca. 350 [CRASTO et al., 2002]. Dadurch wird der Verdacht bestätigt, dass Menschen einen degenerierten Geruchssinn haben. Allerdings lassen die olfaktorischen Gene nicht direkt auf die Geruchsschärfe schließen. Hunde, die eine ausgezeichnete Aufspürfähigkeit haben, haben auch nur 850 funktionelle olfaktorische Gene [QUIGNON et al., 2005]. Studien zeigen, dass Primaten einen überraschend guten Geruchssinn haben und es wurde diskutiert, dass die verringerte Anzahl an Geruchsgenen beim Menschen mehr als unabhängig ist angesichts seines erweiterten Gehirns mit vergrößerten Kapazitäten für Analyse und komplexe Bearbeitung des Geruchs um entscheidendes Verhalten zu leiten [LASKA et al., 2000; SHEPHERD, 2006].

4.1.1 Die Anatomie des Geruchssystems

Aufbau und Funktion von Rezeptorzellen

Geruchsrezeptoren konnten vor circa einem Jahrzehnt komplett aufgeklärt werden. Man fand erstaunlicherweise heraus, dass es mehr als 1000 Gene für olfaktorische Rezeptoren im Genom gibt. Das bedeutet, dass sie die größte G-Protein gekoppelte Rezeptor-Familie sind und möglicherweise allgemein die größte Genfamilie des Genoms sind. Sobald ein Rezeptor an ein Duftmolekül gebunden hat, wird eine Kaskade initiiert, die chemische Bindungsenergie in ein neurales Signal umgewandelt.

Die meisten, wenn nicht sogar alle Rezeptoren können von mehreren ähnlichen aber nicht identen Duftstoffen aktiviert werden und umgekehrt, die meisten Duftstoffe können mehr als einen Rezeptortyp aktivieren. Man sagt, sie sind "broadly tuned", aber "broadly tuned" Rezeptoren können nicht gleichzeitig hoch affin sein. Man könnte sagen, das System gibt hohe Affinität zugunsten einer größeren Bandbreite auf [FIRESTEIN, 2001].

Rezeptorproteine sind spezifisch für bestimmte Duftklassen. Schon kleine strukturelle Veränderungen am Molekül führen zu einem vollständigem Verlust der Rezeptorreaktion. Jede Riechsinneszelle exprimiert nur einen Typ von Rezeptorprotein [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005].

Der Aufbau des Riechepithels

Die *Regio olfactoria*, das Riechepithel, ist ein circa 2x5 cm² großer Bereich auf der obersten der drei Conchen in der Nase. Man findet im Riechepithel drei Zelltypen: die tatsächlichen Riechsinneszellen, Stützzellen und Basalzellen, dabei handelt es sich um undifferenzierte Riechzellen, die nach Ablauf ihrer Lebensdauer die Riechzellen erneuern. Der Mensch hat circa 20 Millionen Riechzellen mit einer Lebensdauer von etwa einem Monat. Es handelt sich um primäre Sinneszellen mit zahlreichen dünnen Sinneshaaren - Zilien - auf der apikalen Zellseite, die in die Schleimhaut ragen und so mit der Außenwelt in Verbindung stehen. Am anderen Ende sind die Sinneszellen über ein langes Axon direkt

mit dem Gehirn verbunden. Diese Riechzellenaxone laufen gebündelt zu Tausenden durch die Siebbeinplatte, um zusammen als *Nervus olfactorius* zum *Bulbus olfactorius*, dem primären Riechzentrum, zu ziehen [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005].

6-10 Mio olfaktorische Neuronen formen ein Neuroepithel, das durch einen Bereich mit einer Reihe knorpeliger Ausbuchtungen - Nasenmuschel genannt - in die oberen Bereiche der Nasenhöhle führt. Olfaktorische Sinneszellen sind bipolare Neurone mit einem einzelnen Dendriten, der bis zur Gewebeoberfläche reicht und in einer beulenartigen Schwellung endet. Sie sind Spielstätte des sensorischen Transduktionsapparats. Ein dünnes Axon des proximalen Pols der Zelle ragt direkt in höhere Hirnregionen [FIRESTEIN, 2001]. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellungen des Neuroepithels, Glomeruli und Mitralzellen.

Aufbau und Funktion von Glomeruli

Studien mit transgenen Mäusen haben gezeigt, dass alle Neuronen, die ein bestimmter Rezeptor exprimiert, zu einem einzelnen Ziel im *Bulbus olfactorius* zusammenlaufen [MOMBAERTS et al., 1996; FIRESTEIN, 2001]. Dieses Ziel sind Glomeruli.

Glomeruli sind spherische Konglomerate, die aus dem eintreffenden Axon der olfaktorischen Neuronen und den Dendriten der Mitralzelle des *Bulbus olfactorius*, das ist die Hauptprojektionstelle des Bulbus, bestehen. Abbildung 2c zeigt die Informationsübertragung von Glomeruli auf die Mitralzellen [FIRESTEIN, 2001]. Die Glomeruli des *Bulbus olfactorius* sind also die synaptischen Schaltstellen zwischen Rezeptor und Hirnrinde. In ihnen kommt es zur deutlichen Abnahme der Duftinformation durch Konvergenz, da circa 1000 Axone einzelner Riechzellen auf eine einzige Mitralzelle projizieren. Die Duftinformation wird von dort teils zum Neocortex geleitet, wo sie im praepiriformen Cortex endet oder geht zum Teil direkt zum limbischen System, wie Amygdala oder Hippocampus. Von dort wird sie weiter zu den vegetativen Kernen des Hypothalamus und der *Formatio reticularis* geleitet [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005].

Es wurde intrinsische Bildgebung am *Bulbus olfactorius* durchgeführt. Dabei wurde herausgefunden, dass ein dargereichter Duftstoff eine

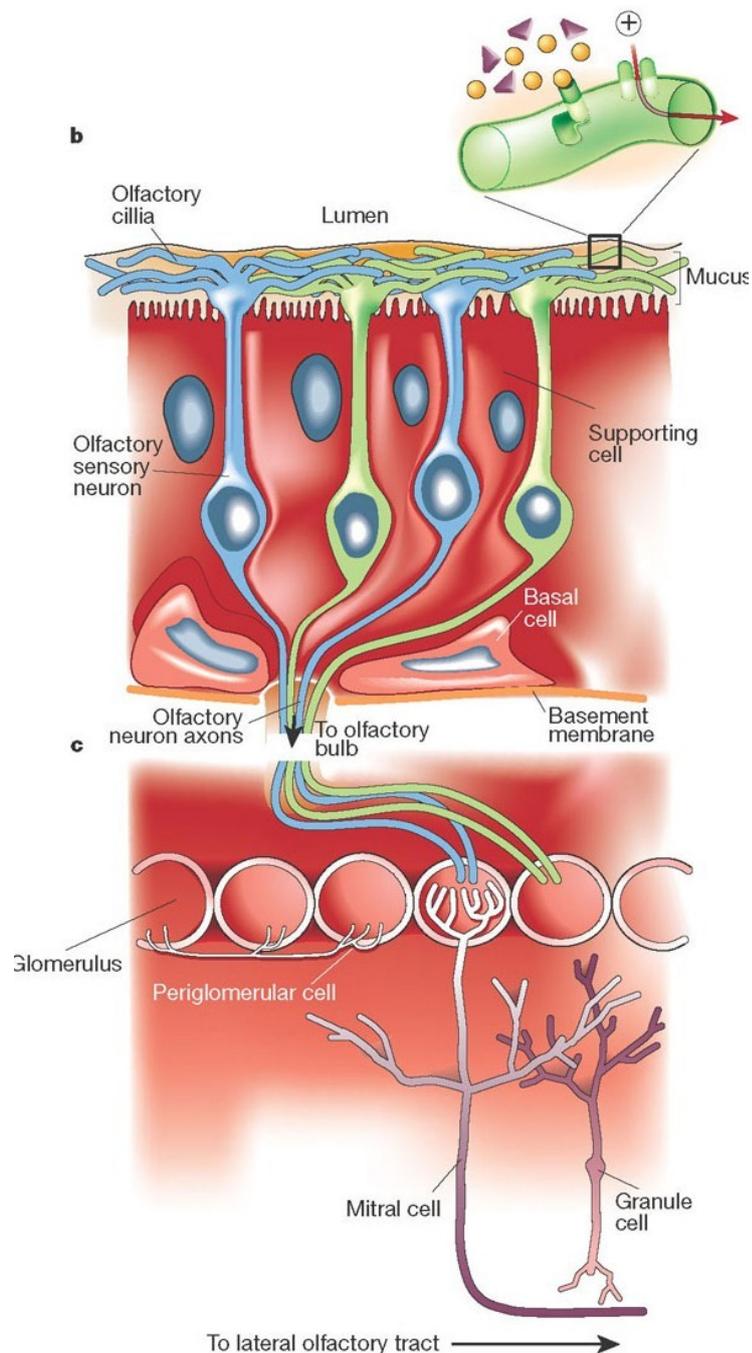


Abbildung 2: Schematische Darstellung des olfaktorischen Neuroepithels

b: Vorgänge im Riechepithel

c: Verarbeitungsvorgänge im Gehirn

Quelle: [FIRESTEIN, 2001]

Gruppe von Glomeruli aktiviert (olfaktorische Sinneszellen und folgedessen olfaktorische Rezeptoren) und dass verschiedene Gerüche überlappende aber nicht identische Muster von Glomeruli aktivieren [RUBIN & KATZ 2001].

Der Bulbus olfactorius

Die zellulären Elemente des *Bulbus olfactorius* sind schichtartig angeordnet: Glomeruli bilden die erste Schicht, darauf folgt die äußere plexiforme Schicht der Mitralzellen und schließlich die innere plexiforme Schicht der Körnerzellen. Wesentliche Merkmale der Informationsverarbeitung in diesem neuronalen Netzwerk sind starke Konvergenz, deutliche Hemmmechanismen und die efferente Kontrolle der einlaufenden Erregung. Der *Bulbus olfactorius* ist ein komplexes Netzwerk im basalen Vorderhirn. Mitralzellen erhalten Informationen von olfaktorischen Sinneszellen und deren Axone projizieren zu verschiedenen Hirnregionen [FIRESTEIN, 2001]. Die Abbildung 3 veranschaulicht diesen Weg der Informationsverarbeitung.

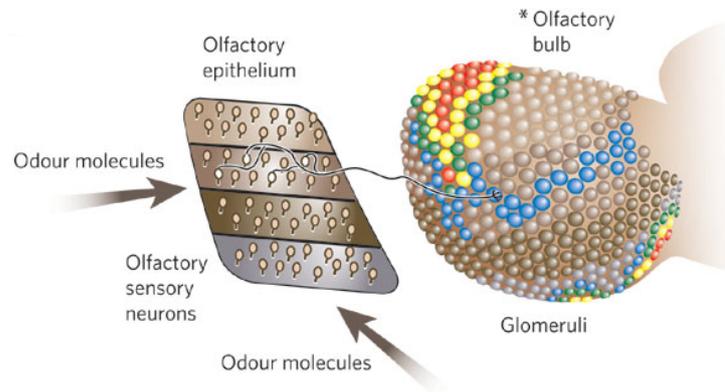


Abbildung 3: Verbindung von Glomeruli und Bulbus olfactorius
Quelle: [SHEPHERD, 2006]

4.1.2 Die Physiologie des Geruchssystems

Die Signaltransduktion im olfaktorischen System

Die sensorische Transduktion wird in Abbildung 4 schematisch dargestellt. Innerhalb der dichten Zilie der olfaktorischen Neuronen transduziert eine Kaskade von Enzymaktivitäten die Bindung eines Duftstoffmoleküls an einen Rezeptor in ein elektrisches Signal, das zum Gehirn weitergeleitet wird. Dieser Vorgang folgt den Prinzipien des klassischen zyklischen Nucleotid-Transduktionsweges. Ein Ligandengebundener Rezeptor aktiviert ein G-Protein (spezifischer Untertyp G_{olf}),

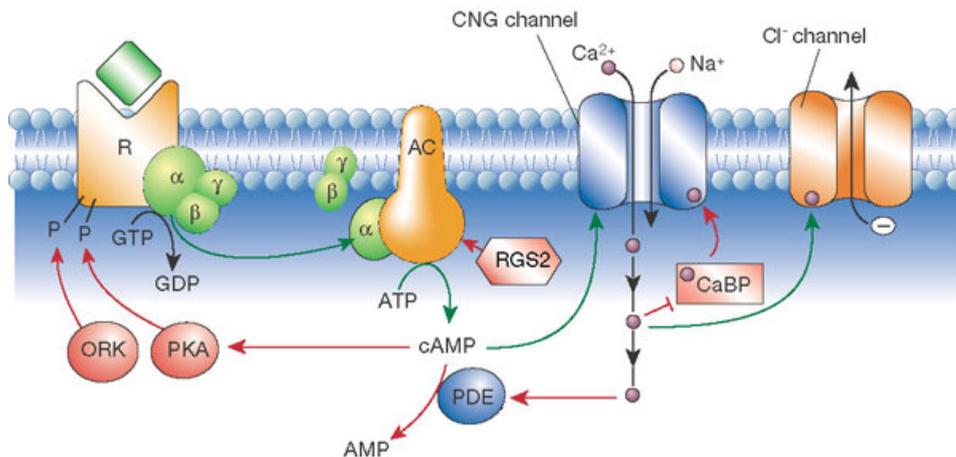


Abbildung 4: Schematische Darstellung der olfaktorischen Transduktion
Quelle: [FIRESTEIN, 2001]

das wiederum die Adenylatcyclase III aktiviert. Diese konvertiert das reichlich vorhandene intrazelluläre ATP zu AMP. Bei olfaktorischen Sinneszellen bindet cAMP an die intrazelluläre Seite eines Ionenkanals. Inaktive olfaktorische Neuronen halten normalerweise eine ruhende Spannung von circa 65 mV entlang der Plasma-Membran aufrecht. Dann öffnen sich zyklische Nukleotid-gerichtete Kanäle.

Der Einstrom von Na^+ und Ca^{2+} -Ionen bewirkt im Zellinneren eine weniger negative Ladung, wenn ausreichend viele Kanäle lange genug offen sind und somit der Schwellenwert erreicht wird – wird ein Aktionspotential erzeugt, das entlang des Axons weitergeleitet wird. Das Axon durchquert einen dünnen Knochen, die Siebplatte, und verläuft weiter zum basalen Vorderhirn wo es mit Neuronen zweiter Ordnung in den *Bulbus olfactorius* Synapsen ausbildet.

Diese Second-Messenger-Enzymkaskade bewirkt Verstärkung und Integration von Duftstoff-gebundenen Ereignissen. Ein Membranrezeptor der von einem gebundenen Duftstoff aktiviert wird, kann wiederum eine Vielzahl an G-Proteinen aktivieren, jedes davon aktiviert ein Cyclase-molekül, das geeignet ist tausend cAMP/Sekunde zu produzieren. Drei cAMP werden benötigt um einen Kanal zu öffnen, aber hunderttausende Ionen können die Membran durch einen einzelnen Kanal passieren. An diesen Pfad angehängt ist ein zusätzlicher und einzigartiger Mechanismus bei olfaktorischen Neuronen: Ca^{2+} -Ionen die durch einen zyklischen Nukleotid-gesteuerten Kanal ins Zellinnere gelangen, sind befähigt andere Ionenkanäle zu aktivieren, die für Cl^- -Ionen durchlässig sind. Neuronale

Cl-Kanäle vermitteln normalerweise inhibitorische Antworten. Aber olfaktorische Neuronen halten vermutlich mittels Ionenpumpen unüblich hohe Cl-Konzentrationen aufrecht, sodass es einen Cl-Efflux gibt, wenn diese Kanäle offen sind [FIRESTEIN, 2001].

Die Entstehung und Bedeutung von Geruchsbildern

Mit den ersten Hirn-Bildgebungsmethoden wurde gezeigt, dass Geruchsstimuli in der Ratte räumliche Aktivitätsmuster in der glomerulären Schicht produzieren, die sich möglicherweise überschneiden aber nach verschiedenen Gerüchen variieren [STEWART et al., 1979]. Das zugrunde liegende Prinzip von ADRIAN [1953] wird dadurch bestätigt, wonach verschiedene Gerüche im *Bulbus olfactorius* durch verschiedene Muster von räumlicher Aktivität repräsentiert werden. Das olfaktorische System ähnelt also anderen sensorischen Leitungsbahnen, indem es Aktivitätsmuster im zweidimensionalen neuronalen Raum nützt, um eine sensorische Modalität zu repräsentieren. Solche Muster erzeugen – analog zu jenen von anderen sensorischen Systemen – Geruchsbilder oder Geruchslandkarten [XU et al., 2000].

Im Gegensatz zu den bewussten Bildern, die wir durch das visuelle System wahrnehmen, sind die Geruchsmuster im *Bulbus olfactorius* unbewusst. Wenn wir einen Geruch wahrnehmen, halten wir ihn nicht für ein räumliches Bild, auch wenn er aus einem räumlichen Bild des *Bulbus olfactorius* gewachsen ist. Diese unbewusste Eigenschaft könnte die Tatsache widerspiegeln, dass die menschlichen Geruchsbahnen keine signifikante Schaltstelle im Thalamus einschließen. Geruchsbilder sind komplex und höchst regellos.

Im olfaktorischen Cortex werden die Geruchsbilder zu Inhalt-gerichteten Gedächtnisformen umformatiert [WILSON & STEVENSON, 2003; ROSS et al., 2005; LINSTER et al., 2003]. Subareale, die von Nahrungsaromen aktiviert werden sind der orbitofrontale Cortex, der anteriore fusiforme Gyrus (Gehirnwindung), der parahippocampale Gyrus, Insula, Striatum und die Cingulate [SHEPHERD, 2006]. Darüber hinaus hat man herausgefunden, dass der orbitofrontale Cortex und die Amygdala Assoziationen mit der Attraktivität von Speisen teilen, indem angenehme

Speisen den medialen orbitofrontalen Cortex aktivieren und unangenehme den lateralen orbitofrontalen Cortex. Die resultierenden Geruchsbilder, die im *Bulbus olfactorius* entstehen, sind Gegenstand der Verarbeitung durch den olfaktorischen Cortex im orbitofrontalen Cortex. [ROLLS et al., 2003]

4.1.3 Die Funktion des Geruchssinnes

Die Funktionen des Geruchssinnes sind breit gefächert. Sie umfassen Warnung und auch Auslösen von Wohlgefallen. Einerseits soll der Geruchssinn vor Gefahren durch zum Beispiel Rauch bei Feuer, austretendes Gas, verdorbenes Essen und gefährliche Substanzen warnen. Andererseits hat der Geruchssinn großen Anteil an der Aromawahrnehmung und somit am Genuss von Speisen und garantiert so die regelmäßige Aufnahme von Nährstoffen. Der Duft von Blumen und der unbewusst wahrgenommene Duft von Lockstoffen haben Anteil am Wohlbefinden und der Lebensfreude.

4.1.4 Orthonasales vs. retronasales Riechen

Ein Duftmolekül kann das olfaktorische Epithel über die Nase erreichen, dann spricht man vom orthonasalen Riechen oder aber auch über den Mund- und Rachenraum, man nennt dies retronasales Riechen. Gerüche, die retronasal durch den Mund wahrgenommen werden, werden auf die Mundhöhle bezogen wobei Gerüche, die orthonasal durch die Nase wahrgenommen werden, der externen Welt zugeschrieben werden. Abb. 5 zeigt die verschiedenen Wege der Luft zum olfaktorischen Epithel.

Einige Studien haben bereits die Gehirnantworten auf ortho- und retronasal präsentierte Gerüche untersucht [DE ARAUJO et al., 2003; SMALL et al., 2004]. Es wurde jedoch nie direkt die ortho- bzw. retronasale Stimulation bestimmter Regionen derselben Substanz beobachtet. Gerüche der Nahrung werden normalerweise sowohl orthonasal als auch retronasal empfangen, nicht nahrungsbezogene Düfte nur orthonasal. Also hat der Weg der Stimulation möglicherweise verschiedene Auswirkungen für speisenbezogene bzw. nicht-speisenbezogene Gerüche.

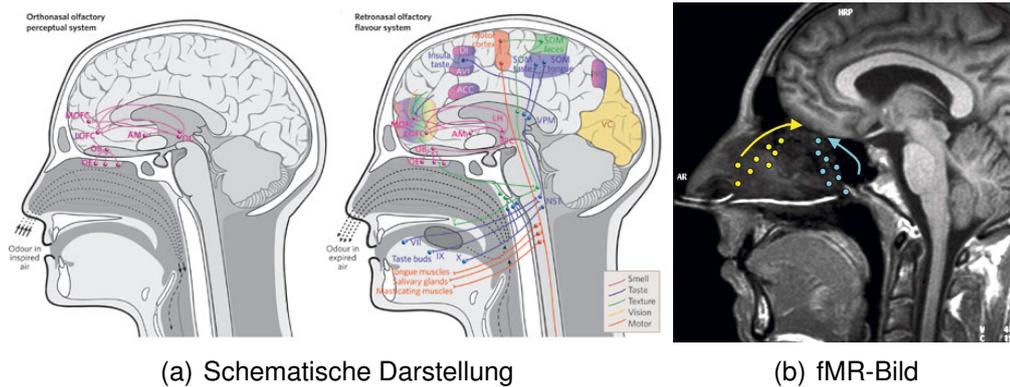


Abbildung 5: Ortho- bzw. retronasales Riechen
Quelle: [SHEPHERD, 2006]

Eventuell können auch physiochemische Aspekte der Geruchsstoffe wie Lipophilie die neurale Aktivität unterschiedlich beeinflussen, die von verschiedenen Regulierungswegen hervorgerufen wird. Frühere Studien, die ortho- und retronasales Riechen verglichen, drängten darauf, dass orthonasales Riechen von Dämpfen und retronasales Riechen von Flüssigkeiten vermittelt wird [CERF-DUCASTEL & MURPHY, 2001; DE ARAUJO et al., 2003]. Und so war es bisher nicht möglich zu sichern, ob die unterschiedliche Aktivierung von Hirnregionen auf die Weiterleitungswege oder physikalische Unterschiede zurückzuführen sind.

Bei der Studie von SMALL et al. [2005] wurde eine Technik angewandt in der vaporisierte Duftstoffe sowohl orthonasal als auch retronasal aufgenommen werden konnten [HEILMANN & HUMMEL, 2001] und die Hirnantworten mittels funktioneller Magnetresonanz-Bildgebung (fMRI) beobachtet. Die Duftstoffe wurden einmal orthonasal und einmal retronasal präsentiert und sollten nach Intensität und angenehmem Gefühl geordnet werden. Das Ergebnis zeigte keine Unterscheide in den beiden Rankings außer bei Lavendel: der orthonasal präsentierte Lavendel wurde signifikant stärker bewertet.

In einem zweitem Test wurde Schokoladengeruch als nahrungsbezogener Duft präsentiert. Die Teilnehmer unterschieden zwar zwischen ortho- und retronasal, konnten aber nicht sagen ob Geruch vom rechten oder linken Nasenloch kommt. Dies lässt darauf schließen, dass der Geruch selbst keine trigeminale Komponente hat und spricht gegen die Annahme,

dass trigeminale Hinweise die orthonasale beziehungsweise retronasale Geruchsstofflokalisierung erleichtern.

Die Bildgebungsmethoden des fMRI und BOLD (Blood Oxygen Level Dependency) wurden angewandt, um den durchschnittlichen Prozentsatz an Signalveränderungen abzuschätzen der gebraucht wird, um eine Veränderung zu entdecken. Lavendel, Farnesol und Butanol wurden als intensiver wahrgenommen wenn sie orthonasal dargereicht wurden. Der Vergleich zwischen retro- und orthonasaler Weiterleitung verursachte assoziiert mit retronasalem Riechen vorrangig Aktivierung im Mundareal auf Basis des zentralen Sulcus, was eventuell den olfaktorischen Bezug zum Mund reflektiert. Weiterleitungswege verursachen unterschiedliche Aktivierung in der Insula, im Thalamus, Hippocampus, der Amygdala, im caudolateralen orbitofrontalen Cortex und im perigenualen cingulären und medialen orbitofrontalen Cortex. Es konnte stärkere retronasale als orthonasale Reaktion auf Schokolade-Geruch beobachtet werden aber nicht auf Lavendel, Farnesol und Butanol also nicht speisenbezogene Gerüche. Das lässt darauf schließen, dass unterschiedliche Rekrutierung der Nerven abhängig ist vom Weg des Geruchsstoffes.

Die Ergebnisse der Studie lassen darauf schließen, dass dieser Effekt davon beeinflusst ist, ob der Duftstoff durch ein Nahrungsmittel repräsentiert wird oder nicht. Weiters konnte herausgefunden werden, dass die Lipophilie oder Hydrophilie eines Duftstoffs keine bedeutenden Auswirkungen darauf hat, ob die geruchliche Stimulation orthonasal oder retronasal erfolgt [SMALL et al., 2005]. Die Ergebnisse unterstützen Rozins Theorie, dass orthonasales und retronasales Riechen qualitativ unterschiedliche sensorische Ereignisse repräsentieren [ROZIN, 1982].

Retronasale Stimulation tritt während der Nahrungsaufnahme auf, wenn flüchtige Moleküle, die aus den Speisen entweichen, durch die Kaubewegung vom Grund der Mundhöhle durch den Nasopharynx hinauf zum olfaktorischen Epithel gepumpt werden. Orthonasales Riechen trägt zu diesem Empfinden nicht bei! Retronasales Riechen wird nur zwischen dem Kau- und Schluckvorgang aktiviert [TAYLOR et al., 2000]. Weil die Moleküle aus den Nahrungsmitteln stammen, werden die Empfindungen dem Mund zugeschrieben, das bedeutet, sie werden so wahrgenommen, als ob sie im Mund empfunden worden sind [BARTOSHUK et al., 2004].

4.1.5 Das vomeronasale System

Im zigarrenförmigen vomeronasalen Organ ist ein zusätzliches olfaktorisches System lokalisiert, das separat vom hauptsächlich olfaktorischen Epithel für die Wahrnehmung von Pheromonen zuständig ist [FIRESTEIN, 2001]. Es befindet sich am Grund der Nasenhöhle. Die vomeronasalen Rezeptorneurone besitzen Axone, die vom vomeronasalen Organ zum akzessorischen *Bulbus olfactorius* verlaufen und zum Hypothalamus transferiert werden. Dieser ist unter anderem das neuroendokrine System von Säugern und somit zuständig für die Reproduktionsphysiologie und das Verhalten. Somit beeinflusst es aggressives und soziales Verhalten. Das vomeronasale System nimmt bestimmte Substanzen in Duftstoffen auf, die als chemische Signalstoffe und Lockstoffe dienen. Die Bedeutung dieses Organs vor allem beim Menschen ist immer mehr umstritten, da es im Verdacht steht, sich während der fetalen Entwicklung zurückzubilden und die chemische Kommunikation generell in Frage gestellt wird. Es hat keinen Einfluss auf die Nahrungsaufnahme [MEREDITH, 2001].

4.2 Der Geschmackssinn

4.2.1 Die Anatomie des Geschmackssystems

Vorkommen und Anatomie der Geschmackspapillen

Geschmackspapillen sind Erhebungen und Gräben in der Schleimhaut der Zungenoberfläche, die die Träger der Geschmacksorgane, der Geschmacksknospen sind. Man unterscheidet vier Arten von Papillen: Circumvallate, die Wallpapillen, befinden sich ganz hinten am Zungengrund, die Foliate oder Blattpapillen sind im hinteren und seitlichen Teil der Zunge zu finden, die Fungiformen (Pilzpapillen) sind auf den vorderen zwei Dritteln der Zunge lokalisiert. Die Fadenpapillen, die Filiformen sind über die gesamte Zungenoberfläche verteilt und tragen keine Geschmacksknospen. Sie dienen hauptsächlich der Vermittlung des Mundgefühls.

Aktuelles Datenmaterial sagt aus, dass es keine Landkarte der Zunge gibt, so wie in früherer Literatur vermittelt wird, (siehe Abb. 6 b) sondern

dass in allen Regionen der Zunge Empfindlichkeiten für alle Geschmäcker lokalisiert sind [CHANDRASHEKAR et al., 2006]

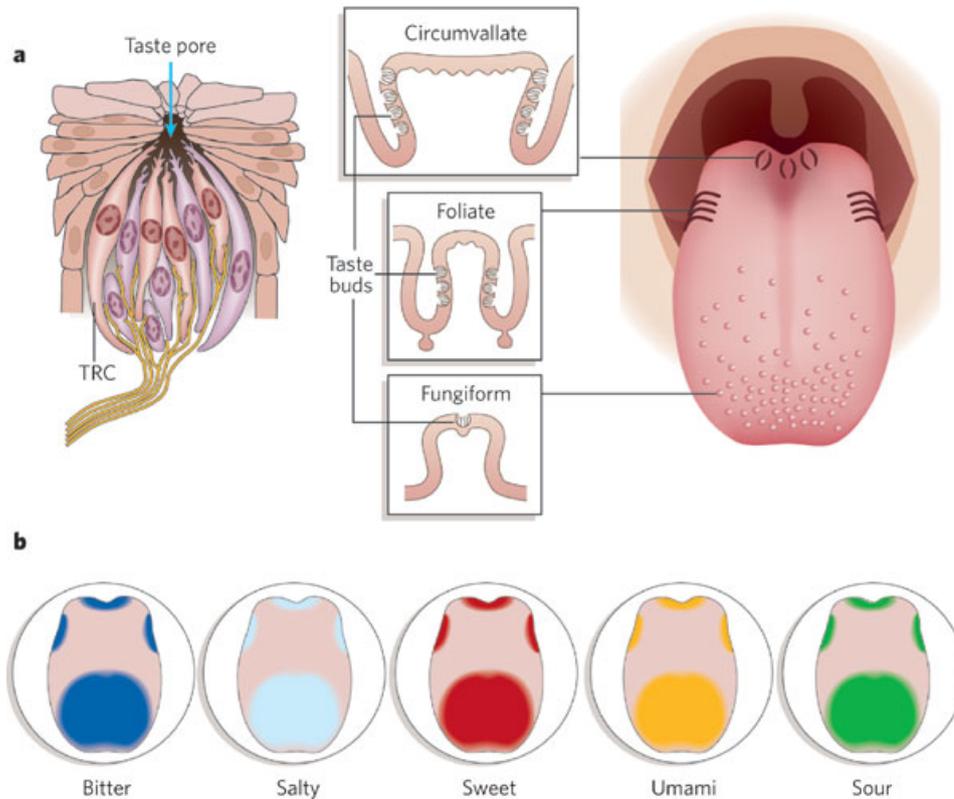


Abbildung 6: Geschmacksknospen und Geschmackspapillen
 a: Schematische Darstellung einer Geschmacksknospe und die Verteilung der verschiedenen Geschmackspapillen auf der Zungenoberfläche
 b: Zungenlandkarte mit Lokalisation der verschiedenen Geschmäcker - veraltete Annahme
 Quelle: [CHANDRASHEKAR et al., 2006]

Der Aufbau der Geschmacksknospen

Die eigentlichen Geschmacksorgane, die Geschmacksknospen, findet man überall in der Mundhöhle: am Gaumen, dem Rachen, hauptsächlich aber in den Gräben und Wänden der Geschmackspapillen in unterschiedlicher Zahl. So sind auf den Wallpapillen mehr als 100 Geschmacksknospen verteilt, auf einer Blattpapille findet man circa 50, Pilzpapillen haben gar nur 3-4. Eine Geschmacksknospe besteht aus ca. 30-100 Zellen, die knospenartig angeordnet sind und einen Porus unter der Epitheloberfläche ausbilden, also jene Seite die mit Geschmacksstoffen reagiert. Die Anzahl

der Geschmacksknospen verringert sich mit zunehmendem Alter. Bei den Zellen, die diese Knospe ausbilden, handelt es sich um Sinnes-, Stütz- und Basalzellen [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005]. Abbildung 6a zeigt den schematischen Aufbau einer Geschmacksknospe.

Die Geschmackssinneszellen

Geschmackssinneszellen haben eine Lebensdauer von ungefähr einer Woche. Nach ihrem Absterben werden sie von den in den Geschmacksknospen bereits vorhandenen Basalzellen ersetzt. Die Sinneszellen selbst sind bipolare dünne, lange Zellen; aus ihnen ragen Microvili auf die apikale Oberfläche der Knospe und bilden eine Geschmackspore aus. In der Membran der Mikrovili befinden sich die Geschmacksrezeptoren (siehe Abbildung 6a) [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005; LINDEMANN, 2001].

Die Rezeptorzellen

Die Rezeptorzellen sind Membranproteine, die in den Mikrovili beherbergt sind, die als molekulare Antennen für die chemische Umwelt dienen. Durch Bindung an Geschmacksmoleküle initiieren sie eine Transduktionskaskade, die Synapsen aktiviert und Nervenfasern anregt. Diese leiten die Signale zum Stammhirn, wo die zentrale Geschmacksverarbeitung beginnt und schließlich adaptive Rückmeldungen ausgelöst werden [LINDEMANN, 2001]. Die Abbildung 7 zeigt die verschiedenen Rezeptorzellen, die für die Vermittlung der fünf Geschmacksqualitäten verantwortlich sind. Im Folgenden sollen sie genauer beschrieben werden.

Rezeptorzellen für süßen Geschmack Süßer Geschmack reagiert auf lösliche Kohlenhydrate, die in ausreichender Konzentration in der Mundhöhle vorkommen und hochkalorische Nahrungsaufnahme andeuten. Forschern ist es gelungen, bei den hunderten süß schmeckenden Substanzen gemeinsame strukturelle Eigenschaften zu finden. Der süße Geschmackseindruck ist aber dennoch die Darstellung einer neuronalen Zündung im Gehirn und nicht etwa physikalische Eigenschaften

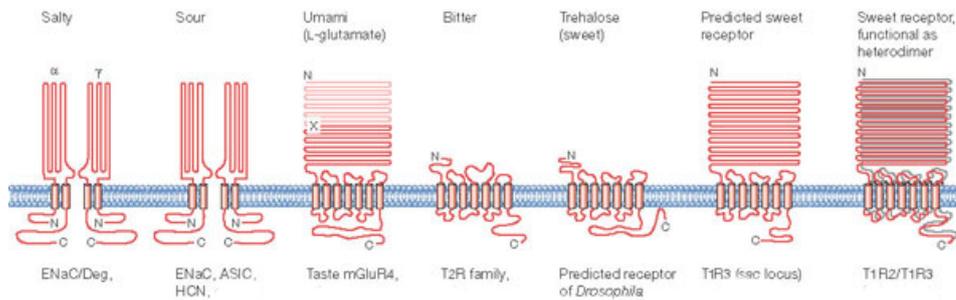


Abbildung 7: Darstellung der verschiedenen Geschmacksrezeptoren
Quelle: [LINDEMANN, 2001]

von Saccharose, wie man meinen könnte. Das Zusammenspiel der sensorischen Qualität, dem positiven hedonischen Wert und Verhaltensakzeptanz veranschaulicht, wie die Erkennung von süßem Geschmack und deren Wahrnehmung dabei hilft, die wichtigste Quelle für metabolische Energie zu erkennen.

Auf dem *Sac Locus* wurde der T1R3 Rezeptor gefunden, der eine lange Amino-terminale Domäne hat. Der definitive Beweis dafür, dass T1R2 und T1R3 die Hauptrezeptoren für süßes bei Säugern sind, konnte durch Studien an Mäusen erbracht werden. Bei T1R2 und T1R3 - Knockout-Mäusen fehlte die Antwort auf süße Reize [DAMAK et al., 2003; ZHAO, 2003]. Forscher fanden heraus, dass der Rezeptor allein nicht auf Süßstoffe reagierte. Aber es konnten Reaktionen gewonnen werden, als T1R3 gemeinsam mit T1R2 co-exprimiert wurde, was beweist, dass der erste funktionelle Süß-Rezeptor, der bei Säugern gefunden wurde, ein Dimer ist [CHANDRASHEKAR et al., 2006].

Rezeptorzellen für bitteren Geschmack Der bittere Geschmack warnt uns effektiv davor, potentiell gefährliche Substanzen zu uns zu nehmen. Der bittere Geschmack wird von einer Familie von ca. 30 hoch divergenten G-Protein gekoppelten Rezeptoren (T2R) vermittelt. T2R - Gene werden selektiv in Untereinheiten von Geschmacksrezeptorzellen exprimiert, die von jenen Geschmacksrezeptorzellen unterschiedlich sind, die süß- oder umami-Rezeptoren beinhalten. Sie liegen in den entsprechenden Genom-Regionen geclustert vor [MATSUNAMI et al., 2000; ADLER et al., 2000]. MUELLER et al. [2005] konnten durch Studien mit Knockout-Mäusen und Misexpressionen bei Mäusen beweisen, dass T2Rs hinlänglich notwendig für den bitteren Geschmack sind.

Mäuse, denen spezifische T2-Rezeptoren weggezüchtet wurden - zum Beispiel T2R5, ein möglicher Cyclohexamidrezeptor- haben auch die Fähigkeit verloren, verwandte Bitterstoffe zu schmecken. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass T2Rs für die selektive Antwort auf bittere Geschmacksstoffe notwendig sind und bestätigten T2Rs und T2R-exprimierende Zellen als die in-vivo- Mediatoren der Erkennung und Wahrnehmung der bitteren Geschmackseindrücke [MUELLER et al., 2005].

Die Unterschiede in der Empfindlichkeit und Trennschärfe bei den unterschiedlichen Spezies liegen wahrscheinlich in Sequenzunterschieden in deren entsprechendem T2R-Repertoire [SHI & ZHANG, 2006]. Eine Besonderheit in der Bitter-Rezeptor-Biologie ist die Erkenntnis, dass die meisten, wenn nicht alle T2Rs von den selben Geschmacksrezeptorzellen exprimiert werden [ADLER et al., 2000]. Das bedeutet, dass individuelle T2R-exprimierende Zellen als allgemein eingestellte Sensoren für alle bitteren Chemikalien fungieren können, aber sehr limitierte Unterscheidungsvermögen aufweisen [ZHANG et al., 2003].

All diese toxischen Bestandteile rufen so ähnliche Geschmacksempfindungen hervor, die wir nur als bitter wahrnehmen. Untersuchungen lassen darauf schließen, dass die Bitter-Geschmacksrezeptoren von großen Genfamilien kodiert werden und dass die Geschmacksqualität "bitter" für die Erkennung einer großen Bandbreite an Chemikalien zuständig ist, aber nicht notwendigerweise zwischen ihnen unterscheiden können muss [CHANDRASHEKAR et al., 2006].

Rezeptorzellen für umami Geschmack Umami ist der dominierende, pikante Geschmack von Speisen, die Aminosäuren enthalten, wie Hühnerbrühe, reifer Käse, Fleischextrakte. Beim Menschen können jedoch nur zwei Aminosäuren den typischen umami-Geschmack hervorrufen, nämlich Mononatriumglutamat und Aspartat. Die eher bekannte Aminosäure L-Glutamat kündigt also die Aufnahme von Proteinen und Peptiden an von denen sie durch Proteolyse abgetrennt wird. Der charakteristische geschmacksverstärkende Effekt entsteht durch das Vorhandensein von Purin 5'-Ribonucleotiden wie Inosinmonophosphat IMP und Guanosinmonophosphat GMP, die auch in verwesenden biologischen

Gewebe vorhanden sind. Diese Substanzen potenzieren den umami-Geschmack [NELSON et al., 2002; LI et al., 2002].

Die Studien an Knockout-Mäusen bestätigen den heterodimeren T1R1+T1R3-G-Protein gekoppelten Rezeptor-Komplex als Umami-Geschmacksrezeptor, denn homozygote Mutanten mit einem Fehlen einer der beiden Rezeptoren zeigten überwiegenden Geschmacksverlust einschließlich aller Reaktionen auf IMP und Vorliebe für Mononatriumglutamat [DAMAK et al., 2003; ZHAO, 2003]. Weitere Studien an Nagetieren haben gezeigt, dass die G-Protein gekoppelten Zellrezeptoren (T1R1 und T1R3) sich verbinden um einen allgemein eingestellten L-Aminosäuren-Rezeptor zu bilden [NELSON et al., 2002].

Rezeptorzellen für sauren Geschmack Der saure Geschmack hilft unreife Früchte und vergammeltes Essen zu erkennen und Textur-Beeinträchtigungen und Probleme der Säure-Basen-Regulation zu vermeiden. Eine große Bandbreite an Zelltypen, Rezeptoren und Mechanismen werden für sauren Geschmack verantwortlich gemacht. Diese beinhalten die Aktivierung von durch Hyperpolarisation-aktivierten und durch zyklische Nucleotide gesteuerten Kanälen (HCN-Kanäle) [LIN et al., 2004], H⁺gerichtete Ca-Kanäle, das Mitspielen von Na⁺/H⁺-Austauschern [LYALL et al. 2004] und die Säure-Inaktivierung von K⁺-Kanälen [CUMMINGS & KINNAMON, 1992]. Das Säureempfinden ist ebenfalls notwendig zum Beispiel fürs Monitoring des CO₂-Spiegels im Blut und des Status in der Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit [VIGH et al., 2004].

HUANG et al.[2006] zeigen, dass PKD2L1 selektiv in neuronalen Populationen exprimiert wird, die verbunden sind mit dem zentralen Kanal des Rückenmarks, die schon bei geringen Veränderungen der Protonenkonzentration Antwortreaktionen zeigen. Neuronen fungieren also als Sensoren des cerebrospinalen und ventriculären pH-Werts und verursachen so eine Einigkeit in der zellulären Basis der pH-Empfindung in verschiedenen physiologischen Systemen.

Rezeptorzellen für salzigen Geschmack Der salzige Geschmack leitet NaCl und andere benötigte Mineralien und ist somit ein essentieller Faktor der Homöostase des Ionen-Wasserhaushalts. Obwohl salziger Geschmack

von vielen Ionenarten hervorgerufen wird, ist jener Teil mit den Na-Ionen der am besten untersucht, weil er für die Säugetiere wahrscheinlich der bedeutungsvollste ist.

Es wird vermutet, dass ein Na-Kanal, der empfindlich auf den Kanal-Blocker Amilorid ist, als Salz-Rezeptor dient. Dieser Amilorid-sensitive Natriumkanal ist ein hetero-oligomeres Komplex der drei homologe Untereinheiten beinhaltet. Er agiert als Salz-Geschmacksrezeptor indem er spezifische Leitungen für den Natriumstrom in Geschmackszellen liefert, vorausgesetzt, Natrium ist im Mundraum in ausreichender Konzentration vorhanden [KRETZ et al., 1999]. Der Strom löst Aktionspotentiale an der basolateralen Membran von Geschmackszellen aus, gefolgt von synaptischen Ereignissen [CHANDRASHEKAR et al., 2006; LINDEMANN, 2001].

Die Identität dieses "Salz-Rezeptors" ist jedoch höchst spekulativ und kontroversiell [HECK et al., 1984; AVENET & LINDEMANN, 1988]. Die Erkenntnisse beruhen auf Studien mit Ratten, sind aber nicht komplett umlegbar auf den Menschen.

CD36 als potentieller Fettgeschmacksrezeptor Das Glucoprotein CD36 war bisher als Transporter für langkettige Fettsäuren bekannt. Französische Forscher fanden heraus, dass es für die Beliebtheit Lipid hältiger Speisen verantwortlich sein kann, dass es als Fettgeschmacksrezeptor dienen kann. An einer Studie an Knockout-Mäusen und Ratten zeigte sich, dass Mäuse ohne CD36-Gen weniger zu den fetten Speisen, vor allem jene mit langkettigen Fettsäuren, tendierten als jene, bei denen CD36 exprimiert wurde. Die übrigen Geschmacksqualitäten (sauer und bitter) blieben unbeeinflusst [LAUGERETTE et al., 2005]. Die Eigenschaften von CD36 als Fettgeschmacksrezeptor sind noch nicht vollständig anerkannt. Bisher wurde der Fettgeschmack nur den oral-trigeminalen Eindrücken der Texturwahrnehmung und retronasalen Inputs zugeschrieben [MELA, 1988].

Es besteht ein weiterer Hinweis dafür, dass CD36 auch die Fettverdauung beeinflusst, indem es die Ausschüttung von Verdauungssäften im Pankreas stimuliert. CD36 ist an der apikalen Seite der Geschmacksknospen auf den wallförmigen Papillen lokalisiert [LAUGERETTE et al., 2005].

CaSR als möglicher Rezeptor für Calcium-Geschmack Eine amerikanische Forschungsgruppe um TORDOFF & SANDELL [2009] konnte bei Mäusen mit CaSR (Calcium Sensing Receptor) einen möglichen Geschmacksrezeptor für Calcium identifizieren. Weiters konnte herausgefunden werden, dass der für süß und umami zuständige Rezeptor T1R3 ebenfalls auf Calcium reagiert. Knockout - Mäuse bei denen T1R3 entfernt wurde, verloren sowohl ihre Vorliebe für süß, als auch ihre Aversion gegen Calcium.

Der Calcium-Geschmack wird als bitter und etwas sauer beschrieben. Er gehört also nicht zu den Geschmacksrichtungen, die Genuß auslösend wirken. Interessant ist die Entdeckung des Calcium-Geschmacksrezeptors hinsichtlich der Bedeutung von Calcium in der Ernährung, im Speziellen der Ernährung von Senioren, da es eine wesentliche Rolle im Knochenstoffwechsel spielt. Altersbedingtem Knochenschwund kann durch höhere Calciumaufnahme über 1000 mg pro Tag entgegengewirkt werden [IOM 1997].

Die Calciumversorgung der Bevölkerung wird in vielen Ländern als problematisch angesehen. Der österreichische Ernährungsbericht zählt Calcium bei Senioren zu Risikonährstoffen [ELMADFA et al., 2003], der schweizerische Ernährungsbericht spricht von einer Unterversorgung von 50% der Bevölkerung [SGE, 2005] und auch in Amerika wird die Calciumversorgung als ungenügend bewertet [FAO, 2009]. Mit einer Verbesserung des Geschmacks calciumreicher Nahrungsmittel könnte die Beliebtheit dieser Lebensmittel und somit auch deren Konsum gesteigert werden [TORDOFF & SANDELL, 2009].

4.2.2 Die Physiologie des Geschmackssystems

Signaltransduktion

Durch Depolarisation der Zellmembran im basolateralen Bereich werden von der Geschmackssinneszelle Botenstoffe in den synaptischen Spalt freigesetzt. Die verschiedenen Moleküle nützen für das Hervorrufen der Geschmackseindrücke unterschiedliche Transduktionswege. Generell kann man zwischen ionischen und komplexeren Geschmacksstoffen

unterscheiden und somit auch Transduktionswege, die mittels Rezeptoren (metabotroper Mechanismus) und Ionenkanälen (ionotroper Mechanismus) funktionieren.

Die Rezeptoren für Zucker, Bitterstoffe und L-Aminosäuren gehören zu den G-Protein gekoppelten Rezeptoren und haben auch ähnliche Transduktionswege. Die Phospholipase PLC β 2 wird durch ein G-Protein aktiviert, worauf sie Intrazelluläres Ca $^{2+}$ über IP $_3$ (Inositoltriphosphat) freisetzt. TRPM5 ist ein Ionenkanal für süß, umami und bittere Bahnen, der durch diesen Vorgang aktiviert wird und zusätzliches Ca $^{2+}$ einströmen lässt. Die Folge daraus ist Depolarisation.

Die Rezeptoren für sauren und salzigen Geschmack fungieren als Ionenkanäle für Na $^{+}$ und H $^{+}$. Depolarisation erfolgt nach Einstrom der Na-Ionen bzw. Protonen in die Geschmackszellen. Die Signaltransduktionsvorgänge der verschiedenen Geschmacksqualitäten werden in der Abbildung 8 dargestellt.

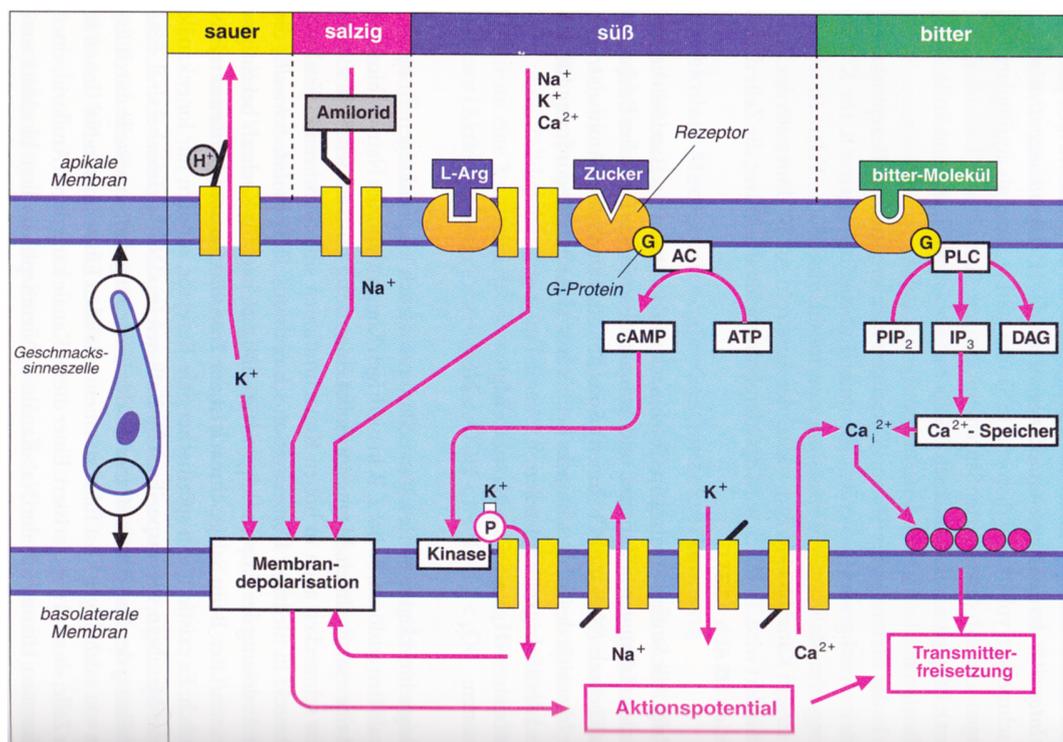


Abbildung 8: Gustatorische Signaltransduktionsvorgänge
Quelle: [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005]

Die Kodierung der Geschmacksqualitäten

Es gibt zwei entgegengesetzte Sichtweisen über die Kodierung der Geschmacksqualitäten in der Peripherie: das Labelled Line-Modell und die across-fibre-patterns.

Das labelled line modell Das labelled-line-modell (Abbildung 9a) besagt, dass Rezeptorzellen darauf abgestimmt sind, nur auf eine der Geschmacksmodalitäten zu antworten, süß, sauer, salzig, bitter oder umami. Die Rezeptorzellen werden von individuell angepassten Nervenfasern innerviert, das bedeutet, jede Geschmacksqualität ist durch die Aktivität von sich nicht überschneidenden Zellen und Fasern vorgegeben. Dieses Modell ist aber nicht bewiesen, da viele Nervenfasern vielseitig abgestimmt sind bezüglich der Liganden [CHANDRASHEKAR et al., 2006; LINDEMANN, 2001].

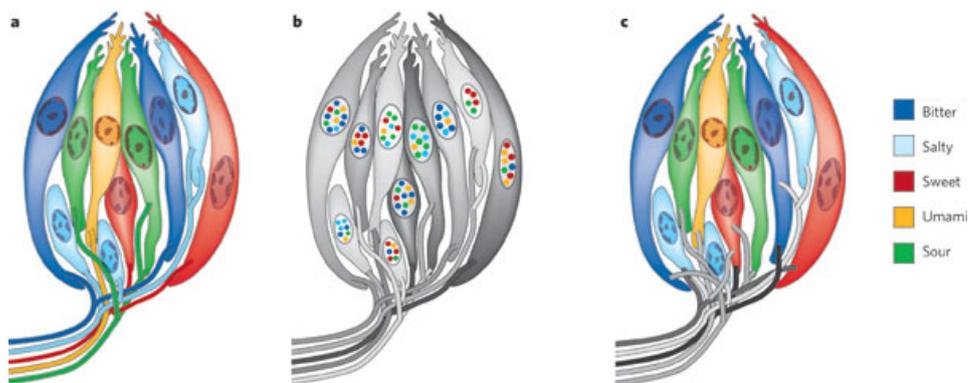


Abbildung 9: Labelled-line-model und across-fibre-pattern
 Quelle: [CHANDRASHEKAR et al., 2006]

Das across-fibre-pattern Across-fibre-patterns sagen aus, dass jede Geschmacksrezeptorzelle auf verschiedene Geschmacksqualitäten abgestimmt ist und (Abbildung 9b) die selbe afferente Faser die Information für mehr als eine Geschmacksmodalität trägt oder (Abbildung 9c) dass Geschmacksrezeptorzellen immer noch nur für eine Geschmacksqualität abgestimmt sind, aber die selbe afferente Faser Informationen für mehrere Geschmacksmodalitäten weiterleitet. In diesen Modellen ist die Spezifizierung der Geschmacksqualitäten in ein komplexes Muster

von sich überschneidenden Linien eingebettet [CHANDRASHEKAR et al., 2006].

4.2.3 Die Funktion des Geschmackssinnes

Der Geschmackssinn ist verantwortlich für die Beurteilung des nahrhaften Inhalts der Nahrung. Durch chemische Analyse soll die Aufnahme toxischer Substanzen verhindert und der Körper auf die Zufuhr bestimmter Nährstoffe vorbereitet werden. Durch süßen Geschmack werden hoch energetische Nahrungsbestandteile wie Zucker, künstliche Süßstoffe und süße Aminosäuren identifiziert, umami erlaubt die Identifizierung von Aminosäuren und Nucleotiden; durch salzigen Geschmack wird die nahrungsbezogene Elektrolytbilanz sichergestellt, saure und bittere Geschmacksstoffe warnen den Körper vor potentiell toxischen oder verdorbenen Substanzen. Beim Menschen hat der Geschmackssinn auch durch Beteiligung an der Aromawahrnehmung noch den Zusatznutzen, Genuss und Freude an einer Mahlzeit zu vermitteln. Besonders der süße und umami Geschmack vermitteln Genuss bei der Nahrungsaufnahme. Die ähnliche Wirkung der beiden zeigt sich auch durch ihr gemeinsames Rezeptor-Repertoire, das denselben evolutionären Ursprung teilt.

Obwohl wir eine große Bandbreite an chemischen Eigenschaften schmecken können, können diese nur die fünf erwähnten Geschmacksempfindungen auslösen. Auch wenn das Repertoire bescheiden wirkt, ist es dennoch an den evolutionären Nutzen angepasst, nämlich dabei zu helfen die Schlüsselbestandteile der Nahrung zu unterscheiden und zu erkennen [CHANDRASHEKAR et al., 2006].

4.3 Der Sehsinn

In den Photorezeptoren werden einzelne Lichtquanten von Pigmentmolekülen, so genannten Rhodopsinen absorbiert. Diese großen Transmembranproteine besitzen einen kovalent gebundenen Chromophor. Bei der Absorption eines Quants kommt es zu einer Konformationsänderung im Rhodopsin wodurch biochemische Folgereaktion über Second-Messenger ausgelöst werden, die das Schaltverhalten von Ionenkanälen in den Zellmembranen beeinflussen [REICHERT, 2000].

Bevor es zur eigentlichen Prüfung eines Lebensmittel durch Geruch und Geschmack kommt, fällt die erste Beurteilung bereits durch das Auge. Aussehen, Form und Farbe können bereits Assoziationen über Qualität und Genusstauglichkeit bzw. -untauglichkeit erwecken. Die Farbe gibt Auskunft über die Frische oder den Gehalt an wertbestimmenden Zutaten. Verfärbungen, Abweichung von der typischen Form und Aussehen (zum Beispiel durch Aufblähen, Einfallen, Veränderungen der Oberfläche oder Struktur) können auf verminderte Qualität hinweisen [FLIEDNER & WILHELMI, 1993].

4.4 Der Gehörsinn

Die auditive Wahrnehmung betrifft die Sinneswahrnehmung von Schallschwingungen aus der Umwelt. Das Außen- und das Mittelohr sind verantwortlich für die Aufnahme und Weiterleitung des Schalls an das Innenohr. Dort werden die Schallreize in neuronale Impulse umgewandelt und vom Hörnerv ans das Gehirn weitergeleitet.

Diese mikromechanischen Vorgänge passieren im Corti-Organ. Dieses besteht aus Haarzellen mit Stereozilien, Stützzellen und der Basilarmembran. Das Organ ist mit Endolymphe gefüllt. Die äußeren Haarreihen des Corti-Organ dienen dem Vorfiltern und der Verstärkung der Schallwellen. Die Stereozilien der inneren Haarreihen werden bei Bewegung der Flüssigkeit mitgenommen und die Auslenkung der Stereozilien leitet den mechanoelektrischen Transduktionsprozess ein. Die Bewegung der Zilien erlaubt einen Einstrom von K^+ -Ionen der Endolymphe in das Zytoplasma der Haarzelle, die hohe Kaliumionenkonzentration bewirkt eine Depolarisation und somit ein Sensorpotential [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005].

Das Krachen von knusprigen Lebensmitteln wie Chips oder Keksen, Sprudeln von Flüssigkeiten oder Knacken von Nüssen geben Auskunft über den Frischegrad und Konsistenz von zu prüfenden Lebensmitteln [FLIEDNER & WILHELMI, 1993].

4.5 Der Tastsinn

Der Hautsinn umfasst die Thermozeption, das Schmerzempfinden (Nozizeption) und die Mechanozeption. Die Rezeption von mechanischen Eindrücken kann man weiters aufteilen auf die Wahrnehmung von taktilen Empfindungen wie Berührungen mit Mund und Händen, sowie von kinästhetischen Eindrücken. Darunter versteht man die dynamischen Sinneseindrücke, die bei Kau- und Handbewegungen entstehen.

Bei Mechanorezeptoren bewirken spezielle Ionenkanäle die Energiewandlung von mechanischen Reizen in elektrische Signale. Ein Beispiel dafür sind Haarzellen. Charakteristisch für diesen Zelltyp sind die durch Aktinfilamente gestützten, microviliartigen Zellmembranausstülpungen auf der apikalen Zellseite, so genannte Stereozilien. Gerichtete mechanische Deformation dieser Stereozilien bewirkt ein Rezeptorpotential in der Zelle, dieses wird elektronisch zur basalen Seite der Haarzelle geleitet, wo es an der Synapse zur Freisetzung entsprechender Transmitter kommt.

Freie Nervenenden in der Haut, die in Warm- und Kaltpunkte unterteilt werden können, vermitteln die Thermozeption. Die Aktivierung von TRP-V1-Rezeptoren durch Erwärmung führt zur Öffnung von Kationenkanälen, was ein Sensorpotential verursacht. Die Vermittlung von Kälte passiert durch TRP-M8-Rezeptoren, die auch von Methanol aktiviert werden können, weswegen Alkohol ebenfalls als kalt empfunden wird [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005].

Die Aktivierung von Nozirezeptoren erfolgt durch Reize, die das Gewebe schädigen oder zu schädigen drohen, wie mechanische und chemische Reize sowie Hitze. Capsaicin zum Beispiel aktiviert VR1-Rezeptoren, der beim Genuss von Chili oder verwandten Lebensmitteln den Brennschmerz am *Nervus trigeminus* verursacht. Noxische und mechanisch ausgelöste Empfindungen verursachen die Öffnung von Kationenkanälen in der Membran, was zur Depolarisation der Nervenendigungen führt. Der stechende Geruch und Geschmack von Säuren ist ebenfalls durch Nozizeptoren des Trigemini-nervs bedingt. Bei einem Abfall des pH werden pH-sensitive Na-Kanäle geöffnet und dadurch Sensorpotentiale ausgelöst [REICHERT, 2000].

Tasten der Oberfläche oder Textur, Zerdrücken mit der Zunge liefern eventuell bereits vorab Informationen auf das Mundgefühl. In der sensorischen Lebensmittelprüfung hat der Tastsinn eher untergeordnete Bedeutung [FLIEDNER & WILHELMI, 1993].

4.6 Der Einfluss und das Zusammenspiel der einzelnen Sinne

Integrale Komponente unserer Erfahrung geht aus allen Submodalitäten des somatosensorischen Systems hervor: Feingefühl, Cremigkeit, Tiefensensibilität (Propriozeption), Temperatur, Schmerz - zum Beispiel ausgelöst durch Chilis - oder die Adstringenz, beispielsweise bei trockenen Weinen, verleihen der Speise Körper. Mithilfe der Gehirnbildgebung wird geforscht wie Geruch und Geschmacks-Leitungsbahnen bei Menschen funktionieren –einzeln und miteinander kombiniert [SMALL et al., 2005; SHEPHERD, 2006]. Abbildung 10 zeigt, auf welche Systeme im Gehirn die einzelnen Sinnesmodalitäten einwirken. Sie tragen zur Vermittlung des Flavours bei und steuern die Nahrungsauswahl.

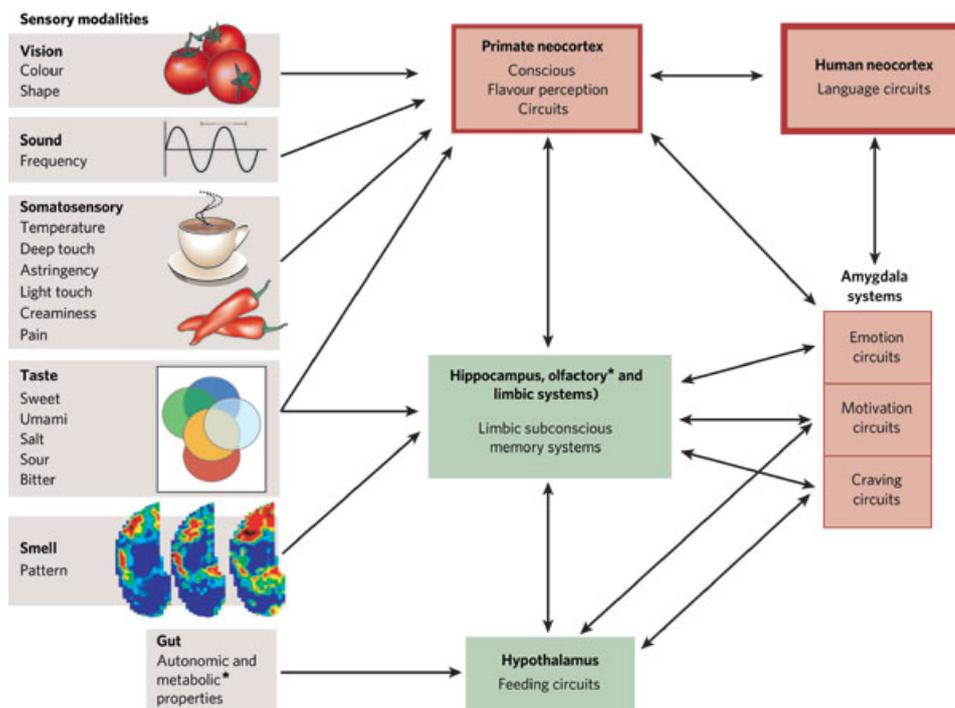


Abbildung 10: Verschiedene Aspekte der Nahrungsmittelauswahl
Quelle: [SHEPHERD, 2006]

Die Flavourwahrnehmung ist eines der komplexesten Gebiete des menschlichen Verhaltens. Sie involviert alle Sinne, besonders den Geruchssinn, der Geruchsbilder, die durch olfaktorische Signalwege generiert wurden, verursacht. Im menschlichen Gehirn sind die Wahrnehmungssysteme eng verbunden mit den Systemen, die für Lernen, Gedächtnis, Emotionen und Sprache zuständig sind, sodass verteilte neurale Mechanismen zur Bevorzugung von und Gier nach Nahrungsmitteln beitragen können [SHEPHERD, 2006].

5 Flavour

Nach DIN 10950 wird der Begriff Flavour folgendermaßen definiert: “Flavour umfasst die Gesamtheit der Sinneseindrücke, die vom olfaktorischen und gustatorischen Organ sowie haptisch mit der Zunge, Mundhöhle und Rachen empfangen werden.” Die einzelnen Sinneswahrnehmungen, die für das Zustandekommen des Flavours notwendig sind, werden in Abbildung 11 dargestellt.

5.1 Das Aroma - der Gesamtgeruchseindruck

Aroma bezeichnet die gesamten olfaktorischen Eindrücke, die sowohl ortho- als auch retronasal über die Geruchsrezeptoren wahrgenommen werden. Weiters tragen die nasal-trigeminalen Eindrücke zum Aromaempfinden bei [FLIEDNER & WILHELMI, 1993]. An der Aromawahrnehmung und Verhaltensreaktionen auf Aromen ist ein beachtlicher Teil der bereits angesprochenen vergrößerten Gehirn-Kapazität beteiligt [SHEPHERD, 2004]. Die Axone der Sinnesneurone im olfaktorischen Epithel projizieren zum *Bulbus olfactorius* wo sie auf Glomeruli konvergieren. Dies wird in der Abbildung 2 verdeutlicht.

5.1.1 Gustatorischer und nasaler Geruch

Wie bereits in Kapitel 4.1.4. beschrieben, können Gerüche über zwei Wege wahrgenommen werden. Das orthonasale Riechen wird auch als nasaler

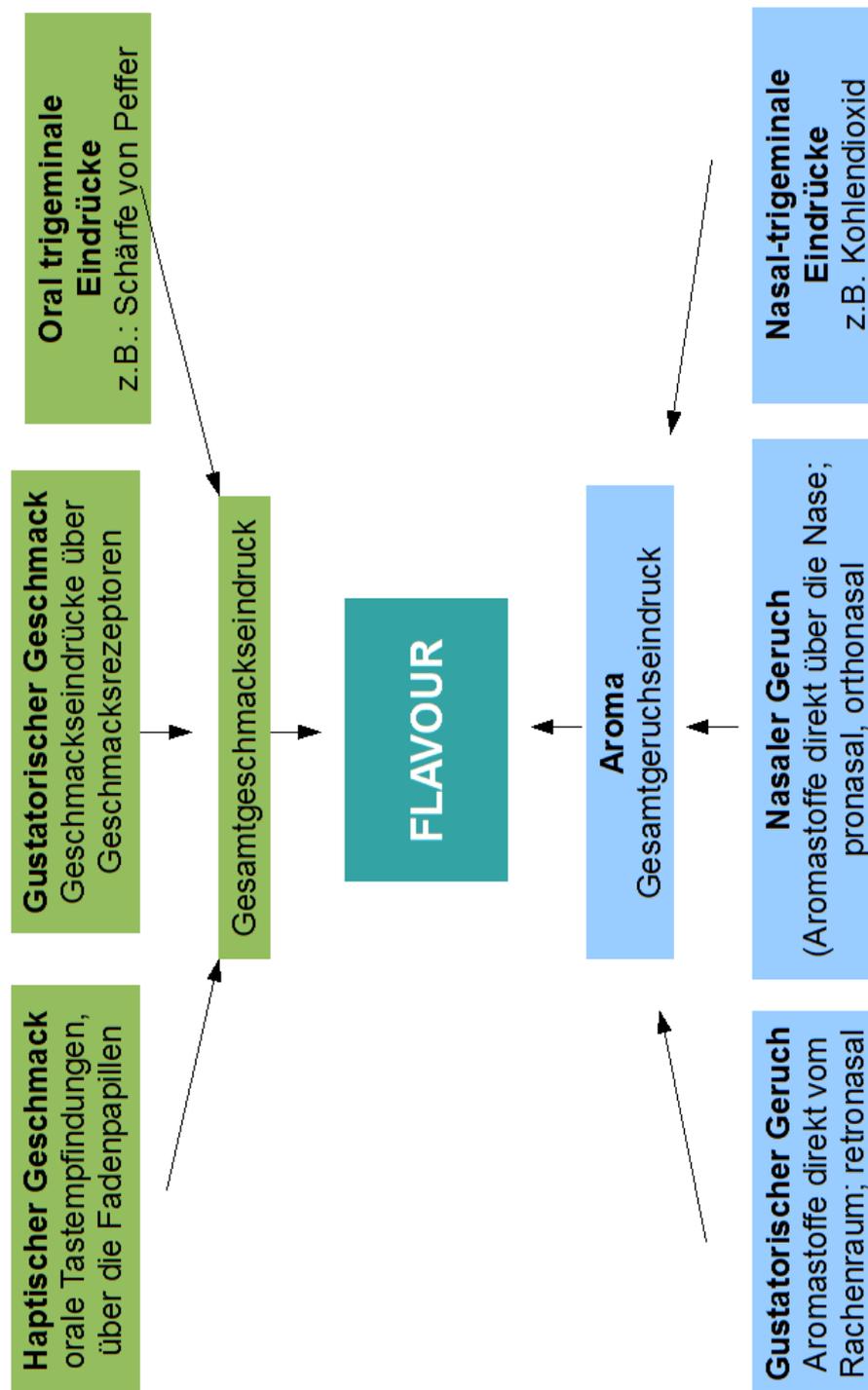


Abbildung 11: Flavour - die Gesamtheit der Sinneseindrücke
 Quelle: [MAJCHRZAK, 2009]

Geruch bezeichnet, bei dem die Duftstoffe die Nasenschleimhaut direkt über die Nase erreichen. Beim gustatorischen Geruch werden Substanzen aus dem Mund- und Rachenraum wahrgenommen, die zum Teil dort erst durch Kauen oder die Wärme der Mundhöhle freigesetzt werden und von dort auf das olfaktorische Epithel treffen. Sie werden retronasal wahrgenommen.

5.1.2 Trigeminale Geruchseindrücke

Der Trigemminusnerv vermittelt Empfindungen des Gesichtsbereichs. Seine freien Nervenenden liegen somit unter anderem auch in der Schleimhaut der Nase und Mundhöhle. Sie reagieren sowohl auf nozizeptive Reize aber auch auf verschiedene Duftstoffe, wenn auch erst in hohen Konzentrationen. Der *Nervus trigeminus* trägt 30% zur olfaktorischen Empfindungsintensität bei. Die stechend, beißenden, kitzelnden bzw. Niesreiz auslösenden Eindrücke die der Geruch von zum Beispiel HCl, Ammoniak oder Chlor auslösen, sind typische nasal-trigeminalen Reize [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005; LASKA et al., 2000].

5.2 Der Gesamtgeschmackseindruck

Geschmack ist der offensichtlichste Teil des Flavours. Er setzt sich zusammen aus den gustatorischen Geschmackseindrücken, dem haptischen Geschmack, sowie oral trigeminalen Inputs. Beim Menschen steigt die Geschmacksleitungsbahn vom Nucleus des solitären Trakts im Hirnstamm zum Hypothalamus und zu den Geschmacksarealen des somatosensorischen Thalamus und von dort zu primären Geschmackscortex. Eine Schlüssel-Tatsache über die Geschmacksstimuli ist, dass sie die grundlegendsten menschlichen Emotionen von Genuss (süß) und Ekel (bitter) auslösen, die nicht angelernt sind, sondern von Geburt an fest verankert sind [SCALERA et al., 1997]. Im Gegensatz zum Geschmack scheinen die gefühlsbezogenen Reaktionen auf Geruchsbilder meist angelernt zu sein, was möglicherweise die enorme Diversität vom Aromaeindrücken begründet [SHEPHERD, 2006].

5.2.1 Haptische Eindrücke

Der haptische Geschmack umfasst die oralen Tastempfindungen, die über die Fadenpapillen der Zunge aufgenommen werden. Es sind keine geschmacklichen Reize an dieser Empfindung beteiligt, sondern taktile, propriozeptive, nozizeptive und Temperatur-Reize, die von Lippen, Zunge, Mund- und Rachenraum wahrgenommen werden und Information über die Beschaffenheit, Oberfläche, Temperatur und das Mundgefühl vermitteln [FLIEDNER & WILHELMI, 1993; GRUNWALD & BEYER, 2001].

5.2.2 Trigeminale Geschmackseindrücke

Oral-trigeminale Eindrücke sind beispielsweise prickelnd (Kohlensäure), kühlend (Menthol), brennend, frisch, adstringierend, scharf (Pfeffer, generell Capsaicin) oder heiß. Die Bedeutung des Trigemini-nervs in der Flavourwahrnehmung wurde oft unterschätzt. Pilzpapillen haben zum Beispiel dreimal mehr Verbindungen zum *Nervus trigeminus* als zu gustatorischen Neuronen. Die in hoher Dosis oft als unangenehm empfundenen Reaktionen können angelernt oder angewöhnt werden, da es bei häufiger Reizung zu einer Abnahme der Empfindlichkeit kommt. Eine weitere Funktion des Trigemini-nervs ist die Verstärkung der Speichelproduktion [SCHMIDT & SCHAIBLE, 2005; LASKA et al., 2000].

Aktuelle Neuroimaging-Untersuchungen zeigen, dass angenehmere Gerüche bevorzugt mediäre orbitofrontale Regionen des Gehirns aktivieren wobei unangenehmere eher laterale Regionen aktivieren [ANDERSSON et al., 2003; ROLLS et al., 2003].

Wie der Sinneseindruck durch Erfahrung und Erwartungshaltung beeinflusst wird, zeigt eine aktuelle Studie: Dabei wurde ein Duftstoff einmal als "Körpergeruch" und einmal als Cheddarkäse bezeichnet und daher unterschiedlich -nämlich einmal als unangenehm und dann als angenehm-bewertet [DE ARAUJO et al., 2005].

6 Faktoren, die die Sinneswahrnehmung beeinflussen

Chemosensorische Veränderungen sind das Resultat aus der Kombination von Faktoren wie Alter, Krankheiten, Medikamente und Umwelt. Anorexie, Veränderungen in der Ernährungsweise und Gewichtsverlust assoziiert mit schwacher Gesundheit sind allgemeine Gegebenheiten in der älteren Bevölkerung, wobei Veränderungen in der chemosensorischen Wahrnehmung als wichtige Komponenten dazu beitragen [FANELLI & STEVENHAGEN, 1985; WILSON & MORLEY, 2003].

Sensorische Faktoren gelten als wichtige Determinanten für Appetit und Nahrungsmittelauswahl. Es gibt noch wenige Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Körpergewicht und sensorischem Vermögen.

Es wurden hierzu Geruchserkennungs- und Geruchsidentifikationstests, Geschmackserkennungstest, gemessenes Körpergewicht und dem selbst angegebenen herangezogen. Bei $BMI \geq 28$ waren die Werte der Geruchserkennung und -identifikation geringer als bei Teilnehmern mit $BMI < 28$. Bei den Teilnehmern über 65 Jahren waren die Werte höher wenn der $BMI < 28$ war. Unterschiede in der Geschmackswahrnehmung konnten dem sauren und bitteren Geschmack zugeschrieben werden, aber nicht dem süßen und salzigen. Die Beziehung zwischen sensorischen Fähigkeiten und dem BMI ist altersabhängig. Bei den unter 65jährigen waren die sensorischen Fähigkeiten der übergewichtigen Teilnehmer verglichen mit den normalgewichtigen schlechter, ab dem 65 Lebensjahr verhielt es sich genau umgekehrt. Die übergewichtigen Teilnehmer zeigten ein besseres sensorisches Vermögen als die normalgewichtigen [SIMCHEN et al., 2006].

Dies könnte ein deutliches Zeichen dafür sein, dass sich der altersbedingte Geschmacksverlust ab einem gewissen Alter auf die Ernährung auswirkt, da diejenigen, die bei den sensorischen Tests gute Resultate erzielen konnten, auch höheren BMI aufwiesen. Wer also das Essen tatsächlich schmeckt, isst auch mehr.

Mögliche Gründe für Anorexie und Sarkopenie bei älteren Personen sind in der Abbildung 1 zusammengefasst. Dabei handelt es sich um Medikamente, Emotionale Ursachen wie Depressionen, Alkoholkonsum, altersbedingte

Paranoia, Schluckbeschwerden, orale Probleme, nosokomiale Infektionen, Verwirrung und demenzassoziierte Verhaltensweisen, Hyperthyroidismus, Hyperkalzämie, enterale Probleme, Schwierigkeiten beim Essen, therapeutische Diäten mit salz- oder fettarmem Ansatz, Probleme beim Einkaufen und der Nahrungszubereitung. Die Anfangsbuchstaben der Faktoren ergeben das Merkwort "meals on wheels".

Tabelle 1: Mögliche Gründe für Gewichtsverlust bei älteren Menschen
Quelle: [MORLEY, 2001]

<p>Medikamentennebenwirkungen Emotionale Probleme (hauptsächlich Depression) Anorexia Nervosa oder Alkoholismus Late-life-Paranoia Schluckstörungen, Dysphagie</p> <p>Orale Faktoren (z.B.: schlecht sitzende Prothesen) Niedriges Einkommen, Geldsorgen</p> <p>Wandering (Demenz-abhängiges Verhalten, herumirren) Hyperthyroidismus, Hyperparathyroidismus, Hypoadrenalismus Enterale Probleme (z.B.: Malabsorption) Eigenständige Nahrungsaufnahme wird zum Problem Low salt: Salzarme Diät oder Cholesterinarme Diät Soziale Probleme (Isolation)</p>
--

Schätzungen zufolge leiden 1,65% der Erwachsenen an chronischen chemosensorischen Problemen. Schwierigkeiten beim Riechen treten in 1,4% der Fälle, geschmackliche Probleme bei 0,6% auf. 40% der Personen mit Problemen in der Chemosensorik sind älter als 65 Jahre. Die Geruchswahrnehmung nimmt mit dem Alter ab. Es wird berichtet, dass mehr als 75% der über 80jährigen unter deutlicher Verschlechterung des Geruchssinnes leiden und dass diese merklich nach dem 70. Lebensjahr einsetzt [DOTY et al., 1984].

Eine aktuellere Studie spricht von 62,5% der 80-97jährigen mit vermindertem Geruchssinn [MURPHY et al. 2002]. Es handelt sich um einen Verlust in der Schwellenwahrnehmung, der überschwelligen Wahrnehmung und der Identifikation von überschwelligen Konzentrationen im Alter [MURPHY et al., 1990]. MORLEY [2001] konnte einen longitudinalen Abfall in der Geruchserkennung über 3 Jahre feststellen. Dieser Abfall konnte vor Allem bei den Achtzigjährigen beobachtet werden.

Die Geruchsfunktion verschlechtert sich zum Großteil bei den Personen mit Demenz, Sinusitis ist ebenfalls assoziiert mit Abfall im Geruchssinn.

MACKAY-SIM et al. [2006] führten in Australien eine Studie zum Thema Presbyosmie durch. Die Studienpopulation (n=942) wurde in zwei Gruppen geteilt. Der Gruppe "included" gehörten 485 gesunde Nichtraucher an, die keine Medikamente einnahmen und in der Anamnese keine nasalen Probleme aufzeigten. In die Gruppe "excluded" wurden Teilnehmer aufgenommen, die entweder rauchten, Medikamente einnahmen oder Probleme mit den oberen Atemwegen hatten. Bei der Gruppe "included" zeigte sich eine starke Beziehung zwischen der selbst berichteten Geruchsempfindlichkeit und den Werten im Geruchsfunktionstest. Die Teilnehmer dieser Gruppe zeigten einen kleinen aber signifikanten Abfall in der Riechfähigkeit ab dem 65. Lebensjahr und einer besseren Riechleistung bei Frauen als bei Männern. Daten der Unterpopulation "excluded" wiesen einen signifikanten Abfall der Riechfähigkeit ab dem 65. Lebensjahr auf, zeigten keine Unterschiede zwischen Männern und Frauen mehr auf und eine schwache Beziehung zwischen selbst bemerktem Verlust der Geruchsempfindlichkeit und den Ergebnissen des Geruchsfunktionstest.

Geschmackliche Dysfunktionen sind verbunden mit einer Verminderung des Speisengenusses, Nahrungsmittelauswahl, Ernährungsstatus und Gewichtsverlust [KOSKINEN et al., 2005]. Zusätzliches Aromatisieren der Speisen steigert nicht nur die Präferenz für Nahrungsaufnahme sondern bewirkt auch Verbesserung des Speichelflusses und verbessert den immunologischen Status und Stärke des Handgriffs [SCHIFFMAN & MILETIC, 1999]. Auch die Anorexie wird zurückgedrängt, wenn zusätzliche Aromen die verminderte chemosensorische Funktion kompensieren [SCHIFFMAN & WARWICK, 1988].

6.1 Anatomische Veränderungen

6.1.1 Geruch

Veränderungen des olfaktorischen Trakts

Im normalen Alterungsprozess kommt es zu multiplen anatomischen Veränderungen in der Nase. Die Volumina des *Bulbus olfactorius* und des olfaktorischen Trakts verringern sich ab dem 50 Lebensjahr. Weder die Veränderungen des *Bulbus olfactorius* noch jene am Temporallappen korrelierten direkt mit dem deutlichen Abfall des Geruchssinns im Alter [MORLEY, 2001].

Es gibt viele Theorien darüber, warum der Geruchssinn mit dem Alter nachlässt: es wurde ein Zahl von anatomischen und physiologischen Theorien präsentiert, wonach sich sowohl die Fasern im *Bulbus olfactorius* als auch die Anzahl der Geruchsrezeptoren mit steigendem Alter verringern [DOTY & SNOW, 1988]. Die Verluste betreffend den Bulbus können hinsichtlich des Verlusts an Sinneszellen in der olfaktorischen Mucosa und der gleichzeitig generellen Verschlechterung in den kognitiven Verarbeitungsfunktionen des ZNS als untergeordnet angesehen werden.

Veränderungen in der Regenerationsfähigkeit

Selbst im gesunden Zustand unterliegen die Rezeptorneuronen bei jedem Menschen einer Apoptose in einer bestimmten Frequenz. Säuger haben die Fähigkeit, diese Zellen zu erneuern. Dieser Prozess degeneriert allerdings mit dem Alter [DOTY & BROMLEY, 2002]. Die Folge ist eine Reduktion der Oberfläche des olfaktorischen Epithels verbunden mit einer geringeren Anzahl an olfaktorischen Rezeptorneuronen. Außerdem wird noch vermutet, dass die altersbedingten olfaktorischen Dysfunktionen mit erhöhtem Rezeptor-Zelltod assoziiert sind [DOTY & SNOW, 1988].

6.1.2 Geschmack

Veränderungen in den gustatorischen Arealen

Die Verminderung der Geschmacksfunktion ist als typische Begleiterscheinung des normalen Alterns dokumentiert [SCHIFFMAN, 1998] was der geringeren Dichte der Geschmacksknospen und Papillen zugeschrieben wird [AREY et al., 1935; MOSES et al., 1967]. Die altersbedingten Veränderungen in der Geschmacksknospen-Dichte scheinen innerhalb der Papillen unterschiedlich zu sein, wie ein Tierversuch zeigt [YAMAGUCHI, 2001]. In anderen Studien konnten auffällige örtlich begrenzte Ausfälle in der Geschmackswahrnehmung von älteren Studienteilnehmern gefunden werden [BARTOSHUK et al., 1987]. Diese Berichte über regionale Wahrnehmungsverluste decken sich mit anatomischen Studien, die auf der Zungenoberfläche von älteren Probanden teilweise flache Bereiche ohne Papillen gefunden haben [KOBAYASHI et al. 2001].

Veränderungen in der Regenerationsfähigkeit

Ein weiterer Faktor für Geschmacksbeeinträchtigungen könnte eine verlangsamte Erneuerung der Geschmackszellen und -knospen sein. Normalerweise bilden sich Geschmackszellen innerhalb von 10-10,5 Tagen neu, in einem Tierversuch von FUKUNAGA [2005] dauerte dies bei älteren Mäusen länger.

Eine Studie von NORDIN et al. [2007] über altersbedingten Geschmacksverlust wurde durchgeführt, um herauszufinden, ob dieser eher generell und unspezifisch ist oder ob die unterschiedlichen Geschmacksstoffe und/oder Unterschiede in der topographischen Verteilung Ursache des altersbedingten Verlusts sind. Es wurden hierfür mit Teststoffen getränkte "Geschmacksstreifen" mit vier Konzentrationen der Stoffe Saccharose, NaCl, Chininhydrochlorid und Zitronensäure auf die Zungenspitze, an den Seitenrändern und den posteromedialen Regionen der Zunge aufgetragen. Diese sollten von 30 jungen (20-25 Jahre) und 26 alten (61-77 Jahre) Testpersonen als süß, sauer, salzig

und bitter identifiziert werden. Die Resultate zeigten einen stärkeren Geschmacksverlust bei Zitronensäure und Chininhydrochlorid als bei Saccharose und Kochsalz. Verluste zeigten sich eher an der Spitze und den Seitenrändern aber nicht in posteromedialen Regionen, in denen bei beiden Altersgruppen ähnliche Level aufgetreten sind.

Dies wird auch durch Studien von ENNS & HORNUNG [1988] und MURPHY & GILMORE, [1989] bestätigt. Bitter und sauer werden von älteren Testpersonen durchwegs als schwächer wahrgenommen als von jüngeren, bei süß und salzig werden keine oder nur geringe Unterschiede wahrgenommen.

6.2 Physiologische Veränderungen

6.2.1 Geruch

Die Fähigkeit Duftstoffe wahrzunehmen beziehungsweise sie zu erkennen nimmt mit steigendem Alter ab. Gründe dafür sind verminderte Reaktionsgeschwindigkeit, geringeres Erinnerungsvermögen oder teilweise Degeneration des Zentralorgans [FLAMMIGER & MAIBACH, 2006]. Es wurde beobachtet, dass Aktivierung der piriformen/amygdalären Regionen und des orbitofrontalen Cortex nach Stimulation bei älteren Testpersonen verringert war [CERF-DUCASTEL & MURPHY, 2003]. In manchen Fällen steht der Geruchsverlust mit dem altersbedingten appositionalen Knochenwachstum in Verbindung, der eine Abschnürung der olfaktorischen Fasern zur Folge haben kann, wenn sie das Siebbein durchqueren [BOYCE & SHANE, 2006].

Wenn wir älter werden, vermindert sich die Geruchsfunktion [DOTY et al., 1984]. Wir verlieren nicht nur die Geruchsschärfe sondern auch die Fähigkeit zwischen den Gerüchen zu unterscheiden. Der Verlust der olfaktorischen Empfindlichkeit setzt in der sechsten Lebensdekade ein und verstärkt sich progressiv ab dem 70. Lebensjahr [MURPHY et al., 2002]. Es gibt eine Vielzahl an Krankheiten, Störungen, Medikamenten und medizinischen Eingriffen, die die Geruchsfunktion negativ beeinflussen können. Trotzdem sind fast zwei Drittel der chronischen Anosmien oder Hyposmien auf vorangegangene Infektionen

der oberen Atemwege, Schädeltraumata und nasale sowie paranasale Sinuserkrankungen zurückzuführen [DEEMS et al., 1991]. Weniger Beispiele von Geruchsstörungen sind assoziiert mit iatrogenen Interventionen, intranasalen Neoplasmen, intercraniellen Tumoren und Läsionen, neurodegenerativen Erkrankungen, Toxinen, psychiatrischen, endokrinen und metabolischen Störungen [DOTY, 2005].

Aber auch gewisse allgemeine Krankheiten wie Erkrankungen der Leber oder auch nicht-otolaryngologische Krebserkrankungen scheinen die olfaktorischen Funktionen zu beeinträchtigen [LANDIS et al., 2004].

Eine Studie von DUFFY et al. [1999] beweist die Verringerung der Aromawahrnehmung, die beim Menschen mit dem Alter auftritt, da das retronasale Riechen anfälliger für Verlust ist als das orthonasale Riechen.

Es ist außerdem histologisch bewiesen, dass Entzündungen der oberen Atemwege das olfaktorische Neuroepithel negativ beeinflussen. Intranasale Gewebeuntersuchungen bei Patienten, die nach einer viralen Erkrankung an Anosmie und Hyposmie litten, zeigten bei den Patienten mit Anosmie markant reduzierte Zahl an Rezeptoren und diese Rezeptoren waren abnormal verglichen mit jenen der Hyposmie-Patienten [JAFEK et al., 1990]. Spontane Genesung ist bei solchen Patienten zu einem gewissen Grad möglich angesichts der Neigung olfaktorischer Neuronen, sich zu regenerieren. So eine Genesung kann jedoch Jahre dauern. Lokal angewandte und oral verabreichte Steroide konnten keine positiven Effekte bei der Behandlung von postviralem Geruchsverlust bringen.

Theoretisch kann jede Entzündung oder Verstopfung der Nase die Geruchsfunktion verringern. Das gilt auch für allergischen Schnupfen, Rhinosinusitis, nasale Polyposis, Tumore und vorangegangene chirurgische Eingriffe. Obwohl medikamentöse und chirurgische Behandlung die Geruchsfunktion verbessern kann, ist es nicht die Regel, dass die Funktion bis zum Ursprungszustand wiederhergestellt werden kann [DOTY & MISHRA, 2001]. Chronische Entzündungen sind "toxisch" für die Neuronen. Die Schwere der histopathologischen Veränderungen der Mucosa bei Patienten mit chronischer Rhinosinusitis korreliert mit der Ausprägung von Geruchsverlust [KERN, 2000]. Im Alter äußert sich die Häufung der entzündlichen Prozesse im Laufe des Lebens kombiniert mit verminderter Regeneration dann als Funktionsstörung.

6.2.2 Geschmack

Ansteigen der Geschmacksschwellen

Die absoluten Geschmacksschwellen steigen im Alter um 2-9fache an [STEVENS & CAIN, 1993]. Die überschwelligen Geschmacksschwellen jedoch verändern sich mit steigendem Alter nur geringfügig. Die Verminderung der Geschmacksempfindlichkeit tritt bei praktisch jeder Person auf [MORLEY, 2001]. Studien zu diesem Thema lassen auf keine beständigen Muster schließen, wenn es um altersbedingten Verlust der Substanz- oder Geschmacksqualität geht, aber sehr wohl sind Muster zu erkennen, wenn es um Intensitäten geht.

Verlängerte Regenerationszeiten

Die Adaption bezeichnet die Abnahme der Geschmackintensität, wenn ein Reiz kontinuierlich auf die Geschmackssinneszelle einwirkt. Hierbei ist durch eine Art Gewöhnungseffekt die Wahrnehmungsschwelle erhöht. Der Zustand der Adaption kann einige Sekunden (z.B. bei NaCl) bis zu Stunden (Bitterstoffe) andauern. Man kann dieses Phänomen mit negativen Nachbildern in der Optik vergleichen. Auch bei dieser Erscheinung konnten unterschiede zwischen Alt und Jung beobachtet werden. Bei älteren Menschen dauert die Regenerationszeit nach intensiver Reizexposition länger [STEVENS et al., 1989].

Veränderungen im Gehirn

Die Signale der Geschmacksknospen werden zum *Nucleus tractus solitarii* der *Medulla oblongata*, auch Geschmackskern genannt, geleitet und dann weiter zum Thalamus und den corticalen Geschmackszentren. Bildgebungsstudien lassen darauf schließen, dass einige Geschmacksverluste im Alter eine Folge von verringerten Projektionsarealen im oberen Bereich der *Medulla oblongata* sein könnten [YAMAMOTO et al., 2005].

Alter

Gustatorische Dysfunktionen scheinen mit dem normalen Alterungsprozess assoziiert zu sein. In vielen Fällen jedoch ist das, was als Geschmacksdefekt wahrgenommen wird, tatsächlich ein Defekt des Geruchs. Im Gegensatz zu den Geruchsbeeinträchtigungen sind die häufigsten Gründe für geschmackliche Dysfunktionen Infektionen der oberen Atemwege, Kopfverletzungen, Drogenkonsum und idiopathische Ursachen [BROMLEY & DOTY, 2002].

Eine Theorie besagt, dass der normale Alterungsprozess den Geschmacksverlust durch Veränderungen der Geschmackszellmembranen verursacht, die eine veränderte Funktion der Ionenkanäle und Rezeptoren miteinschließen [MISTRETTA, 1984]. Ein Verlust an Geschmacksknospen scheint weniger an diesem Problem beteiligt zu sein, da es keinen Zusammenhang zwischen Geschmacksschärfe und Anzahl der Papillen gibt [MAVI & CEYHAN, 1999]. Manche Veränderungen in der Geschmackswahrnehmung treten an der Membran der Geschmackszellen auf, nicht durch Verluste an Geschmacksknospen oder Papillen. Ursache dafür könnten beispielsweise veränderte Funktion von Ionenkanälen und Rezeptoren sein, ebenso können veränderte Neurotransmitter-Spiegel dazu beitragen [SCHIFFMAN 2007].

In der Studie von KREMER [2007] wurden Unterschiede hinsichtlich der Wahrnehmung und Beliebtheit von Speisen bei älteren Studienteilnehmern zwischen 61 und 85 Jahren und jüngeren Teilnehmern zwischen 18 und 25 Jahren untersucht. Die Bewertungen von Intensität und Beliebtheit wurden an einer Puddingcreme gemessen und auch verschiedene Empfindlichkeitstests durchgeführt. Die älteren Studienteilnehmer nahmen die Puddingcreme anders wahr als die jüngeren, größtenteils weniger intensiv im Aroma und auch bezüglich Cremigkeit und Schluckaufwand. Es zeigte sich also ein Intensitäts-Gefälle bei der älteren Studienpopulation. Es wurden in dieser Gruppe weiters bei den Empfindlichkeitstests Verluste in der Sensibilität gegenüber geschmacklichen, olfaktorischen und trigeminalen Stimuli sowie einer verringerten Kau-effizienz beobachtet. Bei den älteren Studienteilnehmern wurde weiters beobachtet, inwieweit sich kompensatorische Maßnahmen, wie Aromaanreicherung, Veränderungen der Textur sowie Zusatz von Reizstoffen, die eingesetzt wurden, um

die altersbedingten Verluste auszugleichen, zu steigender Beliebtheit der Speisen führen. Die einzelnen Interventionsgruppen unterschieden sich nicht in ihrer Geschmacksschärfe.

Diese Studie von KREMER [2007] unterstützt nicht die Annahme, dass altersbedingte Veränderungen in der Nahrungswahrnehmung, die durch Verluste in der Geschmacksschärfe bedingt sind, zwangsläufig die Beliebtheit der Nahrungsmittel bei älteren Personen reduzieren.

Zahnstatus

Bei einer Untersuchung an 73 älteren Frauen wurde die olfaktorische Aromaempfindlichkeit beobachtet. Jene Studienteilnehmerinnen mit einer Totalzahnprothese oder einer, die den Gaumen bedeckt, wiesen geringere Empfindlichkeiten bei der Aromawahrnehmung auf als jene Teilnehmerinnen, deren Zahnprothese den Gaumen nicht bedeckte. Die verminderte olfaktorische Fähigkeit zur Aromawahrnehmung in der älteren Studienpopulation ist also mit verminderter orthonasaler Geruchswahrnehmung und dem Zahnstatus in Verbindung zu bringen. Gute orthonasale Geruchswahrnehmung ist für eine gute olfaktorische Aromawahrnehmung zwar notwendig, aber nicht suffizient. Andere Faktoren, einige sind mit den Bedingungen in der Mundhöhle assoziiert, können die Freisetzung und den retronasalen Transport von Geruchsstoffen vom Mundraum zu den olfaktorischen Rezeptoren behindern. Bei älteren Menschen zeigen sich die größeren Beeinträchtigungen eher in der retronasalen Wahrnehmung der geruchsbezogenen Aromaempfindung als in der orthonasalen, was auf die Bedingungen im Mundraum zurück geführt werden kann, die auch das Kauen beeinflussen [DUFFY et al., 1999].

Kau- und Schluckstörungen

“Einwandfreie Kautätigkeit ist ein wesentlicher Faktor der Nahrungsaufnahme” [ELMADFA et al., 2003]. Ein Viertel der laut österreichischem Ernährungsbericht beobachteten Senioren gab Probleme beim Kauen als Grund für seine Schwierigkeiten beim Essen an. Probleme beim Kauen, Schlucken und Schneiden von Lebensmitteln sind in

Pensionistenwohnheimen verbreiteter als in Privathaushalten, ebenso wie Müdigkeit und Appetitlosigkeit [ELMADFA et al., 2003].

Die geschmackstragenden Substanzen der Nahrung werden in Speichel gelöst und so zu den Rezeptoren an den Geschmacksknospen transportiert. Intakter Speichelfluss ist daher nicht nur für das Gleiten des Nahrungsbreies sondern auch für die Stimulation von Rezeptoren und Transmission von Stimuli notwendig [OSAKI et al., 1996]. Mit steigendem Alter sinkt die Speichelproduktion und es werden daher Nahrungsmittel bevorzugt, bei denen übermäßiges Einspeicheln nicht notwendig ist. Diese Problematik äußert sich in der verringerten Aufnahme von Ballaststoffen, trockenen, knackigen und bissfesten Lebensmitteln wie frisches Obst und Gemüse oder knusprigen Speisen und einer zu geringen Zufuhr von Vollkornprodukten.

Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts auf die Ernährungsgewohnheiten konnte in mehreren Studien aufgezeigt werden. Die Belgische Adolux-Studie beispielsweise beschäftigte sich mit den Ernährungsgewohnheiten von belgischen Jugendlichen. Es konnte gezeigt werden, dass betreffend die Ernährungsweise signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern bestanden. Die Mädchen ernährten sich signifikant gesünder als Knaben [PAULUS et al., 2001]. Es kann davon ausgegangen werden, dass Ernährungsweisen, die sich bereits in jungen Jahren manifestieren, den Menschen ein Leben lang begleiten und somit auch seine Ernährung im Seniorenalter beeinflussen.

Erneute Unterschiede bei den Geschlechtern zeigten sich bei auch bei den Untersuchungen von HAERENS et al. [2008] und VON POSTSKAGEGARD [2002]. Bei der letztgenannten Studie sank bei den Frauen mit steigendem Alter die Aufnahme von Fleisch, während sie deutlich mehr Obst konsumierten. Die männlichen Teilnehmer nahmen deutlich weniger Obst zu sich.

6.3 Trigemurale Veränderungen

6.3.1 Geruch

Der altersbedingte Verlust an nasal-trigeminaler Empfindlichkeit ist nicht so gut dokumentiert wie jener der olfaktorischen Empfindlichkeit. Jedoch haben bereits STEVENS et al. [1982] eine Reduktion der Wahrnehmung irritierender Stoffe beschreiben. Außerdem fanden sie heraus, dass der nasal-trigeminalen und olfaktorischen Verluste unabhängig voneinander sind, da einige ältere Studienteilnehmer gute olfaktorische aber gleichzeitig schwache trigeminale Empfindlichkeiten aufzeigten und umgekehrt.

Laska [2001] untersuchte unter anderem die Unterscheidungsfähigkeit bei Geruchspaaren gleicher Intensität an zwei Studienpopulationen von älteren und jüngeren Studienteilnehmern. Die Ergebnisse des Unterscheidungstests waren beim älteren Panel zwar deutlich schwächer als jene der jüngeren Gruppe, lagen aber dennoch deutlich über zufälligen Ergebnissen. Die Resultate besagen, dass sich die Fähigkeiten des nasal-trigeminalen Systems zwar mit dem Alter verschlechtern, sie aber dennoch einen großen Beitrag zur Geruchswahrnehmung leisten.

6.3.2 Geschmack

Veränderungen der chemischen Sinne während des Alterungsprozesses sind bereits bekannt. Die Möglichkeit, dass Interaktionen der übrigen Sinne, wie das Fühlen der Textur und vor allem trigeminale Wahrnehmung diese spezifischen Verluste kompensieren können, wurde in einer Studie von FORDE et al. [2002] untersucht. Anhand von acht verschiedenen Suppen mit unterschiedlichen Texturvariationen und verschiedenen trigeminalen Reizen wurde die Reaktion von älteren Personen über 65 Jahren und jüngeren (20-35 Jahre) Studienteilnehmern beobachtet. Beide Studienpopulationen bevorzugten jene Suppen, die den *Nervus trigeminus* weniger stark reizten. Die Ergebnisse des älteren Panels unterschieden sich weniger als jene des jüngeren Panels. Die älteren Studienteilnehmer versuchten die Texturunterschiede der Testsubstanzen in Stufen einzuteilen, während bei den jüngeren Teilnehmern die Textur keinen Einfluss auf die Bevorzugung einer bestimmten Speise zu haben schien. Das Ergebnis

zeigt, dass bei älteren Menschen ein Zusammenspiel von Mundgefühl und trigeminalen Reizen die chemosensorischen Verluste einigermaßen ausgleichen und somit die Attraktivität von Speisen erhöhen kann.

6.4 Krankheiten

Pathologische Veränderungen eines verringerten Geschmacksempfindens (Hypogeusie) sind oft assoziiert mit Eisenmangel, oraler Candidiasis, Xerostomie und Depressionen. Abnormale Geschmacksempfindungen (Dysgeusie) stehen oft in Zusammenhang mit psychischen Notlagen und der Einnahme einer Vielzahl an Medikamenten [COWART et al., 1994; MORLEY, 2001].

Weitere medizinische Ursachen, die einen Einfluss auf die Funktion des Geruchs- und Geschmackssinns haben können, sind in der Tabelle 2 aufgelistet. Bei Beschwerden von Patienten betreffend die chemischen Sinne sind diese Krankheiten im Vorfeld auszuschließen, bevor die altersbedingten Veränderungen als "natürliche" Diagnose angenommen werden. Es handelt sich dabei um neurologische, ernährungsbedingte, hormonbedingte und virale Erkrankungen, die im Zusammenhang mit einer negativen Beeinflussung des Geruchs- und Geschmackssinns stehen können. Ebenso sind lokale Beschwerden des Geruchs- und Geschmacksapparats, wie Allergien, Asthma, Sinusitis oder xerostomische Zustände abzuklären, um den Alterungsprozess als alleinige Ursache zu bestätigen.

Viele ältere Patienten sind sich ihrer altersbedingten Sinnesbeeinträchtigungen nicht bewusst, die langsam über Jahre hinweg eintreten, oftmals werden sie erst bemerkt, wenn sie durch ein schwere Erkrankung verstärkt werden [SCHIFFMAN, 2007].

6.4.1 Ernährungsbedingte Krankheiten

Alters-Anorexie

Mit dem Alter sinkt die Nahrungsaufnahme [MORLEY & THOMAS, 1999]. Ein häufiger aber nicht der einzige Grund dafür ist die Altersanorexie. Es

Tabelle 2: Medizinische Ursachen, die Geruch und Geschmack beeinflussen können

Neurologisch	Ernährungsbedingt
Alzheimer	Krebs
Bell'sche Parese (Gesichtslähmung)	chronisches Nierenversagen
Schädigungen an der <i>Chorda tympani</i>	Lebererkrankungen
Epilepsie	Niacinmangel
Schädel-Hirn-Trauma	Vitamin B12 - Mangel
Korsakow - Syndrome	Endokrinologisch
Multiple Sklerose	Nebenniereninsuffizienz
Parkinson	angeborene Nebennierenhyperplasie
Tumore und Läsionen	Hypophyseninsuffizienz
Lokal	Cushing - Syndrom
Allergische Rhinitis, Atopie und Asthma bronchiale	Diabetes Mellitus
Sinusitis und Polyposis	Hypothyroidismus
Xerostomische Zustände inkl. Sjörgen - Syndrom	Kallman - Syndrom
Virale Infektionen	Pseudohypoparathyroidismus
Akute virale Hepatitis	Turner - Syndrom
Grippeartige Infektionen	

handelt sich dabei um einen durch das Alter hervorgerufenen Zustand bei dem sich das Verlangen nach Nahrungsaufnahme verringert oder einstellt. Die Symptome reichen von Appetitlosigkeit bis hin zu gravierenden Abmagerungszuständen. Diese physiologische Alters-Anorexie wird zum Teil verursacht von Veränderungen der Magen-Fundus-Compliance. Dies führt zu rascherer Füllung des Antrums was ein Sättigungssignal darstellt [SUN et al., 1998].

Andererseits ist auch die Ausschüttung sowie die Aktivität von Cholezystochinin ein Mitgrund für die Entstehung der Alters-Anorexie, da bei älteren höhere Basiswerte des Sättigungshormons beobachtet wurden [MAC INTOSH et al., 1999].

Im zentralen Nervensystem gibt es viele Verbindungen, die bei der Nahrungsaufnahme mitspielen: *Amygdala*, *Nucleus accumbens*, *Nucleus tractus solitarius* und der *Hypothalamus*. Man kann sagen zwischen den einzelnen Nuklei wirken Neurotransmitter in einer Art von "Fütterungskaskade" [MORLEY, 1980; MORLEY, 1987]. Tierversuche haben die Rolle der verringerten Stimulation der Nahrungsaufnahme durch

Dynorphin bei der Entstehung von Alters-Anorexie aufgezeigt. Dynorphin ist ein Neurotransmitter, der durch Aktivierung eines Opioid-Rezeptors wirkt. Im Alter kommt es zur Verringerung der Funktion von Opioid-Rezeptoren, was bestätigt, dass sie bei Entstehung der Alters-Anorexie eine Rolle spielen [MORLEY et al., 1990].

Die verringerte Nahrungsaufnahme gekoppelt mit Mangel an Bewegung führt zu einem Absinken an Muskelmasse, eine Entwicklung, die Sarkopenie genannt wird. Diese Abnahme der Muskelmasse und Muskelstärke ist assoziiert mit dem Rückgang des funktionellen Zustands, wie zum Beispiel der Fähigkeit, Alltägliches selbstständig zu erledigen [PERRY et al., 2000].

Bei der Pathogenese von Anorexie und Sarkopenie spielen Cytokine durch Beschleunigung der Entwicklung von Gebrechlichkeit bei älteren Menschen eine wichtige Rolle. Im Alter entwickelt man viele kleinere Gebrechen wie Arthritis, wiederkehrende Infektionen, Tumore und Druckulceri, die Entzündungsantworten hervorrufen und so die Ausschüttung von Cytokinen besonders Interleukin begünstigen. Erhöhte Cytokine hängen zusammen mit einem Abfall der körperlichen Funktion und erhöhter Gebrechlichkeit was wiederum zu Proteinkatabolismus und Anorexie führen kann [FERRUCCI et al., 1999; BAEZ-FRANCESCHI & MORLEY, 1999].

Diese physiologische Anorexie macht den älteren Menschen anfälliger auf die Entwicklung einer ernsten Anorexie beziehungsweise Muskelschwund wenn auch noch eine Krankheit hinzukommt. Dieser Umstand heißt Kachexie. Das Muster des Gewichtsverlusts bei Kachexie muss unterschieden werden von jenem Gewichtsverlust, der mit ganz "normalem" Nährstoffdefizit in Zusammenhang steht, weil andere Faktoren ebenso in den Proteinkatabolismus und Muskelschwund involviert sind [MORLEY, 2001].

Appetitlosigkeit, die durch Medikamentennebenwirkungen oder psychischen Umständen ausgelöst werden kann, ist eine wesentliche Einflussgröße auf das Wohlbefinden von Senioren. Das Wohlbefinden wirkt sich positiv auf den Gesundheitszustand und Heilungsraten aus [ELMADFA et al., 2003].

Zinkstatus

Eine mögliche Ursache für altersbedingten Abfall der Geschmacksschärfe könnte die Folge von erschöpften Zinkdepots oder gesteigertem Zink-Bedarf sein. 55-90jährige wurden auf den Zusammenhang von Serum- und Erythrocyten-Zinkstatus und Geschmacksschärfe getestet. Höherer Erythrocyten-Zinkstatus war assoziiert mit ausgeprägterer Wahrnehmung für Salziges. Höherer Serum-Zinkstatus stand im Zusammenhang mit stärkerer Sensitivität für Saures. Es konnten aber keine offensichtlichen Assoziationen zwischen dem Serum- oder Erythrocyten-Zinkstatus und der Empfindlichkeit gegenüber bitterem oder süßen Geschmack gefunden werden [STEWART-KNOX et al., 2005]. Auch PRASAD et al. [1993] zeigten, dass Zink-Mangel eine wichtige Rolle in der Anhebung von Geschmacksschwellen im Alter spielen kann.

6.4.2 hormonbedingte Krankheiten

Hypothyroidismus

Der Einfluss der Hypothyreose wurde in einer Studie von DHONG et al. [2003] beleuchtet, deren Ziel es war, in immunohistochemischer Sicht die Effekte der Thyroidhormone auf das olfaktorische Epithel von erwachsenen Ratten zu evaluieren. Bei den Ratten wurde Hypothyroidismus herbeigeführt und die Versuchstiere in fünf Gruppen, eine Kontrollgruppe und vier Interventionsgruppen, geteilt. Die Ratten wurden dann drei, sechs, neun und zwölf Wochen mit Propylthiouracil (PTU), einem Thyreostatikum, behandelt. Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Unterschiede bezüglich Dicke und Dichte von Zellen des olfaktorischen Epithels zwischen den fünf Gruppen aber sehr wohl in der Anzahl der olfaktorischen Rezeptorneurone. Diese sank mit längerer Dauer der Behandlung mit PTU. Daraus kann man schließen, dass Thyroidhormone eine wichtige Rolle im Reifungsprozess von Rezeptorneuronen spielen.

6.4.3 Neurodegenerative Krankheiten

Die Tatsache, dass neurodegenerative Krankheiten zu einer Reduktion der Riechfähigkeit führen, lässt darauf schließen, dass der Geruchsverlust mit abnormen Entwicklungen des olfaktorischen Apparats zusammenhängt, einschließlich dem olfaktorischen Epithel, dem *Bulbus olfactorius* und der olfaktorischen Cortices [KOVACS, 2004]. Bei Parkinson, Alzheimer und PDCG (Parkinsonism dementia complex of Guam) tritt der schwere bilaterale Verlust oft in den ersten Krankheitsstadien auf es kommt aber selten zur totalen Anosmie [SCHIFFMAN et al., 2002; SWAN & CARMELLI, 2002].

Alzheimer

Alzheimer ist die schwerwiegendste senile Demenz bei älteren Menschen. Sie verursacht fortschreitende Abnahme der allgemeinen geistigen Leistungsfähigkeit und des Gedächtnisses bei den Betroffenen. Es kommen bei Alzheimer mehrere neuronale Anomalien im Vergleich zur gesunden Altersgruppe in stark erhöhter Häufigkeit vor. Das sind zum Beispiel extrazelluläre Plaques, intrazelluläre neurofibrilläre Knäuel und Neurodegeneration im Neokortex, Hippocampus und telencephalen Kernen. Die extrazellulären Plaques bestehen aus Ablagerungen von Amyloidprotein, die von dystrophen Axonen und reaktiven, inflammatorischen Glia umgeben sind. Intrazelluläre-neurofibrilläre Knäuel bestehen aus helikalen Filamenten die aus hyperphosphoryliertem Tau, einem Mikrotubuli assoziiertem Protein (MAP), aufgebaut sind. Diese Filamente verursachen Störungen im Zytoskelett, die nach einiger Zeit zum neurodegenerativen Zelltod führt. Die für diese Krankheit typischen kognitiven und allgemeinen geistigen Defizite sind begründet durch die ausgeprägten Neurodegenerationen in kortikalen und telencephalen Bereichen [REICHERT, 2000].

In Australien betrifft Alzheimer 3% der 65-74 jährigen, 19% der 75-84 jährigen und 47% der über 85jährigen [MC CUSKER 2008]. Patienten mit Demenzkrankheiten leiden auch oft betroffen an Fehl- und Mangelernährung und zunehmend an einem geschwächten Abwehrsystem.

Dadurch werden sie, besonders in Pflegeheimen, oft mit Sondennahrung ernährt [ALZHEIMER-ANGEHÖRIGENINITIATIVE, 2008].

Obwohl es einen beachtlichen Beweis dafür gibt, dass die Pathologie von *Morbus Alzheimer* in den olfaktorischen Regionen im mittleren Temporallappen beginnt, gibt es auch Beweise, dass der *Bulbus olfactorius* die erste Struktur ist, die pathologische Veränderungen aufweist [BRAAK & BRAAK, 1998; KOVACS et al., 2001].

Parkinson

Morbus Parkinson ist nach *Morbus Alzheimer* die meist verbreitetste neurodegenerative Erkrankung und betrifft 2% der Bevölkerung über 60 Jahre [GASSER, 2005]. Parkinson ist die am häufigsten vorkommende Störung der Basalganglien und bestuntersuchte motorische Störung. Patienten leiden an einem konstanten Tremor – auch im Ruhezustand, zeigen charakteristische Muskelsteifheit und haben eine gestörte Fähigkeit, Bewegungen zu initiieren. Die Fähigkeit, Bewegungen spontan auszuführen ist stark erniedrigt, Patienten führen komplexe voluntäre Bewegungen wie etwa Gehen und Sprechen, deutlich langsamer aus. Unmittelbare Ursache ist eine Degeneration der dopaminergen Neuronen der *Substantia nigra*, somit ist Parkinson das erste Beispiel für eine neurologische Erkrankung, die auf dem Mangel eines Neurotransmitters beruht [REICHERT, 2000].

Bei Parkinson-Patienten wurden olfaktorische Dysfunktionen beobachtet. Als Ursache dafür wurde herausgefunden, dass diese von Abnormalitäten des zentralen olfaktorischen Systems verursacht werden. MASAOKA et al. [2007] haben EEGs und simultan die Atmung bei gesunden Testpersonen analysiert um die Detektion und Erkennung von Duftstoffen zu testen. Wenn auf Geruchsstimuli reagiert wurde, konnten Reaktionen in geruchsnahen Regionen, wie dem entorhinalen Cortex, dem Hippocampus, der Amygdala und im orbitofrontalen Cortex beobachtet werden. Derselbe Test wurde auch mit Parkinson-Patienten gemacht und Daten mit Kontrollgruppe verglichen. Alle Parkinson-Patienten erkannten den Geruch, aber 5 von 10 zeigten beeinträchtigte Geruchserkennung.

Medikamente, die üblicherweise zur Behandlung von Parkinson eingesetzt werden, zeigen keine Wirkung auf den Geruchsverlust, dieser ist bei nicht

Tabelle 3: Veränderungen in der Körperzusammensetzung und -funktion im Alter

Organ	altersbedingte Veränderungen
Körperzusammensetzung	↓ Fettfreie Körpermasse ↓ Gesamtkörperwasser ↑ Körperfett
Niere	↓ GFR (Glomeruläre Filtrationsrate) ↓ Renaler Blutfluß ↓ tubuläre Funktion
Leber	↓ Lebergröße ↓ Leber-Blutfluß
Haut	↓ Hydrierung des Stratum Corneum ↓ Hautoberflächen-Lipide
↓ indicates decreased	↑ indicates increased

behandeltem Parkinson gleich schwerwiegend wie in den behandelten Fällen [ROTH et al., 1998].

6.5 Der Einfluss von Medikamenten

Physiologische Veränderungen im Alter, die in der Tabelle 3 zusammengefasst sind, können Absorption, Verteilung, Elimination und Metabolismus von Arzneistoffen beeinflussen [FLAMMIGER & MAIBACH, 2006].

6.5.1 Veränderte Pharmakokinetik und Pharmakodynamik

Prävalenz für Nebenwirkungen und Behandlung mit vielen verschiedenen Medikamenten sowie eine große interindividuelle Variabilität der Reaktion auf Medikamente machen Medikamentenverabreichung bei älteren zu einer Herausforderung [FLAMMIGER & MAIBACH, 2006]. Pharmakokinetik und Pharmakodynamik können im Alter verändert sein. Veränderungen der Körperzusammensetzung, die in der Tabelle 3 beschrieben sind, können unterschiedliche Medikamentenverteilung zur Folge haben, die zu veränderten Halbwertszeiten oder gesteigerten Plasmakonzentrationen führen kann. Einerseits ist die intestinale Absorption beeinträchtigt,

andererseits kommt es zu einer renalen Funktionsminderung, die eine der am besten beschriebenen Veränderung in der Pharmakokinetik darstellt.

Mögliche Gründe für eine Veränderung der intestinalen Absorption sind Ernährungsdefizite, teilweise Entfernung des Magens, Wechselwirkungen mit Laxantien, Antaciden und Medikamenten die Magenentleerung absenken. Die fettfreie Körpermasse und das Gesamtkörperwasser sinken und Körperfettanteil steigt [FORBES & REINA, 1970; NOVAK 1972]. Für die Verteilung der Medikamente bedeutet dies, dass das Verteilungsvolumen für hydrophile Medikamente dadurch sinkt, was eventuell zu höheren Plasmakonzentrationen führen kann [TURNHEIM, 2003]. Im Gegensatz dazu steigt das Verteilungsvolumen für lipophile Medikamente, was Retention und verlängerte Halbwertszeiten zur Folge hat [SHAH, 2004].

Der renale Blutfluss ist im Alter vermindert und die tubuläre Funktion beeinträchtigt [CHOUDHURY et al., 2004]. Die glomeruläre Filtrationsrate ist ebenfalls verringert [ROWE et al., 1976]. Diese Eliminationsschwierigkeiten können verlängerte Halbwertszeiten und Anreicherung von Medikamenten bis zu toxischen Werten verursachen, wenn die Dosierung nicht verringert wird.

Die hepatische Clearance der Leber für viele Medikamente ist bei älteren reduziert, hauptsächlich wegen der Abnahme der Lebergröße und der Reduktion der Leberdurchblutung [WOODHOUSE & JAMES, 1990]. Die Hauptaufgabe der Leber im Medikamenten-Metabolismus ist die Umformung von lipophilen Arzneistoffen in polarere Form, damit diese leichter ausgeschieden werden können [CORREIA, 2004].

6.5.2 Nebenwirkungen von Medikamenten

Mit steigendem Alter nimmt die Anzahl derjenigen zu, die regelmäßig Medikamente einnehmen müssen. Ebenso steigt auch die Anzahl der verordneten Tabletten zu. Die Häufigkeit des Medikamentenkonsums bedeutet auch das Risiko von Wechselwirkungen zu den Nährstoffen [ELMADFA et al., 2003]. Die Einnahme mehrerer Medikamente kann auch den Appetit, den Geschmacks- und Geruchssinn beeinträchtigen und führt zu Übelkeit und Erbrechen. Darauf können Ernährungsdefizite folgen [VOLKERT, 1997].

Medikamente können auf verschiedenen Ebenen des zentralen Nervensystems auf die chemosensorische Wahrnehmung einwirken: über die peripheren Rezeptoren, chemosensorische Nervenbahnen und/oder den Hirnstamm bzw. das Gehirn. An den peripheren Rezeptoren können Medikamente einen eigenen Geschmack induzieren oder Transduktionsmechanismen in Geschmacksrezeptorzellen modifizieren. Medikamente können die Aktivität entlang der gustatorischen Bahnen verändern wenn sie ins Stammhirn oder das Gehirn selbst gelangen. Manche Medikamente, wie Chemotherapeutika oder einige Antibiotika, greifen in den Zell-Turnover von Geschmacks- und Geruchsrezeptoren ein und beeinträchtigen so die Wahrnehmung [SCHIFFMAN, 2007].

Die Tabellen 4 und 5 fassen Medikamente zusammen, die Geruchs- und Geschmackssinn beeinflussen können.

6.6 Genussmittel

6.6.1 Rauchen

Das Rauchen bewirkt eine verminderte Regenerationsfähigkeit der olfaktorischen Neuronen. Raucher weisen signifikant verringerte Riechleistung auf. Es besteht eine lineare Beziehung zwischen der Anzahl an Zigaretten und dem Ausmaß der Riechschwellerhöhung. Außerdem ist bei Rauchern eine auffällige Unterfunktion der nasalen Ziliartätigkeit zu beobachten [KELLERER, 1993].

Das Rauchen beeinflusst sowohl die olfaktorische als auch gustatorische Empfindlichkeit. 3,6% der Teilnehmer einer Studie von VENNEMANN et al. [2008] zeigten funktionelle Anosmie, bei 18% war der Geruchssinn beeinträchtigt. 20% konnten nur drei oder weniger von vier in überschwelligem Konzentrationen präsentierten Geschmäckern erkennen. Rauchende Studienteilnehmer zeigten aber keine signifikant schlechteren Ergebnisse bei den Untersuchungen der trigeminalen Wahrnehmung [LASKA et al. 2001].

Tabelle 4: Einfluss von Pharmaka auf die chemischen Sinne Teil 1

zentral wirksame Pharmaka	
Dopaminantagonisten	Geruch beeinträchtigt, trockene, verstopfte Nase
Psychopharmaka Antiparkinsonia	Rhinitis sicca, hyperplastische Rhinitis mit Muschelhypertrophie
Amphetamine	Geruchsschwelle erhöht
Coffein	Verbesserung d. Riechleistung
Morphin	Geruchsschwelle erhöht
Lokalanästhetika	
Kokain	Reversible Anosmie
Tetracain	Riechschwelle erhöht
Procain	blockiert Ganglien
Cardiaka	
Amrinon	Anosmie, Hyposmie, Geschmacksempfindung gestört
Antiarrhythmika	
Atropin	Wahrnehmungsschwelle nach parenterale Gabe erhöht
Hormone	
Corticosteroide	Trockenheit und erythematöse Veränderungen d. NSH, Gefäßschädigungen (Nasenvorhof), langanhaltende Anosmien
Sexualhormone	Frauen: Östrogengaben bewirken Senkung der Riechschwelle, Männer: Testosterongaben senken Riechschwelle
Calcitonin	NSH-Schwellung, Rhinitis, Rhinorrhoe bei topischer Anwendung
Antiulcus-Therapeutika	
Nizatidin	Rhinitis
Cimetidin	
Antacida	
Antirheumatika	
Acetylsalicylsäure Indometazin Ibuprofen, Paracetamol Phenylbutazon Dextropropoxyphen Mefenaminsäure Pentazocin, Benzoate	Nichtsteroidale Antirheumatika sind oft Auslöser des Aspirintoleranzsyndroms: Rhinorrhoe, verstopfte Nase, Asthma bronchiale, Nasenpolypen, Quinke-Ödem
Penicillamin	schwere Rhinitis, Ödeme im Nasenbereich, Anosmie

Tabelle 5: Einfluss von Pharmaka auf die chemischen Sinne Teil 2

Ganglienblockierende Substanzen	
Strychnin Procain	vergrößern langsame Potentiale des <i>Bulbus olfactorius</i> , Spikes werden beseitigt, Rhinitis
Antibiotika	
Aminoglycosidantibiotika	Anosmie, Rhinitis, Geruchsempfinden vermindert
Ansamycine	flu-like-syndrome, Rhinitis
Tetracykline	lang anhaltende Anosmie
Chemotherapeutica	
Salvarsan	Geruchseindruck nach Ether
Thyreostatika	
Thiamazol Carbimazol	nicht dosisabhängige Geruchs- und Geschmacksstörungen, Parosmie hält noch Jahre an
Methylthiouracil	ruft Hyperthyreoidismus hervor
Propylthiouracil	potentiell toxische Wirkung auf sensorische Nerven
Antihypertensiva	
Hydralazin Dimethylhydralazin Methyldopa, Ganethidin Prazosin, Terazosin Rauwolfiaalkaloide	Erweiterung der Gefäße bewirkt zum Teil starke Schwellung der Nasenschleimhaut durch abnorme Füllung der Bliträume der Nasenmuscheln. Ist durch parasympathische Aktivität begründet.
Nifedipin, Diltiazem	Hyposmie und Anosmie
Enalapril	Schwellung der Nasenschleimhaut
Practocol (Betablocker)	Ulzeration der Nasen- und Mundschleimhaut
Betablocker	keine Nasenschleimhautschwellung
Diverse Medikamente	
Bariumsulfat	Nasenschleimhautschwellung, Niesen, Rhinorrhoe
Cumarin	Verlust des Geschmacks- & Störungen des Geruchssystems
Hyaluronidase	Sensibilität des Geruchssystems erhöht
Menthol	Verringerung der Riechschärfe
Naphazolin	Irritationen und Rhinorrhoe
org. Lösungsmittel	Kakosmie

6.7 Soziale Faktoren

Das Einnehmen der Mahlzeiten im Freundes- und Familienkreis wirkt sich positiv auf die Nahrungsaufnahme aus [VOLKERT, 1997]. Dies gilt im Besonderen im Zusammenhang mit Ernährung von älteren Menschen. Ein Hinweis darauf ist, dass beispielsweise Appetitlosigkeit bei Senioren in Privathaushalten seltener vorkommt verglichen mit Bewohnern von Pensionistenwohnheimen, die ihre Mahlzeiten oft isoliert im eigenen Zimmer einnehmen [STEHLE et al., 1996]. Isolation und die daraus resultierenden Depressionen sind einer der häufigsten diagnostizierten Gründe von pathologischen Gewichtsverlust.

“Soziale Isolation, Einsamkeit sowie persönliche Motivationsfähigkeit sind entscheidende Parameter für das Auftreten von Mangelernährung. Soziale Kontakte und Integration in die Gesellschaft beeinflussen die Lebensqualität von Senioren” [ELMADFA et al., 2003].

7 Schlussbetrachtung

Durch steigende Lebenserwartung sind die Senioren jene Bevölkerungsgruppe die weltweit am stärksten wächst. Wenn man die Ernährungssituation der über 65jährigen betrachtet, fällt auf, dass der Nahrungsmittelkonsum nicht den veränderten Anforderungen des Körpers im Alter entspricht. Durch veränderte Körperzusammensetzung und -funktion besteht erhöhter Bedarf an Nährstoffen, bei gleichzeitig verringertem Energiebedarf.

Im Alter zeigen sich Veränderungen der sensorischen Fähigkeiten. Verschlechterungen des Gehör- und Sehsinns bei älteren Menschen sind bereits gut dokumentiert und es gibt gute Methoden, diese zu kompensieren. Aktuell werden die chemosensorischen Veränderungen im Alter und ihre Auswirkungen auf die Ernährung und in weiterer Folge die Gesundheit untersucht. Der Alterungsprozess im *Bulbus olfactorius* lässt Glomeruli verkümmern und Nervenfasern degenerieren und verschwinden. Die zentralen olfaktorischen Projektionsflächen sind besonders gefährdet, da es altersbedingt zu anatomischen und physiologischen Veränderungen im *Hippocampus*, dem *Amygdaloid*-Komplex und dem *Hypothalamus* kommen kann. Dazu gehören eine verringerte Zellanzahl, gesteigerte Zellzerstörung und verminderte Neurotransmitter-Levels.

Als Basis der Flavourwahrnehmung tragen die chemischen Sinne bedeutend zur allgemeinen Lebensqualität bei. Das Aromaerlebnis wird durch eine Interaktion von Chemorezeptoren des Geruchs- und Geschmackssinnes, Mechanorezeptoren (Berührung und Textur) Thermorezeptoren und Nozizeption, dem Schmerzempfinden ausgelöst. Die komplexe Interaktion dieser verschiedenen Rezeptoren in Mund, Nase und Rachen sind im zentralen Nervensystem integriert, um ein Urteil über ein Nahrungsmittel zu bilden [MORLEY, 2001].

Die gustatorischen und olfaktorischen Signale rufen auch Reaktionen hervor, die den Körper auf das Eintreffen von Nahrung vorbereiten, wie die Speichelbildung sowie gastrische, pankreatische und intestinale Sekretion. Sind diese abgestumpft, können die Verdauung der Speisen und Nährstoffaufnahme beeinträchtigt sein. So empfängt beispielsweise der *Nucleus tractus solitarii* nicht nur Geschmackssignale der Zunge

und des Rachens, sondern auch viscerale Sinnesinformationen aus dem Ösophagus, Magen, Darm und Leber. Der Zusammenfluss von Geschmacks- und Verdauungsinformationen im *Nucleus* erklärt auch warum Geschmacksverluste Einfluss auf eine Reihe von Verdauungsprozessen haben können. Denn der sogenannte Geschmackskern ist der erste Bereich, in dem Geschmackssignale auf die Verdauung einwirken, indem z.B. die gastrische und pankreatische Sekretion angeregt werden [SCHIFFMAN 2007].

Neben den chemosensorischen Veränderungen im Alter spielen auch extrinsische Faktoren eine Rolle bei der Auswahl der Nahrung bei Älteren: Kau- und Schluckbeschwerden, Zahnstatus, die Folgen von Rauchen, der allgemeine Gesundheitszustand und damit verbundene Mobilität, soziale Faktoren und die daraus resultierende psychische Konstitution.

Der steile Verlust der chemosensorischen Funktionen gibt mehr Anlass zur Sorge als es auf den ersten Blick den Anschein macht. Verminderte Geruchsfunktion ist ein wesentlicher Faktor, der zur altersbedingten Erhöhung von versehentlichen Gasvergiftungen und Explosionen beiträgt, die die allgemeine Sicherheit gefährden. Verringerter Geschmack und Geruch können die Motivation zur Speisenaufnahme herabsenken und können somit Appetitlosigkeit und damit Gewichtsverlust, Fehlernährung, ein geschwächtes Immunsystem und eine Verschlechterung von medizinischen Umständen zur Folge haben [BARTOSHUK, 1989; MILETIC et al., 1996]. Durch verringerte chemosensorische Fähigkeiten ist auch das Risiko erhöht, verdorbene Speisen nicht als solche zu erkennen, was zum Beispiel die Aufnahme von Pilztoxinen zur Folge haben kann. Dysfunktionen des chemosensorischen Systems sind auch in der Diagnostik von schwerwiegende pathologische Veränderungen, wie neurodegenerativen Erkrankungen oder Tumoren von Bedeutung.

Wie soll mit diesen Beschwerden umgegangen werden? Zuerst ist es wesentlich, Patienten mit verminderten Geruchs- und/oder Geschmacksfunktionen auf mögliche medizinische oder Trauma-bedingte Ursachen zu untersuchen. Sollten keine bösartigen Krankheiten in Verbindung mit den Beschwerden stehen, ist im nächsten Schritt die Prävention von möglichen Folgeverletzungen das erklärte Ziel. Beispielsweise durch visuellen Alarm bei Gasaustritt, Zusatz von nasal-trigeminal wahrnehmbaren Stoffen zu geruchlosem Haushaltsgas,

Installation von Rauchmeldern, Einbeziehung der Nachbarn und Freunden in die Problematik [BOYCE & SHANE 2006; LASKA 2001].

Patienten mit Geschmacksbeeinträchtigungen könnte mit Aroma-Anreicherung der Nahrungsmitteln geholfen werden, um das Genussempfinden beim Essen wiederherzustellen und so Folgen von Appetitlosigkeit zu vermeiden [BOYCE & SHANE 2006]. Ein organischer Verstärker des Natrium-Geschmacks z.B wäre eine große Hilfe für Patienten mit Na-armer Diät. Die Problematik der altersbedingten Veränderungen in der sensorischen Wahrnehmung hat somit auch ein großes kommerzielles Potential [LINDEMANN, 2001]. Verbesserung oder Überdeckung des Calciumgeschmacks könnte beispielsweise die Beliebtheit und den Konsum von Ca-hältigem Gemüse steigern und so altersbedingtem Knochenschwund entgegenwirken [TORDOFF & SANDELL, 2009]. Die Vorliebe für ernährungsphysiologisch hochwertige Lebensmittel könnte so durch Aroma-Anreicherung gesteuert werden.

8 Zusammenfassung

Im Alter tritt eine physiologische Verminderung der Nahrungsaufnahme ein. Die Gründe dafür sind multifaktoriell. Eine wichtige Rolle spielen dabei Veränderungen in der sensorischen Qualität der Nahrungsmittel durch Verschlechterung der Geschmacks- und Geruchswahrnehmung. Das Alter ist bei Beschwerden die chemischen Sinne betreffend ein wichtiger Faktor.

Es gibt eine Reihe von anatomischen und physiologischen Veränderungen, die im Alter die olfaktorische Wahrnehmung beeinträchtigt, wie gesteigerte Apoptose von olfaktorischen Rezeptorneuronen, Verringerung der basalen Zellproliferationsrate, Verringerung in der Dicke des olfaktorischen Epithels, geringere Anzahl an Zilien und unterstützender Microvilli. Mit der Zeit wird das olfaktorische Epithel schrittweise durch nicht-olfaktorisches Epithel ersetzt, was folglich zu einem Verlust an Geruchsfläche führt.

Als Ursachen für altersbedingte Geschmacksbeeinträchtigungen gelten Verringerung an Geschmacksknospen und Papillen, Verlangsamung der Zellerneuerungsprozesse und langsamere Regenerationszeiten. Auf der neurophysiologischen Ebene kann eine deutliche Verringerung der medullären Projektionsflächen Geschmacksverluste verursachen.

Neurologische, endokrine, ernährungsbedingte Erkrankungen, lokale Störungen und Infektionen, können auf das chemosensorische System einwirken. Ebenso sind zahlreiche Pharmaka und deren Nebenwirkungen oft Ursache für olfaktorische und gustatorische Störungen.

Nicht nur der Alterungsprozess selbst und die physiologischen Veränderungen, die er mit sich zieht, ist verantwortlich für verminderte Geschmacks- und Geruchsfunktion. Eine Reihe von Erscheinungen, die mit dem Alter korrelieren, wie eine Anhäufung von wiederholten viralen Infekten, mangelnde Mundhygiene, im Alter gehäuft vorkommende Krankheiten und Medikamenteneinnahme sind an der veränderten Geschmackswahrnehmung beteiligt.

Chemosensorische Beeinträchtigungen, die die Fähigkeit herabsetzen, Nahrung zuzubereiten und zu genießen, können zu unzureichender Energie- und Nährstoffaufnahme und Gewichtsverlust führen und schließlich das Risiko für Morbidität und Mortalität erhöhen.

9 Summary

The reasons for the decline in food intake in the senior generation are multifactorial. Changes in sensory quality of foods due to an impairment of the flavour perception play the main role in this age-related development.

Chemical senses prevent us from the intake of noxious matters, spoiled foods or leaking gas. On the other hand they are the basis of flavour perception and thus contribute to food appreciation and quality of life. In case of dysfunctions, chemical senses may be a marker of severe pathologic alterations.

During the aging process there are physiologic and anatomic changes that lead to a diminished chemosensory perception: Impairments of the olfactory perception are attributed to increased apoptosis of olfactory receptor cells, decreased cell proliferation, decreased thickness of the olfactory epithelium and decreasing number of cilia and microvilli. By and by the olfactory epithelium is replaced by non-olfactory epithelium which consequently leads to a loss of olfactory surface. During the aging process glomeruli of the olfactory bulb atrophy as well as nerve fibres degenerate.

Age-related gustatory impairments are caused by a reduction in the density of taste buds, a decreased number of papillae, a deceleration in cell replacement processes and retarded cell regeneration.

Additional reasons to that one's mentioned above are side effects of drugs, culmination of viral infections of the upper respiratory tract, dysphagia, dentures, oral hygiene, smoking as well as a number of diseases, like neurologic, endocrinologic or nutrition-related dysfunctions and neurodegenerative diseases e.g. Parkinson's or Alzheimer's are associated with chemosensory alterations.

Losses in gustatory and olfactory perception lead to a decline of food appreciation and food choice and hence are fundamental contributing causes for decreased dietary variation, physiological anorexia, weight loss, poor health and nutritional status in the aged population.

After noticing diminished olfactory or/and gustatory function it is important to clarify possible medical causes. The next step is to prevent subsequent

injuries and illnesses such as installing visual alarms at gas leaks, involving neighbours and friends take care of gas odour and to help identifying spoiled food. Finally additional flavouring of foods may contribute to appreciate meals again.

10 Literatur

ADLER E, HOON MA, MUELLER KL, CHANDRASHEKAR J, RYBA NJP, ZUKER CS.: A novel family of mammalian taste receptors. *Cell* 2000; 100: 693-702.

ADRIAN ED.: Sensory messages and sensation; the response of the olfactory organ to different smells. *Acta physiologica Scandinavica* 1953; 29: 5-14.

AHNE G, ERRAS A, HUMMEL T, KOBAL G.: Assessment of gustatory function by means of tasting tablets. *Laryngoscope* 2000; 110: 1396-1401.

ALZHEIMER ANGEHÖRIGENINITIATIVE e.V.
www.alzheimerforum.de aufgerufen am 1. September 2008

ANDERSON AK, CHRISTOFF K, STAPPEN I, PANITZ D, GHAREMANI DG, GLOVER G, GABRIELI JD, SOBEL N.: Dissociated neural representations of intensity and valence in human olfaction. *Nature Neuroscience* 2003; 6: 196-202.

AREY LB, TERMAINE MJ, MONZINGO FL.: The numerical and topographic relations to taste buds to human circumvallate papillae through the life span. *The Anatomical Record* 1935; 64: 9-25.

AVENET P, LINDEMANN B.: Amiloride-blockable sodium currents in isolated taste receptor cells. *Journal of Membrane Biology* 1988; 105: 245-255.

BAEZ-FRANCESCHI D, MORLEY JE.: Pathophysiologie des Katabolismus bei unterernährten alten Patienten. Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie 1999; 32: 12-19.

BARTOSHUK LM, DESNOYERS S, HUDSON C, MARKS L, O'BRIAN M, CATALANOTTO F, GENT J, WILLIAMS D, OSTRUM KM.: Tasting on localized areas. Annals of the New York Academy of Sciences 1987; 510: 166-168.

BARTOSHUK LM, DUFFY VB, CHAPO AK, FAST K, YIEE JH, HOFFMAN HJ, KO CW, SNYDER DJ.: From psychophysics to the clinic: missteps and advances. Food Quality and Preference 2004; 15: 617-632.

BARTOSHUK LM.: Taste. Robust across age span? Annals of the New York Academy of Sciences 1989; 561: 65-75.

BATES CJ, BENTON D, BIESALSKI HK, STAEHLIN HB, VON STAVEREN J, STEHLE P, SUTER PM, WOLFRAM G.: Hohenheimer Konsensusgespräch – Ernährung und Altern. Aktuelle Ernährungsmedizin 2001; 26: 285-302.

BAUMGARTNER RN, ROSS RR, WATERS DL, BROOKS WM, MORLEY JE, MONTOYA GD, GARRY PJ.: Serum leptin in elderly people: associations with sex hormones, insulin and adipose tissue volumes. Obesity Research 1999; 7: 141-149.

BAUMGARTNER RN, WATERS DL, GALLAGHER D, MORLEY JE, GARRY PJ.: Predictors of skeletal muscle mass in elderly men and women. Mechanisms of Ageing and Development 1999; 107: 123-136.

BOYCE JM, SHANE GR.: Effects of ageing on smell and taste. *Postgraduate Medical Journal* 2006; 82: 293-241.

BRAAK H, BRAAK E.: Evolution of neuronal changes in the course of Alzheimer's disease. *Journal of Neural Transmission* 1998; 53: 127-140.

BROMLEY SM, DOTY RL.: Taste. In: ASBURY AK, MAC KHANN GM, MC DONALD WI, et al., eds. *Diseases of the nervous system*. Cambridge University Press, Cambridge; 2002: 610-620.

BUCK L, AXEL R.: A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition. *Cell* 1991; 65: 175-187.

BUSCH-STOCKFISCH M. *Praxishandbuch Sensorik - in der Produktentwicklung und Qualitätssicherung*. Behr's Verlag, Hamburg, 15. Aktualisierung 12/2006.

CERF-DUCASTEL B, MURPHY C.: FMRI activation in response to odorants orally delivered in aqueous solutions. *Chemical Senses* 2001; 26: 625-637.

CERF-DUCASTEL B, MURPHY C.: FMRI brain activation in response to odors is reduced in primary olfactory areas of elderly subjects. *Brain Research* 2003; 986: 39-53.

CHANDRASHEKAR Y, HOON MA, RYBA JP, ZUKER CS.: The receptors and cells for mammalian taste. *Nature* 2006; 444: 288-294.

CHOUDHURY ES, MOBERG P, DOTY RL.: Influences of age and sex on a microencapsulated odor memory test. *Chemical Senses* 2003; 28: 799-805.

CHOUDHURY D, RAY DSC, LEVY M.: Effect of aging on renal function and disease. In: Brenner BM: Brenner and Rector's *The kidney*. Elsevier, 2004 2305-2342.

CORREIA MA.: Drug biotransformation. In: KATZUNG BG, TREVOR AJ, MASTERS SB. *Basic and clinical pharmacology*. New York: McGraw-Hill; 2004: 51-63.

COWART BJ, YOKOMUKAI Y, BEAUCHAMP GK.: Bitter taste in aging: compound-specific decline in sensitivity. *Physiology & Behavior* 1994; 56:1237-1241.

CRASTO C, MARENCO L, MILLER P, SHEPHERD G.: Olfactory receptor database: a metadata-driven automated population from sources of gene and protein sequences. *Nucleic Acids Research* 2002; 30: 354-360.

CUMMINGS TA, KINNAMON SC.: Apical K⁺ channels in Necturus taste cells. Modulation by intracellular factors and taste stimuli. *The Journal of General Physiology* 1992; 99: 591-613.

DAMAK S, RONG M, YASUMATSU K, KOKRASHVILI Z, VARADARAJAN, ZOU S, JIANG P, NINOMIYA Y, MARGOLSKEE RF.: Detection of sweet and umami taste in the absence of taste receptor T1R3. *Science* 2003; 301: 850-853.

DE ARAUJO IE, ROLLS ET, VELAZCO MI, MARGOT C, CAYEUX I.: Cognitive modulation of olfactory processing. *Neuron* 2005; 46: 671-679.

DE ARAUJO IE, ROLLS ET, KRINGELBACH T, McGLONE ML, PHILIPS F.: Taste-olfactory convergence and the representation of the pleasantness of flavour, in the human brain. *European Journal of Neuroscience* 2003; 18: 2059-2068.

DEEMS DA, DOTY RL, SETTLE RG MOORE-GILLON V, SHAMAN P, MESTER AF, KIMMELMAN CP, BRIGHTMAN VJ, SNOW JB.: Smell and taste disorders. A study of 750 patients from the University of Pensylvenia Smell and Taste Center. *Archives of Otolaryngology. Head and Neck Surgery* 1991; 117: 519-528.

DGE-AKTUELL, DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNG.: Zu wenig Flüssigkeit – häufig unterschätztes Problem bei älteren Menschen. www.dge.de (aufgerufen am 10.Juli 2008)

D-A-CH (DGE, ÖGE, SGE, SVE).: D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 1. Auflage. Umschau Braus GmbH, Frankfurt am Main, 2000.

DHONG HJ, KIM HY, HA BS.: Histologic changes to olfactory epithelium in hypothyroid rats. *Otolaryngology. Head and Neck Surgery* 2003; 129: 24-32.

DOTY RL, BROMLEY SM.: Smell. In: ASBURY AK, MAC KHANN GM, MC DONALD WI, et al., eds. *Diseases of the nervous system*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002: 595-609.

DOTY RL, MISHRA A.: Olfaction and its alteration by nasal obstruction, rhinitis and rhinosinusitis. *Laryngoscope* 2001; 111: 409-423.

DOTY RL, SHAMAN P, APPLEBAUM SL, GIBERSON R, SIKSORSKI L, ROSENBERG L.: Smell identification ability: changes with age. *Science* 1984; 226: 1441-1442.

DOTY RL, SNOW J.: Age-related alterations in olfactory structure and function. In: MARGOLIS F, GETCHELL T eds.: *Molecular neurobiology of the olfactory system*. New York: Plenum Press, 1988: 355-374.

DOTY RL.: Clinical studies of olfaction. *Chemical Senses* 2005; 207-209.

DOTY RL.: Odor perception in neurodegenerative diseases. In: DOTY RL (ed.) *Handbook of olfaction and gustation*. Marcel Dekker New York, 2003: 479-502.

DUFFY VB, CAIN WS, FERRIS AM.: Measurement of sensitivity to olfactory flavor: Application in a study of aging and dentures. *Chemical Senses* 1999; 24, 671-677.

ELMADFA I, FREISLING H, KÖNIG J, BLACHFELNER J, CVITKOVICH-STEINER H, GENSER D, GROSSGUT R, HASSANHAUER C, KICHLER R, KUNZE M, MAJCHRZACK D, MANAFI M, RUST P, SCHINDLER K, VOJIR F, WALLNER S, ZILBERSZAC A.: *Österreichischer Ernährungsbericht 2003*. 1. Auflage, Wien, 2003.

ELMADFA I, FREISLING H, NOWAK V, HOFSTÄDTER D, HASENEGGER V, FERGE M, FRÖHLER M, FRITZ K, MEYER AL, PUTZ P, RUST P, GROSSGUT R, MISCHKEK D, KIEFER I, SCHÄTZER M, SPANBLÖCHEL J, STURTZEL B, WAGNER KH, ZILBERSZAC A, VOJIR F, PLSEK K.: Österreichischer Ernährungsbericht 2008. 2. Auflage, Wien, Mai 2009.

ENNS MP, HORNUNG DE.: Comparisons of the estimates of smell, taste and over-all intensity in young and elderly people. *Chemical senses* 1988; 13: 131-139.

FANELLI MT, STEVENHAGEN KJ.: Characterizing consumption patterns by food frequency methods: core foods and variety of foods in diets of older Americans. *Journal of the American Dietetic Association* 1985; 85: 1570-1576.

FAO: www.fao.org/docrep/W7336T/W7336T06.HTM aufgerufen am 26. Feber 2009

FEELY J, COAKLEY D.: Altered pharmacodynamics in the elderly. *Clinical Pharmacology* 1990; 6: 269-283.

FERRUCCI L, HARRIS TB, GURALNIK JM, TRACY RP, CORTI MC, COHEN HJ, PENNINX B, PAHOR M, WALLACE R, HAVLIK RJ.: Serum IL-6 level and the development of disability in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society* 1999; 47:639-646.

FIRESTEIN S.: How olfactory system makes sense out of scents. *Nature* 2001; 413: 211-218.

FLAMMIGER A, MAIBACH H.: Drug dosage in the elderly. *Drugs & Aging* 2006; 23: 203-215.

FLIEDNER I, WILHELMI F.: Grundlagen und Prüfungsverfahren der Lebensmittelsensorik. Behr's Verlag, Hamburg; 1993: 11-23.

FORBES GB, REINA JC.: Adult body lean mass declines with age: some longitudinal observations. *Metabolism* 1970; 19: 653-662.

FORDE CG, CANTAU B, DELAHUNTY CM, ELSNER RJ.: Interactions between texture and trigeminal stimulus in a liquid food system: effects on elderly consumers preferences. *Journal of Nutrition, Health & Aging* 2002; 6: 130-133.

FUKUNAGA A.: Age-related changes in renewal of taste bud cells and expression of taste cell-specific proteins in mice. *Kokubyo Gakkai Zasshi Japan* 2005; 72: 84-89.

GASSER T.: Genetics of Parkinson's disease. *Current Opinion in Neurology* 2005; 18: 363-369.

GRAY A, BERLIN JA, MC KINLEY JB.: An examination of research design effects on the association of testosterone and male aging: results of a metaanalysis. *Journal of Clinical Epidemiology* 1991; 44: 671-684.

GRUNWALD M, BEYER L. *Der bewegte Sinn: Grundlagen und Anwendungen zur haptischen Wahrnehmung*. Birkhäuser Verlag, Basel; 2001.

HECK GL, MIERSON S, DE SIMONE JA.: Salt taste transduction occurs through an amiloride-sensitive sodium transport pathway. *Science* 1984; 223: 403-405.

HEILMANN S, HUMMEL T.: Olfactory event related potentials to ortho- and retronasal stimulation. *Chemical senses* 2001; 26: 1068.

HUANG AL, CHEN X, HOON MA, CHANDRASHEKAR J, GUO W, TRAENKNER D, RYBA NJP, ZUKER CS.: The cells and logic for mammalian sour taste detection. *Nature* 2006; 442: 934-938.

HULSHOFF POL HE, HIJMAN R, BAARÈ WFC, VAN EEKELEN S, VAN REE JM.: Odor discrimination and task duration in young and older adults. *Chemical Senses* 2000; 25: 461-464.

IOM - Institute of Medicine/ Food and Nutrition Board: Dietary reference intakes for calcium, phosphorus, magnesium, vitamine D and flouride. National Academy Press, Washington D.C. 1997.

JAFEK BW, HARTMAN D, ELLER PM, JOHNSON EW, STRAHAN RC, MORAN DT.: Postviral olfactory dysfunction. *American Journal of Rhinology* 1990; 4: 91-100.

KERN RC.: Chronic sinusitis and anosmia: pathologic changes in the olfactory mucosa. *Laryngoscope* 2000; 110: 1071-1077.

KINSELLA K, VELKOFF VA.: *An Aging World: 2001*. No. US Census Bureau, Series P95/01-1. US Government Printing Office, Washington, D.C. 2001

KOBAYASHI K, KUMAKURA M, YOSHIMURA K, SHINDO J.: Stereo-structural study of the lingual papillae and their connective tissue cores in relation to ageing changes in the human tongue. *Italian Journal of anatomy and Embryology* 2001; 106: 305-311.

KOSKINEN S, NENONEN A, TUORILA H.: Intakes of cold cuts in the elderly are predicted by olfaction and mood, but not by flavour type or intensity of the products. *Physiology & Behavior* 2005; 85: 314-423.

KOVACS T, CAIRNS NJ, LANTOS PL.: Olfactory centres in Alzheimer's disease: olfactory bulb is involved in the early Braak's stages. *Neuroreport* 2001; 12: 285-288.

KOVACS T.: Mechanisms of olfactory dysfunction in aging and neurodegenerative disorders. *Ageing Research Reviews* 2004 3:215-232.

KREMER S, BULT JHF, MOJET J, KROEZE JHA.: Food perception with age and its relationship to pleasantness. *Chemical Senses* 2007; 32: 591-602.

KRETZ O, BARBRY P, BOCK P, LINDEMANN B.: Differential expression of RNA and protein of the three pore-forming subunits of the amiloride-sensitive epithelial sodium-channel in taste buds of the rat. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry* 1999; 47:51-64.

LANDIS BN, KONNERTH CG, HUMMEL T.: A Study on the frequency of olfactory dysfunction. *Laryngoscope* 2004; 114: 1764-1769.

LASKA M.: Perception of trigeminal chemosensory qualities in the elderly. *Chemical senses* 2001; 26: 681-689.

LASKA M.: Perception of trigeminal chemosensory quality in the elderly. *Chem Senses* 2001; 26: 681-689.

LASKA M, AYABE-KANAMURA S, HÜBNER F, SAITO S.: Olfactory discrimination ability for aliphatic odorants as a function of oxygen moiety. *Chemical Senses* 2000; 25: 189-197.

LASKA M, SEIBT A, WEBER A.: „Microsomatic“ primates revisited: olfactory sensitivity in the squirrel monkey. *Chemical Senses* 2000; 25: 47-53.

LAUGERETTE F, PASSILLY-DEGRACE P, PATRIS B, NIOT I, FEBBRAIO M, MONTMAYEUR JP, BESNARD P.: CD36 involvement in orosensory detection of dietary lipids, spontaneous fat preference and digestive secretions. *Journal of Clinical Investigation* 2005; 115: 3177-3184.

LI X, STASZEWSKI L, XU H, DURICK K, ZOLLER M, ADLER E.: Human receptors for sweet and umami taste. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2002; 99: 4692-4696.

LIN W, BURKS CA, HANSEN DR, KINNAMON SC, GILBERTSON TA.: Taste receptor cells express pH-sensitive leak K⁺-Channels. *Journal of Neurophysiology* 2004; 92: 2909-2919.

LINDEMANN B.: Receptors and transduction in taste. *Nature* 2001; 413: 219-225.

LINSTER C, MALONEY M, PATIL M, HASSELMO ME.: Enhanced cholinergic suppression of previously strengthened synapses enables

the formation of self-organized representations in olfactory cortex. *Neurobiology of Learning and Memory* 2003; 80: 302-314.

LYALL V, ALAM RI, MALIK SA, PHAN THT, VINNIKOVA AK, HECK GL, DE SIMONE JA.: Basolateral Na⁺-H⁺ exchanger-1 in rat taste receptor cells is involved in neural adaptation to acidic stimuli. *Journal of Physiology* 2004; 556: 159-173.

MAC INTOSH CG, ANDREWS JM, JONES KI, WISHART JM, MORRIS HA, JANSEN JB, MORLEY JE, HOROWITZ M, CHAPMAN IM.: Effects of age on concentrations of plasma cholecystokinin, glucagons-like peptide 1 and peptide YY and their relation to appetite and pyloric motility. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999; 69: 999-1006.

MACKAY-SIM A, JOHNSTON ANB, OWEN C, BURNE THJ.: Olfactory ability in the healthy population: reassessing Presbyosmia. *Chemical Senses* 2006; 31: 763-771.

MAJCHRZAK D.: Vorlesung "Methoden der sensorischen Analyse" SS 2007

MASAOKA Y, YOSHIMURA N, INOUE M, KAWAMURA M, HOMMA I.: Impairment of odor recognition in Parkinson's disease caused by weak activations of the orbitofrontal cortex. *Neuroscience Letters* 2007; 412: 45-50.

MATSUNAMI H, MONTMAYEUR JP, BUCK LBA.: A family of candidate taste receptors in human and mouse. *Nature* 2000; 404: 601-604.

MAVI A, CEYHAN O.: Bitter taste thresholds, numbers and diameters of circumvallate papillae and their relation with age in a Turkish population. *Gerontology* 1999; 16: 119-122.

MC CUSKER Foundation of Alzheimer's disease research
www.alzheimers.com.au (aufgerufen am 10.Juli 2008)

MELA DJ.: Sensory assessment of fat content in fluid dairy products. *Appetite* 1988; 10: 37-44.

MEREDITH M.: Human vomeronasal organ function: a critical review of best and worst cases. *Chemical Senses* 2001; 26: 433-445.

MILETIC ID, SCHIFFMAN SS, MILETIC VD SATTELY-MILLER EA.: Salivary IgA secretion rate in young and elderly persons. *Physiology & Behavior* 1996; 60: 243-248.

MISTRETTA CM.: Ageing effects on anatomy and neurophysiology of taste and smell. *Gerodontology* 1984; 3: 243-248.

MOMBAERTS P, WANG F, DULAC C, CHAO S, NEMES A, MENDELSON M, EDMONDSON J, AXEL R.: Visualizing an olfactory sensory map. *Cell* 1996; 87: 675-686.

MORLEY JE, FLOOD JF, SILVER AJ.: Opioid peptides and aging. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1990; 579: 123-132.

MORLEY JE, KAISER FE, PERRY HM, PATRICK P, MORLEY PM, STAUBER PM, VELLAS B, BAUMGARTNER RN, GARRY PJ.: Longitudinal changes in testosterone, luteinizing hormone, and follicle-

stimulating hormone in healthy older men. *Metabolism* 1997; 46: 410-413.

MORLEY JE, PERRY HM, BAUMGARTNER RP, GARRY PJ.: Commentary. Leptin, adipose tissue and aging – is there a role for testosterone? *Journals of Gerontology* 1999; 54: B108-B109.

MORLEY JE, THOMAS DR.: Anorexia and aging: pathophysiology. *Nutrition* 1999; 15: 499-503.

MORLEY JE.: Decreased food intake with aging. *Journals of Gerontology* 2001, 56A: 81-88.

MORLEY JE.: Neuropeptide regulation of appetite and weight. *Endocrine Reviews* 1987; 8: 256-287.

MORLEY JE.: The neuroendocrine control of appetite: the role of the endogenous opiates, cholecystokinin, TRH, Gamma-amino-butyric-acid and the diazepam receptor. *Life Sciences* 1980; 27: 355-368.

MORLEY JM.: Anorexia, sarcopenia and aging. *Nutrition* 2001; 17: 600-603.

MORROT G, BROCHET F, DUBORDUIEU D.: The color of odors. *Brain and Language* 2001; 79: 309-320.

MOSES SW, ROTEM Y, JAGODA N, TALMOR N, EICHHORN F, LEVIN S.: A clinical, genetic and biochemical study of familial dysautonomia in Israel. *Israel Journal of Medical Science* 1967; 3: 358-371.

MUELLER KL, HOON MA, ERLBACH I, CHANDRASHEKAR J, ZUKER CS, RYBA NJP.: The receptors and coding logic for bitter taste. *Nature* 2005; 434: 225-229.

MURPHY C, GILMORE MM, SEERY CS, SALMON DP, LASKER BR.: Olfactory thresholds are associated with degree of dementia in Alzheimer's Disease. *Neurobiology of Aging* 1990; 11:465-469.

MURPHY C, GILMORE MM.: Quality-specific effects of aging on the human taste system. *Perception and Psychophysics* 1989; 46: 555-559.

MURPHY C, SCHUBERT MS, CRUICKSHANKS KJ, KLEIN BEK, KLEIN R, NONDAHL DM.: Prevalence of olfactory impairment in older adults. *Journal of the American Medical Association* 2002; 288: 2307-2312.

NELSON G, CHANDRASHEKAR J, HOON MA, FENG L, ZHAO G, RYBA NJ, ZUKER CS.: An Amino acid taste receptor. *Nature* 2002; 416: 199-202.

NIEWOEHNER CB, ALLEN JI, BOOSALIS M, LEVINE AS, MORLEY JE.: Role of zinc supplementation in type II diabetes mellitus. *The American Journal of Medicine* 1986; 81:63-68.

NORDIN S, BRAEMERSON A, BRINGLOEW E, KOBAL G, HUMMEL T, BENDE M.: Substance and tongue-region specific loss in basic taste quality identification in elderly adults. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 2007; 264: 285-289.

NOVAK LP.: Aging, total body potassium, fat free mass, and cell mass in males and females between ages 18-85 years. *Journals of Gerontology* 1972; 27: 438-443.

ONGUR D, FERRY AT, PRICE JL.: Architectonic subdivisions of the human orbital and medial prefrontal cortex. *Journal of Comparative Neurology* 2003; 460: 425-449.

OSAKI T, OHSHIMA M, TOMITA Y, MATSUGI N, NOMURA Y.: Clinical and physiological investigations in patients with taste abnormality. *Journal of Oral Pathology & Medicine* 1996; 25: 38-43.

PERRY HM, MILLER DK, PATRICK P, MORLEY JE.: Testosterone and leptin in older African-American men. Relationship to age, strength, function and season. *Metabolism* 2000; 49: 1085-1091.

PRASAD AS, FITZGERALD JT, HESS JW, KAPLAN J, PELEN F, DARDENNE M.: Zink deficiency in elderly patients. *Nutrition* 1993; 9: 218-224.

QUIGNON P, GIRAUD M, RIMBAULT M, LAVIGNE P, TACHER S, MORIN E, RETOUT E, VALIN AS, LINDBLAD-TOH K, NICOLAS J, GALIBERT F.: The dog and rat olfactory receptor repertoires. *Genome Biology* 2005; 6: 83.

REICHERT H.: *Neurobiologie* 2. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, 2000

ROLLS ET, KRINGELBACH ML, DE ARAUJO IE.: Different representations of pleasant and unpleasant odours in the human brain. *European Journal of Neuroscience* 2003; 18: 695-703.

ROSS RS, MC GAUGHY J, EICHENBAUM H.: Acetylcholin in the orbitofrontal cortex is necessary for the acquisition of a socially transmitted food preference. *Learning & Memory* 2005; 12: 302-306.

ROTH J, RADIL T, RUZICKA E, JECH R, TICHY J.: Apomorphine does not influence olfactory thresholds in Parkinson's disease. *Functional Neurology* 1998; 13: 99-103.

ROWE JW, ANDRES R, TOBIN JD et al.: The effect of age on creatinine clearance in men: a cross-sectional and longitudinal study. *Journals of Gerontology* 1976; 31: 155-163.

ROZIN P.: „Taste-smell confusions” and the duality of the olfactory sense. *Perception and Psychophysics* 1982; 31: 397–401.

RUBIN BD, KATZ LC.: Optical imaging of odorant representations in the mammalian olfactory bulb. *Neuron* 1999; 23: 499-511.

RUBIN BD, KATZ LC.: Spatial coding of enantiomers in the rat olfactory bulb. *Nature Neuroscience* 2001; 4: 355-356.

SCALERA G, GRIGSON PS, NORGREN R.: Gustatory functions, sodium appetite, and conditioned taste aversions survive excitotoxic lesions of the thalamic taste area. *Behavioral Neuroscience* 1997; 111: 633-645.

SCHIFFMAN SS, GRAHAM BG, SATTELY MILLER EA, ZERVAKIS J, WELSH-BOHMER K.: Taste, Smell and neuropsychological performance of individuals at familial risk for Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging* 2002; 23: 397-404.

SCHIFFMAN SS, MILETIC ID.: Effect of taste and smell on the secretion rate of salivary IgA in elderly and young persons. *Journal of Nutrition, Health & Aging* 1999; 3:158-164.

SCHIFFMAN SS, WARWICK ZS.: Flavour enhancement of foods for the elderly can reverse anorexia. *Neurobiology of Aging* 1988; 9: 24-26.

SCHIFFMAN SS.: Critical illness and changes in sensory perception. *Proceedings of the Nutrition Society* 2007; 66: 331-345.

SCHIFFMAN SS.: Sensory enhancement of foods for the elderly with monosodium glutamate and flavors. *Food Reviews International* 1998; 14: 321-333.

SCHMIDT RF, SCHAIBLE HG.: *Neuro- und Sinnesphysiologie*. 5. Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2005

SGE.: *Fünfter Schweizerischer Ernährungsbericht*. Verlag Bundesamt für Gesundheit, 1. Auflage; 2005.

SHAH RR. Drug development and use in the elderly: search for the right dose and dosage regimen. *British Journal of Clinical Pharmacology* 2004; 58: 452-469.

SHEPHERD GM.: Smell images and the flavour system in the human brain. *Nature* 2006; 444: 316-321.

SHEPHERD GM.: The human sense of smell: are we better than we think? *Public Library of Science Biology* 2004; 2: 146.

SHI P, ZHANG J.: Contrasting modes of evolution between vertebrate sweet/umami receptor genes and bitter receptor genes. *Molecular Biology and Evolution* 2006; 23: 292-300.

SIH R, MORLEY JE, KAISER FE, PERRY HM III, PATRICK P, ROSS C.: Testosterone replacement therapy in older hypogonadal men, a 12-month randomized controlled trial. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 1997; 82: 1661-1667.

SIMCHEN U, KOEBNICK C, HOYER S, ISSANCHOU S, ZUNFT HJF.: Odour and taste sensitivity is associated with body weight and extent of misreporting body weight. *European Journal of Clinical Nutrition* 2006; 60: 698-705.

SMALL DM, GERBER JC, MAK YE, HUMMEL T.: Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans. *Neuron* 2005; 47: 593-605.

SMALL DM, VOSS J, MAK YE, SIMMONS KB, PARRISH TB, GITELMAN DR.: Experience-dependent neural integration of taste and smell in the human brain. *Journal of Neurophysiology* 2004; 92: 1892-1903.

STATISTIK AUSTRIA www.statistik.at (aufgerufen am 1. September 2008)

STEHLE P, JUNK K, SACK S, VOLKERT D.: Ernährung älterer Menschen. In: *Deutscher Ernährungsbericht* (Hrsg. DGE) Druckerei Henrich GmbH, Frankfurt/Main, 1996: 146-178.

STEVENS JC, CAIN WS, SCHIET FT, OATLEY MW.: Olfactory adaptation and recovery in old age. *Perception* 1989; 18: 265-276.

STEVENS JC, CAIN WS.: Changes in taste and flavour in aging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1993; 33: 27-37.

STEVENS JC, CRUZ LA, HOFFMAN JM, PATTERSON MQ.: Taste sensitivity and aging: high incidence of decline revealed by repeated threshold measures. *Chemical Senses* 1995; 20: 451-459.

STEVENS JC, PLANTINGA A, CAIN WS.: Reduction of odor and nasal pungency associated with aging. *Neurobiology of Aging* 1982; 3: 125-132.

STEWART WB, KAUER JS, SHEPHERD GM.: Functional organization of rat olfactory bulb analysed by the 2-deoxyglucose method. *Journal of Comparative Neurology* 1979; 185: 715-734.

STEWART-KNOX BJ, SIMPSON EEA, PARR H, RAE G, POLITO A, INTORRE F, MEUNIER N, ANDRILLO-SANCHEZ M, O'CONNOR JMO, COUDRAY C, STRAIN JJ.: Zinc status and the taste acuity in older Europeans: The ZENITH study. *European Journal of Clinical Nutrition* 2005; 59: S31-S36.

SUN WM, DORAN S, JONES KL, OOI E, BOECKXSTAENS G, HEBBARD GS, LINGENFELSER T, MORLEY JE, DENT J, HOROWITZ M.: Effects of nitroglycerine on liquid gastric emptying and antropyloroduodenal motility. *American Journal of Physiology* 1998; 275: G1173-G1178.

SWAN GE, CARMELLI D.: Impaired olfaction predicts cognitive decline in nondemented older adults. *Neuroepidemiology* 2002; 221: 58- 67.

SWIFT CG.: Pharmacodynamics: changes in homeostatic mechanisms, receptor and target organ sensitivity in the elderly. *British Medical Bulletin* 1990; 46: 36-52.

TAYLOR AJ, LINFORTH RST, HARVEY BA, BLAKE A.: Atmospheric pressure chemical ionisation for monitoring of volatile flavour release in vivo. *Food Chemistry* 2000; 71: 327-338.

TORDOFF MG, SANDELL MA.: Vegetable bitterness is related to calcium content. *Appetite* 2009; 52: 498-504.

TURNHEIM K.: When drug therapy gets old. *Pharmacokinetics and pharmacodynamics in the elderly. Experimental Gerontology* 2003; 38: 843-853.

VENNEMANN MM, HUMMEL T, BERGER K.: The association between smoking and smell and taste impairment in the general population. *Journal of Neurology* 2008; 255: 1121-1126.

VIGH B, MANZANO E SILVA MJ, FRANK CL, VINCZE C, CZIROK SJ, SZABÒ A, LUKÀTS A, SZÈL A.: The system of cerebrospinal fluid-contacting neurons. Its supposed role in the nonsynaptic signal transmission of the brain. *Histology and Histopathology* 2004; 19: 607-628.

VOLKERT D.: Ernährung im Alter. 1997, Verlag Quelle & Meyer, Wiesbaden

WILSON DA, STEVENSON RJ.: Olfactory perceptual learning: the critical role of memory in odor discrimination. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 2003; 27: 307-328.

WILSON MMG, MORLEY JE.: Aging and energy balance. *Journal of Applied Physiology* 2003; 95: 1728-1736.

WOODHOUSE KW, JAMES OFW.: Hepatic drug metabolism and ageing. *British Medical Bulletin* 1990; 46: 22-35.

XU FQ, GREER CA, SHEPHERD GM. Odor maps in the olfactory bulb. *Journal of Comparative Neurology* 2000; 422: 489-495.

YAMAGUCHI K, HARADA S, KANEMARU N, KASAHARA Y.: Age related alteration in taste bud distribution in the common marmoset. *Chemical Senses* 2001; 26: 1-6.

YAMAMOTO T, SHIBATA M, GOTO N, EZURE H, ITO J, SUZUKI M.: Morphometric evaluation of the human tractus solitarius. *Okajimas Folia Anatomica Japonica* 2005; 82: 5-8.

ZHANG Y, HOON M, CHANDRASHEKAR J, MUELLER K, COOK B, WU D, ZUKER C, RYBA N.: Coding of sweet, bitter and umami tastes: different receptor cells sharing similar signalling pathways. *Cell* 2003; 112: 293-301.

ZHAO GQ.: The receptors for mammalian sweet and umami taste. *Cell* 2003; 115: 255-266.

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Daniela Wagner
Adresse: 7535 Güttenbach 368
Geboren am: 06.12.1983 in Güssing
e-mail: danielawagner@gmx.at
Telefon: 0664/5210080
Staatsbürgerschaft: Österreich

Ausbildung:

seit Oktober 2002
Studium der Ernährungswissenschaften an der
Universität Wien, Wahlschwerpunkt:
Lebensmittelproduktion und -technologie

1994 – 2002
Zweisprachiges BG Oberwart, Abschluss im Juni 2002
mit der Matura

1990 – 1994
Volksschule Güttenbach

Berufserfahrung:

seit Mai 2008
Projektmanagerin bei Felix Austria,
Abteilung Forschung und Entwicklung, Aufgaben:
Produktentwicklung und Qualitätssicherung
Mag. Evita Langwieser
Felixstr. 24 7200 Mattersburg

August – November 2007

REWE-Group Austria

Berufspraktikum im Bereich Qualitätsmanagement von
Eigenmarkenprodukten

DI Marlene Steinböck

IZ NÖ Süd Strasse 3 Objekt 16 2355 Wiener Neudorf

Feber 2006

Arbeitsgemeinschaft Klinische Ernährung. Datenerfassung und
-auswertung im Rahmen des „Nutrition Day 06“

Dr. Karin Schindler

Höfergasse 13/1 1090 Wien,

August 2005

Firma Gustana: Fachpraktikum im Tätigkeitsbereich

Qualitätssicherung von Lebensmitteln (Mikrobiologie und
Sensorik)

Hr. Roland Marsch

Oberlaaer Strasse 298. 1230 Wien

Sprachkenntnisse:

Deutsch (Muttersprache)

Kroatisch (Muttersprache)

Englisch - in Wort und Schrift

Spanisch - Grundkenntnisse

Wien, im Mai 2009

Daniela Wagner