

## **Bibliografischer Nachweis**

Röder, Guido: Der Einsatz von Duftstoffen im Multimediabereich

Diplomarbeit

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (FH)

Fachbereich Polygrafische Technik, Studiengang Medientechnik, 2001

64 Seiten, 18 Bilder, 4 Tabellen, 86 Quellenangaben

## **Autorreferat**

Der Geruchssinn ist biologisch gesehen unser primitivster. Seine Verbindungen führen zu den emotionalen Zentren unseres Gehirns. Die ursprünglichen Funktionen, Nahrung zu finden und Gefahr zu erkennen, haben evolutionär bedingt an Bedeutung verloren. Das Wissen um seine Einflüsse auf unser Gefühlsleben lässt ihn jedoch mehr und mehr in den Fokus wissenschaftlicher Forschung rücken. Noch ist es ihr allerdings nicht gelungen, die Abläufe olfaktorischer Wahrnehmungen im Gehirn zu verstehen und detailliert nachzuvollziehen.

Der Stand der Forschung widerspiegelt sich im Wissen über den Umgang mit Duftstoffen. Ob dabei körperliches Wohlempfinden, geistige Bereicherung oder blanke Unterhaltung das Ziel sein soll – die Möglichkeit einer bisher kaum genutzten Sinnesreizung findet wachsendes Interesse. Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel, den Stand der Wissenschaft aus den Bereichen Anatomie, Biopsychologie, Chemie, Messtechnik und Duftstoffpräsentation zu vereinen, um einen generellen Überblick der Kenntnisse über den menschlichen Geruchssinn und damit verbundene technische Anforderungen geben zu können.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Der Geruchssinn</b>	<b>7</b>
2.1	Struktur und Verschaltung des Geruchsorgans	8
2.2	Funktion der Geruchswahrnehmung	12
2.3	Eigenschaften des Geruchssinns	13
2.4	Codierung von Geruch auf höheren Ebenen	17
2.5	Das Zusammenspiel mit anderen Sinnesorganen	18
2.6	Nature vs. Nurture	20
<b>3.</b>	<b>Die psychologische Bedeutung des Geruchssinns</b>	<b>22</b>
3.1	Aktivierungs- und Lernprozesse	23
3.2	Biopsychologische Aspekte der Emotion	25
3.3	Geruch und Verhalten	26
<b>4.</b>	<b>Eigenschaften von Duftstoffen</b>	<b>30</b>
4.1	Allgemeine Merkmale von Geruchsstoffen	31
4.2	Klassifikation von Gerüchen	32
4.3	Einteilung nach der chemischen Struktur	36
4.4	Messverfahren	38
<b>5.</b>	<b>Technische Umsetzungen im Multimediabereich</b>	<b>47</b>
5.1	Duftkino	48
5.1.1	Problembetrachtungen zum Duftkino	49
5.2	Düfte im World Wide Web	53
5.2.1	Problembetrachtungen zu Düften via World Wide Web	54
5.3	Beispiel „iSmell“	57
5.4	Beispiel „Sniffman“	58
<b>6.</b>	<b>Schlussbetrachtungen</b>	<b>61</b>
6.1	Perspektiven	62
<b>7.</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>64</b>
	Selbständigkeitserklärung	
	Thesen	

## Einleitung

Die Wahrnehmung unserer Umwelt wird von uns als selbstverständlich hingenommen. Wir sehen, hören, fühlen, riechen und wir schmecken. Einen Baum zu betrachten, einem Lied zuzuhören, eine Tasse frisch gemahlten Kaffees in der Hand zu halten, ihn zu riechen und zu schmecken gehört für einen Mitteleuropäer zu alltäglichen Ereignissen. Den primären Teil unserer Wahrnehmungen übernehmen dabei die sensitiven Zellen (Rezeptoren) der Wahrnehmungsorgane. Über das Auge regt Licht des Wellenlängenbereichs 400 bis 650 nm Rezeptorzellen auf der Netzhaut an. Über die Ohrmuschel werden Schallwellenbewegungen von 16 bis 20000 Hz der Luftmoleküle zum Trommelfell geleitet und versetzen dieses in Schwingungen, welche über das Innenohr zu den Rezeptoren der flüssigkeitsgefüllten Schnecke weitergeleitet werden. Über spezielle Nervenendigungen in der Haut werden mechanische, thermische und chemische Berührungsreize wahrgenommen. Über die Zunge werden Geschmacksknospen gereizt und über die Nasenschleimhaut werden Geruchsmoleküle aktiviert.

Im nächsten Schritt der Wahrnehmung werden aufgenommene Informationen auf unterschiedlichen Wegen durch Rezeptoren der jeweiligen Sinnesorgane in bioelektrische Signale umgewandelt. In den Stäbchen und Zapfen des Sehorgans, den Haarzellen des Hörorgans, den Hautrezeptoren sowie in den Geruchs- und Geschmacksrezeptoren in der Nase und auf der Zunge erfolgt diese Signalumwandlung in einem parallelen, mehrstufigen Prozess. Doch erst der letzte Akt der Wahrnehmung lässt uns den Baum „sehen“, das Lied „hören“, die Tasse „spüren“, sowie den Kaffee „riechen“ und „schmecken“. Erst nach der Übertragung der bioelektrischen Signale über ein Netzwerk aus Zellen – den Neuronen – zum Gehirn, wird aus objektiver Sinnesphysiologie eine subjektive

Wahrnehmung. Unsere Umwelt wird somit individuell empfunden. Die ankommenden Impulse veranlassen hier im Gehirn ein komplexes Zusammenspiel aus informationsverarbeitenden Prozessen, in dessen Verlauf rege Interaktionen aus neuen Informationen und früheren Erfahrungen stattfinden. Durch bestehende Erfahrungen kommt es beispielsweise zu genaueren und schnelleren Wahrnehmungen.<sup>1</sup>

Jeder unserer Sensoren kann nur eine beschränkte Bandbreite an Sinneseindrücken vermitteln. Wir können beispielsweise kein ultraviolette Licht sehen oder Frequenzen über 22000 Hz wahrnehmen. Die biologische Psychologie unterteilt jede Empfindung in 4 Dimensionen – Qualität, Intensität, Räumlichkeit und Zeitlichkeit.<sup>2</sup> Die beiden letzten sind aufgrund ihres fundamentalen Charakters weit aus genauer differenzierbar. Ich kann die Position eines Baumes oder die Länge eines Liedes relativ exakt bestimmen, vorausgesetzt, die beiden anderen Dimensionen erlauben dies.

Gewagt ist der Versuch, unsere fünf Sinne in Kategorien wie Wichtigkeit, Nützlichkeit oder Wert einzuordnen. Viele Menschen neigen bei der Frage nach Entbehrlichkeit dazu, das Auge am wenigsten missen zu wollen, während am anderen Ende dieser „Rangbildung“ die Nase steht.<sup>3</sup> Weshalb glaubt man dies?

Zumindest ist ein Verlust der Bedeutung in evolutionärer Tragweite nachvollziehbar. Drohende Gefahren werden im 21. Jahrhundert in unseren Kulturkreisen nicht mehr mit der Nase wahrgenommen, Nahrung wird nicht mehr gewittert. Auch neurophysiologisch ist ein evolutionärer Rückgang erwiesen. Die starke Ausdehnung des Neokortex – evolutionär gesehen, der intellektuelle Vorsprung gegenüber Primaten – hat das Riechhirn in die Tiefe verlagert. Freuds Theorie, dass mit dem aufrechten Gang der Geruchssinn zur Nutz-

---

<sup>1</sup> Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S.472

<sup>2</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 304

<sup>3</sup> Vron, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 14

losigkeit verkommt, da mit den Augen ein wesentlich weiteres Feld „einsehbar“ ist, stimmt zumindest dahingehend, dass Geruchsstoffe schwerer sind als Luft und somit am Boden mehr zu erriechen wäre. Doch nicht nur sinnlos gewordene archaische Funktionen vermögen das Desinteresse an der Erforschung des Geruchsorgans zu erklären. Unser Wissen weist hier noch immer Lücken auf. Selbst im globalen Maßstab ist das Interesse noch heute auffällig gering. Es fällt schwer zu untersuchen, welche genaue Wirkung einem Geruchstoff zukommt. Licht ist über seine Wellenlänge exakt definierbar, ebenso ein Ton über seine Frequenz oder die flächenwirkende Kraft des Druckes. Beim Versuch, Analogien bei der Geruchswahrnehmung zu finden, scheitert man. Unser Vokabular diesbezüglich bestätigt den eingeschränkten Horizont. Entweder führen wir einen Geruch auf seine Quelle zurück, wie im Beispiel des Kaffees, ordnen ihn einer Empfindung zu, z.B. „es riecht *gut*“, oder haben gar Probleme, ihn zu benennen. Dies alles erklärt zumindest ansatzweise, weshalb olfaktorische Wahrnehmungen letztlich noch immer nicht entschlüsselt sind.

So scheint es denn nur konsequent, dass sich in der Menschheitsgeschichte schöpferisch-ästhetisches Handeln im Sinne eines künstlerischen Prozesses auf andere Formen der Wahrnehmung konzentriert. Die darstellende Kunst und die Tonkunst als Ausdrucksform sind weltweit – in kulturell differenzierenden Philosophien – akzeptiert und anerkannt. Einen Siebdruck von Andy Warhol kann man bewundern, eine Arie von Verdi genießen, eine Installation des Österreicherers Franz West sogar erfühlen, ein „Duftspektakel“ ähnlicher künstlerischer Tragweite sucht man hingegen vergeblich. Daran hat sich bis heute nicht viel geändert. Computerbasierte multimediale Anwendungen sprechen lediglich den Gesichtssinn und den Hörsinn an. Es gab und gibt Versuche, auch den Geruchssinn über derartige Anwendungen anzusprechen, nur ste-

cken die noch in den Kinderschuhen, werden ignoriert, belächelt oder in Frage gestellt. Ein Phänomen übrigens, welches prinzipiell mit dem ähnlich stiefmütterlich behandelten Tastsinn nicht vergleichbar ist. Hier sind es *nur* Fragen der technischen Umsetzung, die eine massenmediale Zugänglichkeit verhindern.

Die Multimedialität des Kinos wurde bereits mehrmals um die Dimension des Riechens erweitert. Verschiedenste technische Umsetzungen in Qualität und Quantität brachten unterschiedliche Ergebnisse. Auch andere mediale Formen, wie Fernsehen und Internet wurden olfaktorisch erweitert. Auffällig bei allen Versuchen – eine kurze Lebenserwartung. Weshalb findet es keine Akzeptanz?

Sind wir in Zeiten multimedialen „Bombardements“ sensorisch überfordert? Reagiert unser, durch Umweltgifte „geschwächter“ Körper schon mit Abwehrhaltung?

Im Marketingbereich ist man sich der Nutzbarmachung olfaktorischer Reize längst bewusst. Das in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts im Weihrauch entdeckte Tetrahydrocannabinol (THC) rückt die zweitausend Jahre alte christliche Tradition der kirchlichen Beduftung in eine unbehagliche Nähe zum Thema Nutzbarmachung. Bäckereien ventilieren den Geruch frischer Brötchen in deren Eingangsbereich. Ledersitzen teurer Wagen verhilft man durch nachträgliche Beduftung mit „Ledergeruch“ zu besseren Verkaufszahlen.<sup>4</sup> Doch wie sieht der Spagat zwischen nutzbringender sensorischer Bereicherung und unangenehmer olfaktorischer Unzulänglichkeit aus?

Den vielen Fragen zum Geruchssinn stehen bisher wenige Antworten gegenüber. Um olfaktorische Reize Teil unserer vielgepriesenen Multimedialität werden zu lassen, ist es wichtig, den Ablauf unserer Geruchswahrnehmung, die Weiterverarbeitung im Gehirn sowie Kenntnisse über Duftstoffe, deren Aufbau und Wirkungen auf den

---

<sup>4</sup> vgl. [www.labc.de](http://www.labc.de) (2001)

menschlichen Organismus, zu besitzen. Ziel dieser Arbeit soll es daher sein, nicht nur den gegenwärtigen Stand des Wissens wiederzugeben und auf offene und ungeklärte Sachverhalte hinzuweisen, sondern den menschlichen Geruchssinn anatomisch darzustellen, seine neuralen Verbindungen zu charakterisieren und die damit verbundenen psychologischen Auswirkungen zu zeigen. Darüber hinaus wird der Autor auf aktuelle Einsatzgebiete von Duftstoffen eingehen. Dabei werden sowohl prinzipielle Vorgaben und Richtlinien als auch Einschränkungen aufgezeigt.

## 2. Der Geruchssinn

Neben dem Geschmackssinn bezeichnet man den Geruchssinn auf der einen Seite als chemischen Sinn, d.h. auf chemische Substanzen reagierend und auf der anderen Seite als Fernsinn, mit der Fähigkeit also, Signale aus der Umwelt aufzunehmen. Entwicklungsgeschichtlich gehört er zu unseren ältesten Sinnen. Im Verlauf der Evolution hat sich diese individuelle Fähigkeit schon bald zur Reizaufnahme entwickelt, um auf Umweltveränderungen reagieren zu können.

Für unser Leben wird die Leistungsfähigkeit heutzutage unterschätzt. Vielleicht ist gerade in der evolutionären „Zurückbildung“ des Geruchssinnes, seiner vermeintlichen Banalität, seiner Selbstverständlichkeit, eine Begründung zu sehen. Nur bei der Frage, welcher Sinneseindruck beim Anblick eines optisch makellosen, jedoch faulig stinkenden Apfels die Oberhand behält, wird die Antwort wohl bei den meisten von uns angewidertes Abwenden sein. Der optische Mittelpunkt unseres Gesichts wird zweifelsfrei in seiner Funktion als Wahrnehmungsorgan unterschätzt. Der Neurologe Oliver Sacks zitiert in der Fallbeschreibung eines schwer geschädigten olfaktorischen Stranges infolge eines Unfalles einen seiner Patienten: „Geruchssinn? Ich habe nie einen Gedanken daran verschwendet. ... Das Leben hat für mich viel von seinem Reiz verloren – man macht sich gar nicht bewusst, wie viel vom Geruch abhängt. Man riecht Menschen, man riecht Bücher, man riecht die Stadt, man riecht den Frühling – vielleicht nicht bewusst, aber der Geruch bildet einen breiten unbewussten Hintergrund für alles andere. Meine Welt war mit einem Schlag ärmer geworden...“<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Sacks, O. (1994): Der Mann, der seine Frau mit einem Hut verwechselte, S. 214

## 2.1 Struktur und Verschaltung des Geruchsorgans

Gelangen Duftstoffe in unsere, durch eine Scheidewand geteilte, Nasenhöhle, werden sie dort verwirbelt und über die Riechschleimhaut (Riechepithel) verteilt. Die beiden, etwa 5 cm<sup>2</sup> großen, bräunlich-gelb aussehenden Schleimhautareale (siehe Bild 1<sup>6</sup>) der hinteren

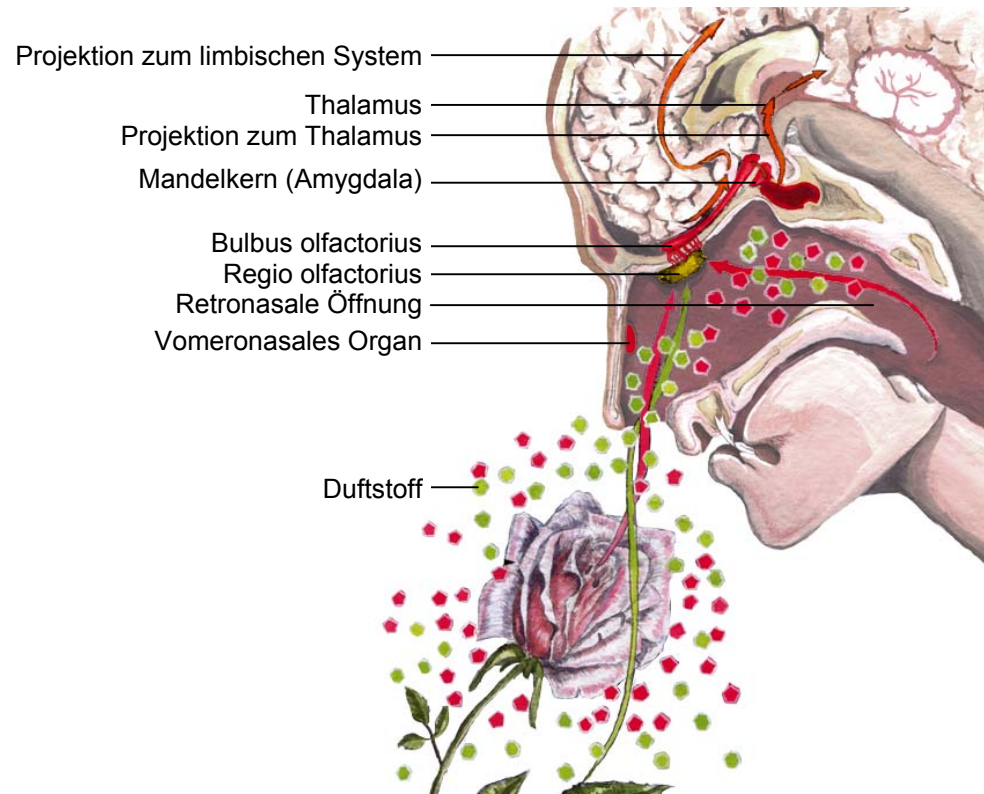


Bild 1: Der Geruchssinn

oberen Nasenhöhle (Regio olfactorius) enthalten je 3 Zelltypen. Neben den Riechzellen, enthalten sie Stützzellen zur Positionierung, Drüsenzellen zum Feuchthalten der Nase mit einem durchschnittlich 20 µm dicken Schleimfilm und Basalzellen, aus denen alle 60 Tage neue Riechzellen gebildet werden. Ein eintreffendes gasförmiges Duftmolekül wird zunächst im Schleimsekret gelöst. Der sogenannte Löslichkeitskoeffizient ist bei den meisten Duftstoffen im Wasser um das 10 bis 10 000fache größer als in Luft.<sup>7</sup> Doch noch weitere Faktoren spielen dabei eine Rolle. Zum einen sind es die

<sup>6</sup> nach: Dragoco Report (2000)

<sup>7</sup> Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 42

hydro- und lipophilen Eigenschaften eines Stoffes. Je fetthaltiger eine Substanz ist, umso weniger wird sie in der Schleimhaut gelöst. Des weiteren ist das Molekulargewicht des Geruchstoffes von Bedeutung. Je höher es ist, umso schwerer bewegen sich die Moleküle durch den Luftstrom und werden weniger rasch von der Schleimhaut aufgenommen. Die Dicke und die Viskosität der Schleimhaut spielen ebenfalls eine Rolle. Eine dickere Schleimhaut bedingt auf der einen Seite eine größere Reaktionszeit, bietet auf der anderen Seite jedoch mehr Riechzellen Platz. Folglich relativiert sich das Maß der Riechleistung wieder.

Danach steuert das Molekül die Riechzellen des Riechepithels an. Bei Riechzellen handelt es sich um sogenannte bipolare Neuronen, d.h. sie besitzen einen Dendriten und einen Neuriten (Axon). Wäh-

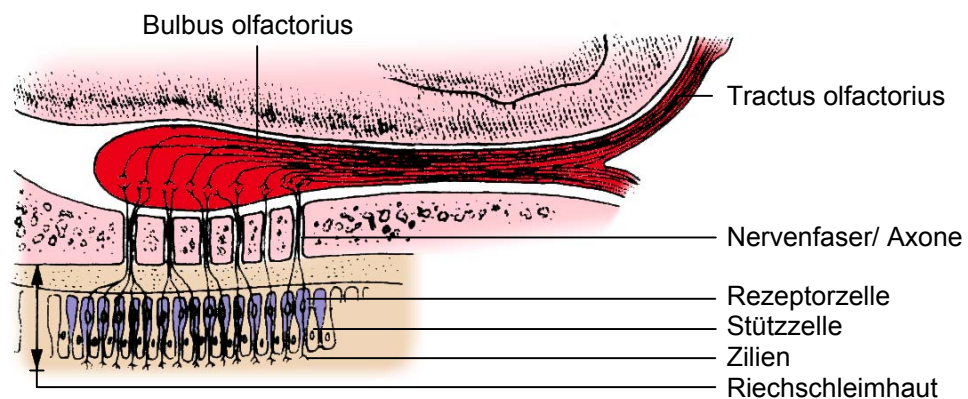


Bild 2: Der Riechnerv

rend sich die Dendriten zur Oberfläche der Schleimhaut erstrecken und als Signalaufnehmer fungieren, stellen die Neuriten die Verbindung zum Bulbus olfactorius und somit die Signalverbindung zum Gehirn dar. An den dicken dendritischen Fortsätzen befinden sich mehrere nicht bewegliche Riech-Sinneshaare (Zilien), auf denen sich ein Protein mit der Fähigkeit, Geruchsstoffe zu binden, befindet (siehe Bild 2<sup>8</sup>). Man vermutet, dass jede Riechzelle nur wenige Typen oder gar nur einen Typ von Rezeptorproteinen herstellt<sup>9</sup>,

<sup>8</sup> nach: Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S.474

<sup>9</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 444

wodurch sich eine Art „Schlüssel-Schloss-Prinzip“ ergibt, da jedes dieser etwa 1000 Proteine jeweils nur für eine bestimmte Duftgruppe empfindlich ist. Bei der Suche nach einem Verteilungsmuster von Rezeptorzellen mit gleichen Proteinen stieß man auf ortsselektive Empfindlichkeiten.<sup>10</sup> Das angeregte Protein schüttet nun aktive Moleküle in die Rezeptorzelle aus. Das Rezeptormolekül seinerseits öffnet über eine intrazelluläre Signalkaskade Ionenkanäle. Über diese strömen Natrium- und Kaliumionen ein und erzeugen das sogenannte Aktionspotential. Der enorme Verstärkungsfaktor dieser Signalkaskade ermöglicht einem einzigen Duftmolekül die Öffnung vieler Ionenkanäle. Durch Perforationen im Siebbein des Schädels leiten die dünnen axonalen Fortsätze der Riechzellen die entstandenen Potentiale direkt an den Bulbus olfactorius weiter. Von da aus projizieren sie über die Mitralzellen (Konvergenz von etwa 1000 Riechzellaxone auf ein Mitralzellendendrit) des Tractus olfactorius zum Riechhirn (olfaktorischer Paläokortex und Teile der Amygdala). Von hier projizieren sie über eine Bahn zum Thalamus

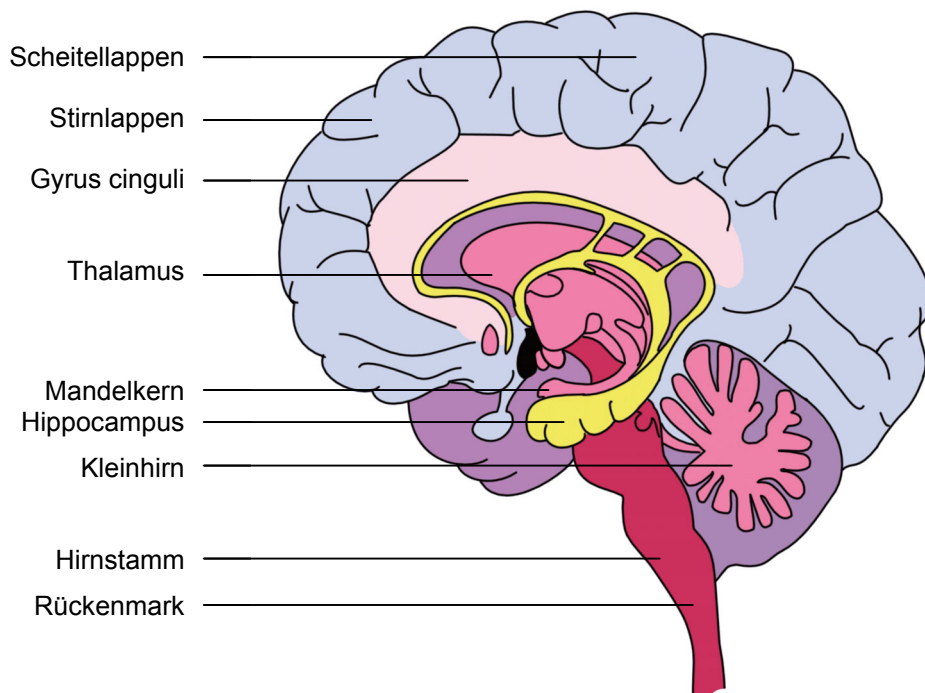


Bild 3: Sagittalschnitt des menschlichen Gehirns (schematisch)

<sup>10</sup> Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S.480

und weiter zum olfaktorischen Neokortex. Er befindet sich hinter den Augenhöhlen und ist in der Lage, Geruch zu analysieren und identifizieren und damit die eigentliche Wahrnehmung zu realisieren. Eine zweite Bahn projiziert diffus zum limbischen System.<sup>11</sup> Hierzu gehört unter anderem der Mandelkern (Amygdala) der Hypocampus (siehe Bild 3<sup>12</sup>), der für den Vergleich von ankommender und gespeicherter Information zuständig ist, verschiedene Nervenstränge (Fornix, Septum) und eine, den Hirnstamm umringende Region des Gehirns (Gyrus cinguli). Zusammen ergeben sie ein ringförmiges Areal (lateinisch: *limbus* ⇒ Ring) welches vor allem Emotionen und Motivationen, insbesondere Flucht-, Kampf- und Sexualverhalten steuert. Die konkreten Auswirkungen dieser neuronalen Verbindungen werden im Kapitel 3 erläutert.

Eine besondere Bedeutung bei der Betrachtung des menschlichen Geruchssinnes kommt dem Vomeronasalorgan (auch Jacobsonsches Organ) zu. Bei Säugetieren entdeckt, nahm man bis vor kurzem an, dass es beim Menschen nur im embryonalen Zustand existiert.<sup>13</sup> Das zigarrenförmige, im vorderen Bereich der Nasenhöhle gelegene Organ (siehe Bild 1) gleicht in seiner Struktur etwa der des Geruchsepithels. Neben einer Verbindung zum Riechepithel besitzt es eine eigene Verbindung (vomeronasaler Nerv) zum Riechhirn und anderen Strukturen im Gehirn.<sup>14</sup> Trotz seines nur rudimentären Charakters spricht man ihm die Analyse bestimmter flüchtiger und nichtflüchtiger Substanzen (Pheromone) zu. Über eine detaillierte Funktionsweise herrscht noch immer Unklarheit.

Auch der Trigeminusnerv ist in der Lage, bestimmte Gerüche wahrzunehmen. Seine Hauptbahnen laufen zur Stirn, zu den Wangen, zur Nase und zum Kinn. Im Bereich von Nasenhöhle und Mund verästelt sich ein Strang in eine große Anzahl kleiner Ausläu-

---

<sup>11</sup> Pinel, J. P. J. (1997): Biopsychologie, S. 213

<sup>12</sup> nach: [www.bildmanufaktur.ch](http://www.bildmanufaktur.ch)

<sup>13</sup> Ebberfeld, I. (2000): Dragoco Report, S. 133

<sup>14</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 60

fer und innerviert die gesamte Schleimhaut der Nasenhöhle. An den Enden befinden sich auch Ausläufer ohne spezifische Rezeptoren. Diese, als „frei“ bezeichneten Rezeptorzellen reagieren jedoch auf bestimmte Stoffe. Bei gefährlichen Stoffen führt dies zu stechenden oder brenzligen Geruchsempfindungen<sup>15</sup>, die u.U. Irritationen und Schmerzen hervorrufen können. Eine typische, zugegeben harmlose Reaktion ist die auf Meerrettich. Untersuchungen zum Verhalten des Trigemminusnerv haben ergeben, dass er erst ab einem bestimmten Schwellenwert aktiv wird. Das eigentliche Geruchsorgan tritt bei zunehmender Stimulanzstärke hinter ein trigemales Schutzsystem zurück.<sup>16</sup> Aggressive Gerüche können somit keine Schäden mehr am eigentlichen Riechorgan anrichten.

## 2.2 Funktion der Geruchswahrnehmung

Von existenzieller Bedeutung ist der Geruchssinn bei vielen Lebewesen zur Orientierung und Nahrungsbeschaffung (Makrosmaten). Der Mensch, dessen Geruchssinn nicht überlebensnotwendig ist, gilt als Mikrosmat. Zum Vergleich: der Mensch besitzt mit ca. 10 bis 30 Millionen Riehzellen nur etwa  $\frac{1}{8}$  der eines Schäferhundes – einem Vertreter der Makrosmaten. Seinen weniger gut ausgebildeten Geruchssinn nutzt der Mensch nichtsdestotrotz zur Beurteilung seiner Umwelt und Kontrolle des Zustandes seiner Nahrung. Bevor diese ins Körperinnere gelangt, muss sie den „Torwächter“ Nase passieren.

Doch mit dem Strom von Duftmolekülen, der mit jedem unserer etwa 23000 Atemzüge täglich in die Nasenhöhle gelangt, werden nicht nur rationale Entscheidungen getroffen. Das Sinnesorgan Na-

---

<sup>15</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 442

<sup>16</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 57

se ist auf vielfache Weise mit dem Gehirn vernetzt und löst in der Folge bewusste und unbewusste Reaktionen aus. Lange vergessene Erinnerungen werden geweckt oder assoziative Verknüpfungen gestrickt. Das Finden eines geeigneten Lebenspartners wird dabei genauso gesteuert, wie Wohlempfinden an bestimmten Plätzen und in bestimmten Situationen – ohne es unmittelbar begründen zu können.

### 2.3 Eigenschaften des Geruchssinns

Bei der Betrachtung der Eigenschaften unseres Geruchssinnes spielen sowohl quantitative als auch qualitative Faktoren eine Rolle. In puncto Empfindlichkeit steht der menschliche Geruchssinn zwar klar hinter dem vieler Tiere – der von Ratten gilt als 50mal, der von Hunden, je nach Geruchsstoff, als 300- bis 10000mal empfindlicher – manche Riechsinneszellen des Menschen reagieren jedoch schon durch das Einwirken eines einzigen Moleküls.<sup>17</sup> Die Begründung, weshalb beispielsweise Hunde noch besser riechen können, ist wie erwähnt, der Besitz einer viel größeren Anzahl an Rezeptorzellen. Den heute bekannten Methoden chemischer Geruchsanalysen ist der menschliche Geruchssinn durchaus überlegen. Auffällig bei der Empfindlichkeit ist die nachgewiesene schwankende individuelle Riechschwelle bei bestimmten Stoffen. Bei Limonenduft gibt es Unterschiede um das 4000fache, während bei anderen Stoffen kaum Unterschiede feststellbar sind. Aus Sicht der Evolution hat jeder das Bedürfnis vermeintlich gefährliche Substanzen rasch zu entdecken.<sup>18</sup> Diese Vermutung beruht auf der Beobachtung, dass gerade bei derartigen Substanzen die Unterschiede sehr gering ausfallen. So nutzt

<sup>17</sup> vgl. Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S. 471

<sup>18</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 74

man zum Beispiel die Sensibilität des menschlichen Geruchssinnes gegenüber schwefelhaltigen Verbindungen zur Markierung von Erdgas. Doch das sind noch nicht alle Unterschiede. Die Riechschwelle kann zudem noch intraindividuell variieren, d.h. sie kann sich bei ein und dem selben Menschen von Heute auf Morgen ändern. Dieser Aspekt findet in der psychophysischen Geruchsforschung jedoch wenig Beachtung, da man wichtigere Entdeckungen von bezeichnender Regelmäßigkeit gemacht habe. So zum Beispiel, dass der Schwellenwert zur Erkennung von Alkanen wie Methan, Äthanol, Propan, Butan oder Pentan mit zunehmender Kettenlänge abnimmt.<sup>19</sup>

Unterscheiden kann der Mensch vermutlich etwa 10000 verschiedene Düfte.<sup>20</sup> Allein die enorme Anzahl lässt die Probleme einer verbalen Differenzierung erahnen. Zur linguistischen Unüberschaubarkeit gesellt sich eine Art Zuordnungsstörung. Bei Versuchen fiel immer wieder auf, dass den Probanden der Geruch einer dargebotenen Substanz zwar bekannt vorkam, er jedoch nicht benannt werden konnte. Nach vorheriger Aufzählung aller zu erkennenden Geruchsproben durch die Versuchsleiter, nahmen die Fehlversuche bei der Identifizierung beachtlich ab.<sup>21</sup>

Unterschiede in der Intensität eines Geruchsstoffes kann der Mensch überraschend gut erkennen. William Cain (1977) konnte beim Menschen eine durchschnittliche Unterschiedsschwelle von 11 Prozent nachweisen, d.h. die Konzentration eines Geruchsstoffes musste um 11 Prozent zunehmen, um erkannt zu werden. Dieser Wert nähert sich dem Wert der Unterschiedsschwellen bei Hören und Sehen.<sup>22</sup>

Die wahrgenommene Empfindungsstärke eines Geruchs folgt, analog zum Hörsinn, dem dekadischen Logarithmus der Konzentration

---

<sup>19</sup> Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 75

<sup>20</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 442

<sup>21</sup> vgl. Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S. 472

<sup>22</sup> ebenda, S. 472

des dargebotenen Reizes. Ein nicht linearer Zusammenhang also, der die Tatsache umschreibt, dass eine verzehnfachte Geruchsstoffkonzentration eine Verdopplung der wahrgenommenen Geruchsstärke verursacht.

Tabelle 1<sup>23</sup> fasst die quantitativen Bewertungsgrößen der Geruchsempfindlichkeit zusammen.

Wahrnehmungsschwelle:	niedrigste Geruchsstoffkonzentration, die eine Geruchswahrnehmung auslöst
Erkennungsschwelle:	niedrigste Konzentration, bei der ein Geruchsstoff erkannt wird
Unterschiedsschwelle:	Maß, um wie viel ein zweiter Reiz gegenüber dem ersten verstärkt werden muss, damit beide getrennt empfunden werden

Tabelle 1

Als weitere äußerst wichtige Eigenschaft des Geruchssinnes ist sein adaptives Verhalten zu nennen. Seine Sensibilität passt sich den jeweiligen Umständen, bezüglich Dauer und Intensität des Reizes (Selbstadaption), an. Unsere täglichen Erfahrungen bestätigen eine zeitlich bedingte Minderung der Empfindungsstärke eines olfaktorischen Reizes. Auch die hedonische Bewertung der Geruchsqualität kann sich während der Adaption ändern (z.B. Von angenehm zu unangenehm). Doch noch eine weitere Form der Adaption ist beim Geruchssinn zu finden – die Kreuzadaption. Sie beschreibt die gegenseitige Beeinflussung der Sensibilität für einen Duftstoff und aller ihm ähnlichen Duftstoffe. Auch hier wurden starke Abweichungen der Ergebnisse bei unterschiedlichen Duftstoffen (z.B. bei Propanol schneller als Naphtalen) und Versuchspersonen beobachtet. In einem Versuch<sup>24</sup> hielt man einer schlafenden Versuchsperson ein unangenehm riechendes Tuch, getränkt mit zwei Duftstoffen

<sup>23</sup> Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 33

<sup>24</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 79

vor die Nase. Nach ursprünglich heftigen Reaktionen und fortschreitender Adaption blieb ab einem bestimmten Zeitpunkt die Reaktion vollkommen aus. Nun reichte man ein Tuch, das nur einen der beiden Duftstoffe enthielt. Die Person reagierte genauso heftig, wie auf das Gemisch. Um eine reine Ermüdung auf der Ebene der Rezeptorzellen kann es sich demzufolge nicht handeln.

Fest steht, dass die größten Sensibilitätsverluste bei kurzen, starken Reizen zu finden sind, denen dagegen das schnellste Wiedereinstellen der Sensibilität folgt. Die meisten kreuzadaptiven Beziehungen verlaufen nicht symmetrisch, d.h. die gegenseitige Beeinflussung ist unterschiedlich stark. Ebenso kann das Verhältnis von Selbst- zu Kreuzadaption verschiedenartig sein, die Adaption ähnlicher Stoffe verläuft beispielsweise schneller als die eigene. Und schließlich gibt es Fälle, bei denen ein bestimmter Geruch die Sensibilität für andere Duftstoffe erhöht.<sup>25</sup> Der Forschung ist es noch nicht gelungen, die grundlegenden Mechanismen dieses adaptiven Wechselspiels zu deuten. Man kann es nicht nur als Folge eines Erschöpfungszustandes der Geruchsrezeptoren sehen, auch auf der Ebene des Riechhirns laufen Gewöhnungsprozesse ab. Dieser Zusammenhang zwischen Adaption und Gewöhnung ähnelt stark dem der akustischen Wahrnehmung und sogenannten „psychischen Auslöschung“ eines „Hintergrundgeräusches“.

Ein geschlechtsspezifischer Unterschied ist noch zu nennen. Frauen besitzen ein höheres Geruchsvermögen. Sie können einen Geruch nicht nur in hedonischer Bandbreite eindeutiger beurteilen, sie sind ebenso bei der Identifizierung den Männern überlegen. Gründe dafür sieht man einerseits im besser entwickelten Sprachvermögen und andererseits im besseren Zusammenwirken beider Gehirnhälften bei Frauen. Die Verarbeitung olfaktorischer Reize findet hauptsächlich in der rechten Hemisphäre statt, während das Sprach-

---

<sup>25</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 78

vermögen in der linken Hemisphäre „ansässig“ ist. Bei Durchtrennung des corpus callosum (Querverbindung) bei Epilepsiepatienten fiel deren verloren gegangenes Vermögen zur Benennung von Duftstoffen auf.

#### 2.4 Codierung von Geruch auf höheren Ebenen

Bei vergleichenden Messungen der Hirnaktivität bei Nasen- und Mundatmung mit Hilfe des Elektroencephalogramms – kurz EEG – fiel auf, dass die Nasenatmung eine höhere auslöst. Das Inhalieren eines Geruches erhöht die Aktivität des gesamten Riechnervs und Riechhirns. Mit der sogenannten 2-Desoxyglukose-Technik (2-DG-Technik) konnte man im Bulbus Olfactorius toter Ratten Muster in Abhängigkeit der dargebotenen Duftsubstanz nachweisen. Bei dieser Technik wird dem Versuchstier radioaktiv markierte 2-DG gespritzt. Die als Glukose maskierte 2-DG wird von aktiven Zellen aufgenommen und umgewandelt. Das resultierende Stoffwechselprodukt lagert sich in der Zelle an und kann nach Tötung des Versuchstieres festgestellt werden. Neben der Codierung im Riechnerv konnte man eine zusätzliche auf der höheren Ebene des orbitofrontalen Kortex, der hinter der Augenhöhle liegt, nachweisen. Beim Vergleich der Reaktionen im Bulbus olfactorius und olfaktorischen Kortex war die speziellere Abstimmung auf Geruchsstoffe in den sogenannten höheren Ebenen auffallend, während auf der niederen Ebene des Bulbus olfactorius ein breiteres Reizspektrum angesprochen wird.<sup>26</sup>

---

<sup>26</sup> vgl. Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S. 482

## Das Zusammenspiel mit anderen Sinnesorganen

Untersucht man das Verhältnis des Geruchssinnes zu anderen Sinnesmodalitäten, findet sich eine intensive Beziehung zum Geschmackssinn. Die Zusammenarbeit beider Sinne als Ergebnis ihrer sensorischen Erfahrungen erzeugt die Wahrnehmung des Aromas. Die Geruchsstoffe der Nahrungsmittel gelangen durch Kaubewegungen während des Essens aus dem Mundraum über die retronasale Öffnung in die Nasenhöhle (siehe Bild 1). Wie stark unsere Geschmacksskala durch eine verhinderte Geruchswahrnehmung über die Nasenlöcher beschränkt ist, konnte relativ simpel, aber eindrucksvoll experimentell nachgewiesen werden. In einem zweiteiligen Versuch ließ man die Probanden zunächst mit zugeklammerter Nase Aromastoffe erkennen und danach mit offener Nase noch einmal. Die Ergebnisse dieses Tests (nach Mozell et al. 1969) sind auszugsweise in Bild 4 zu sehen. Es fällt auf, dass bestimmte Duftstoffe (z.B. Kaffee, Kirschen) bei blockiertem Geruchsorgan nicht oder kaum wahrgenommen werden können. Fälschlicherweise vermuten wir den Ort der Quelle dieser Empfindungen im Mund. Auch hier ist noch nicht vollends geklärt, inwieweit intermodale

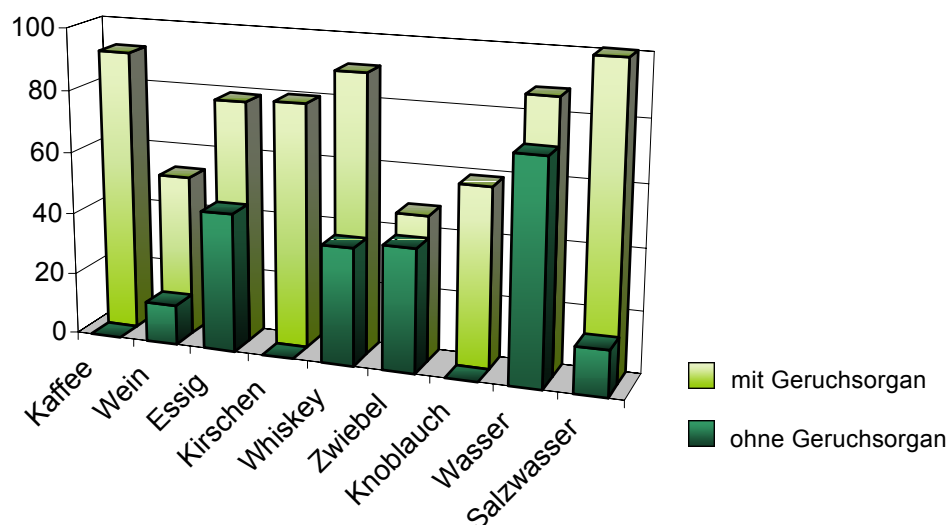


Bild 4: Grad der Identifizierung (prozentueller Anteil der Probanden)

Interaktionen das Empfinden des Aromas beeinflussen. So nimmt man überdies an, dass die Richtung des Luftstromes einen Einfluss auf das unterschiedliche Funktionieren des Geruchssinnes hat. Der qualitative Unterschied von Duftstoffen, die entweder direkt über die Nase oder über die Mundhöhle zur Schleimhaut gelangen, konnte ebenfalls experimentell nachgewiesen werden.<sup>27</sup>

Eine Zigarette *während* des Essens zu rauchen würde den Geschmackseindruck nur stören, da bestimmte Substanzen im Rauch den Trigeminusnerv zur Blockade des Geruchssinnes „auffordern“. Sie *danach* zu rauchen, könnte als Folge der Adaption daher angenehmer schmecken, da sich der „neue“ Reiz besser durchsetzen kann.

Daneben existiert eine weitere, relativ seltene (ca. 160000 Menschen in Deutschland<sup>28</sup>) Variante eines intermodalen Wechselspiels – die Synästhesie. Ein Phänomen, bei dem bestimmte Sinneseindrücke starke Assoziationen anderer Sinne hervorrufen. Synästhetiker verknüpfen beispielsweise Gerüche konkret mit einer ganz bestimmten Farbe, Buchstaben und Zahlen mit bestimmten Farben oder auch Töne mit Farben. Man vermutet dahinter neurale Verbindungen innerhalb des Neokortex. Diese scheinen bei Babys noch vorhanden zu sein. Sie sind kaum in der Lage, die Informationen ihrer verschiedenen Sinnesorgane richtig voneinander zu trennen. Der Neokortex Neugeborener besitzt noch nicht die Struktur, um dies zu leisten, erst später erschließt sich für jedes Sinnesorgan ein separater Kanal. Im „Normalfall“ bilden sich diese diffusen Querverbindungen jedoch zurück<sup>29</sup>, sodass ein „Multimedia der Sinne“, so der Titel eines Artikels von Hinderk Emrich über Synästhesie<sup>30</sup>, den wenigsten Erwachsenen erhalten bleibt.

---

<sup>27</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 40

<sup>28</sup> Ebberfeld, I. (2000): Dragoco Report, S. 6

<sup>29</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 140

<sup>30</sup> Emrich, Hinderk (1996): Synästhesie: Multimedia der Sinne



bener körperlicher Reaktionen dar. Die Interaktivität unseres Bewusstseins darf nicht vergessen werden. Die eigentliche „Prägung“ und Erweiterung unseres olfaktorischen Horizonts erfolgt nichtsdestotrotz in engem Verhältnis zu kulturellen und sozialen Hintergründen. Demzufolge ist hier sorgsam zu nuancieren. Eine alte und unüberschaubare Debatte, deren Diskussion im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen würde.

Viele Wissenschaftler sind sich mittlerweile einig, dass es eine angeborene Lerndisposition gibt, deren Grenzen und Zeiträume im Erbgut codiert sind. Wie viel „vorgegeben“ ist, wird eventuell in zwei Jahren zu beantworten sein. Dann, so dass US-amerikanische "Human Genome Project" um Craig Venter, will man das menschliche Genom laut eigener Aussage als komplette „Landkarte“ präsentieren. Es bleibt abzuwarten, welche Auflösung diese Karten besitzen, bzw. welche Aussagen damit machbar sind.

### 3. Die psychologische Bedeutung des Geruchssinns

Als vor etwa 300 Millionen Jahren die Reptilien ihre Abhängigkeit vom Lebensraum Wasser verringerten, bestand deren olfaktorisches Zentrum aus zwei dünnen Schichten von Neuronen. Die eine nahm Geruchswahrnehmungen auf und teilte sie in fundamentale Kategorien wie Essbarkeit, sexuelle Verfügbarkeit oder Freund-Feind-Beziehung. In der anderen (frühzeitliches emotionales Zentrum) wurde das entsprechende Repertoire an Reaktionen aufgerufen: fressen, ausspeien, annähern, flüchten. Von Emotionen im eigentlichen Sinne kann man aber erst im komplexeren Hirn der Säugetiere sprechen. Vor etwa 180 Millionen Jahren begann ihre Evolution. Bei den höheren Säugern begann sich das limbische System zu entwickeln und den Hirnstamm zu umringen. Aus dem Hippocampus und dem Mandelkern entwickelte sich, zur Basis multisensorischer Repräsentation,<sup>33</sup> der Neokortex und stülpte sich über den Hirnstamm. In einem kontinuierlichen Prozess wuchs er und bildete in geometrischen Verhältnissen dazu neue Verbindungen zum limbischen System – das menschliche Gehirn entstand. Und noch immer besteht die funktionale Verbindung zum „alten“ Riechhirn. Unser Gefühlsleben hat seine Wurzeln im Geruchssinn.<sup>34</sup>

Neuere Forschungsergebnisse weisen den Mandelkern als zentrale Schnittstelle von Emotionen aus.<sup>35</sup> Entfernte man operativ den Mandelkern von Epilepsiepatienten, wurde dessen Bedeutung für Bestimmung und Steuerung von Emotionen sichtbar. Sie verloren jegliche Fähigkeit zu emotionalen Empfindungen.<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 459

<sup>34</sup> vgl. Goleman, D. (1997): Emotionale Intelligenz, S.27

<sup>35</sup> ebenda, S. 388

<sup>36</sup> ebenda, S. 33

### 3.1 Aktivierungs- und Lernprozesse

Den Grund für Vergleiche des menschlichen Gehirn mit dem der Ratte sieht die neurologische Forschung in vergleichbaren Geruchs- und Gedächtnisvermögen. Durch Versuche an Ratten konnte man nachweisen, dass deren Geruchsorgan bereits vor der Geburt funktionieren musste. Den Muttertieren wurde vor der Geburt Fruchtwasser abgenommen, die Jungen mit Kaiserschnitt zur Welt gebracht, sofort gewaschen und abgetrocknet und anschließend zwischen zwei mit Fruchtwasser (Mutter- und Fremdtier) getränkten Wattestäbchen platziert. Ihre Köpfe bewegten sich in Richtung des Stäbchens mit dem Fruchtwasser des Muttertieres.<sup>37</sup>

Beim ungeborenen Kind vermutet man einen ausgebildeten Geruchssinn ab dem 5. Monat. Es ist in der Lage, im Fruchtwasser gelöste Geruchsstoffe wahrzunehmen und erste Assoziationen für das noch junge Geruchsgedächtnis zu legen.<sup>38</sup> Der geschilderte Rattenversuch wird insofern durch menschliche Babys bestätigt, da auch sie den Geruch der Mutter wiedererkennen und bevorzugen.

Der Mandelkern eines Babys ist seiner vollständigen Ausbildung bereits sehr nah. Seine frühe Ausbildung wird als Hinweis zur Bedeutung emotionaler Erinnerungen an diese Lebensphase gedeutet. D. h. bereits jetzt werden emotionale „Bilder“ gezeichnet, die Jahre später vom Mandelkern zurückgerufen werden. Zum Zeitpunkt des „Abspeicherns“ existierten allerdings noch keine Worte. Bei Erinnerungen, so der amerikanische Neurowissenschaftler LeDoux, führt der Umstand des Nichtartikulierbaren zu Verwirrungen.<sup>39</sup>

Gegenüber bestimmten Duftstoffen fiel bei Tests mit Kleinkindern deren hohe Toleranz und Gleichgültigkeit auf. Eine noch nicht

---

<sup>37</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 99

<sup>38</sup> vgl. ebenda, S. 98

<sup>39</sup> vgl. Goleman, D. (1997): Emotionale Intelligenz, S. 41 f.

ausreichende vorhandene Kommunikationsfähigkeit erschwert umfassende Versuchsreihen. Dank gewachsener Sprachkompetenz und altersspezifischen psychologischen Veränderungen werden die Ergebnisse mit der Zeit aussagekräftiger. Durch die Produktion von Geschlechtshormonen in der Pubertät kommt es darüber hinaus zu auffälligen Verschiebungen entlang der hedonischen Rangordnung (z.B. Vanille wird unangenehmer eingeschätzt, Lavendel und Moschus angenehmer), die erst mit etwa 20 Jahren beendet ist. Die individuelle Präferenzbildung nimmt zu und assoziative Werte bekommen größere Bedeutung.<sup>40</sup>

Jeder gesunde Mensch ist in der Lage Fähigkeiten zum Erkennen von Gerüchen zu erlernen und sie zu verbessern. Nachweislich gesteigert werden Lernfähigkeiten, indem man sie mit einer gekoppelten Information kodiert, d.h. in einem semantischen Bezug prägen sie sich am besten ein. Diese sogenannte doppelte Kodierung ist analog bei Texten mit zusätzlichen Illustrationen als lernsteigerndes Phänomen bekannt. Die Frage nach einer konkreten Parallele zu anderen Lernprozessen (z.B. visuelles Gedächtnis) wird noch heftig diskutiert und ist bis dato nicht befriedigend zu beantworten. Ein Unterschied besteht auf jeden Fall. Die evolutionär bedingte „tiefe“ Lage des Riechhirns und der emotionalen Zentren bewirkt eine größere Distanz zwischen Geruchswahrnehmungen und kognitiven Prozessen. Es bestehen jedoch auch Parallelen. Je weniger komplex (Gemisch) ein Geruch ist, desto besser wird er erinnert.

Die volle Ausbildung des Geruchssinnes ist nach Meinung vieler Forscher erst zwischen dem dreißigsten und vierzigsten Lebensjahr erreicht. Dieser Zustand bleibt ca. zwanzig Jahre erhalten. Danach erfolgt eine langsame, meist unbemerkte Rückentwicklung unseres Geruchssinnes. Durch austrocknende Schleimhäute, verkalkte Siebbeine, abnehmende Produktion neuer Organzellen, starken Rück-

---

<sup>40</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 102 f.

gang der Nervenzellen in den olfaktorischen Bulbi und die Degeneration des olfaktorischen Kortex liegen die Schwellenwerte bei Rentnern häufig um das hundertfache höher. Als Folge dieser körperlichen und physiologischen Abbauprozesse ist die Hälfte aller Fünfundsechzig- bis Achtzigjährigen anosmisch bei über Achtzigjährigen sogar drei Viertel.<sup>41</sup>

### 3.2 Biopsychologische Aspekte der Emotion

Die gezeigten Verbindungen des olfaktorischen Kortex zum limbischen System sollen als Ausgangspunkt zu weiteren neuronalen Betrachtungen dienen, bei denen vor allem die zentrale Bedeutung der Amygdala aufgezeigt werden soll.

Der Neurologe Antonio Damasio unterteilt in seinen Ausführungen über Gefühl und Empfinden die Welt der Gefühle in zwei Gruppen. Zum einen die „frühen“ Gefühle – die primären – und zum anderen die „erwachsenen“ – die sekundären. Zu den primären, den angeborenen Gefühlen, zählt er die „Schaltkreise“ des limbischen Systems, insbesondere die Funktion des Mandelkerns, dessen chirurgische „Abgrenzung“ nachweislich zu affektiver Gleichgültigkeit führt. In der Folge richten sich Reaktionen unter anderem an den Hypothalamus, der eine Vielzahl chemischer Reaktionen auslöst. Auf diesem Fundament emotionaler Reaktionen baut die sekundäre Gefühlswelt auf. So bezeichnet Damasio den weitaus individuelleren Prozess der bewussten Überlegungen. Hier wird der Inhalt eines Ereignisses kognitiv bewertet. Auch in diesem Fall wird der Stimulus direkt über die Amygdala weiterverarbeitet, nur gibt es

---

<sup>41</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 104

nachfolgend analysierende Gedankenprozesse in anderen Gehirnregionen (präfrontaler Kortex) und Rückreaktionen zur Amygdala.<sup>42</sup> Diese Gehirnaktivitäten verändern die Parameter unserer Körperfunktionen. Über Hypothalamus und Hypophyse wird die Hormonausschüttung gesteuert. Über das Rückenmark werden die Eingeweide direkt beeinflusst und letztlich fließen die Erregungspotentiale des limbischen Systems auch in die Motoriksteuerung ein, d.h. innere psychische Zustände werden äußerlich sichtbar. Auch für Daniel Goleman ist der Mandelkern Sitz unserer Leidenschaft, ohne ihn, so Goleman „gibt es keine Tränen, die man trocknen könnte“<sup>43</sup>.

LeDoux entdeckte als erster eine, wie er es nennt „Abkürzung“ von Signalen unserer Sinnesorgane innerhalb unseres Gehirns. Diese Signale wandern vom Thalamus über ein kleines Bündel von Neuronen zum Mandelkern. Bisher kannte man lediglich die Projektion zum Neokortex. Die neu entdeckte Verbindung ist mithin in der Lage emotionale Reaktionen auszulösen, die unbewusst, also ohne kognitive Beteiligung ablaufen. Somit entstehen emotionale Erinnerungen, die viele Jahre später bei ähnlichen Umständen (z.B. markanter Geruch) abgerufen werden und vergleichbare emotionale Empfindungen erzeugen, ohne dass wir sie sofort zuordnen können.

### 3.3 Geruch und Verhalten

Gerüche steuern unser Verhalten. Welcher Reiz zu welchem „Ergebnis“ führt, lässt sich nicht genau sagen. Da jeder Mensch

---

<sup>42</sup> vgl. Damasio, A. R. (1997): *Descartes' Irrtum*, S. 179 ff.

<sup>43</sup> Goleman, D. (1997): *Emotionale Intelligenz*, S. 33

vollkommen unterschiedliche Erfahrungen sammelt, eine eigene Persönlichkeit entwickelt, verschiedenste Biografien also zu einzigartigen Identitäten führen, ist hier keine Verallgemeinerung möglich. Jede *Geschichte*, jede Umgebung projiziert zurück in unseren Verstand, unsere Psyche, unser neurales Netzwerk. Ein mit Nadelgeruch beduftetes Gebäude beispielsweise beruhigt die meisten Menschen, versetzt allerdings die in Panik, die sich als Kind im Wald verlaufen haben. Die mentale Verfassung kann die hedonische Einschätzung ebenso beeinflussen. Weder müssen ähnliche Erfahrungen in bestimmten Situationen zu gleichen Reaktionen führen, noch lassen gleiche Reaktionen einen Rückschluss auf verwandte Erfahrungen zu. Gewiss, in letzterem Fall könnte eine ähnliche Lerngeschichte die Ursache für gleiche Reaktionen sein, für einen einzelnen Reiz existiert jedoch keine gesetzmäßige Reaktion.

Die Bewertung von Gerüchen ist im wesentlichen angelernt. Die Toleranz gegenüber bestimmten Gerüchen nimmt nachweislich mit dem Kindesalter ab.<sup>44</sup> Vorlieben und Abneigungen bilden sich mit der Zeit durch operante Konditionierungen heraus, also Lernprozesse, die das Verhalten belohnend oder bestrafend prägen. Je neutraler ein Duft also ist, umso weniger gut ist er im Bewusstsein verankert. Ein Umstand, der im Duftmarketing Beachtung finden dürfte. Noch neutrale Düfte mit einer neuen Situation zu verknüpfen, kann als wirkungsvolle Konditionierung genutzt werden. Über den dazu wahrgenommenen Kontext kann der Geruch assoziative Bedeutung erhalten. Geruch und Emotionen wären so miteinander verknüpfbar. Diese Verknüpfungen konnten sogar nachgewiesen werden als man den Probanden Duftstoffe in nicht wahrnehmbaren Dosen darbot.<sup>45</sup> Eine Konditionierung auf der Ebene des Unbewussten also, die ein mächtiges Manipulationswerkzeug darstellt.

---

<sup>44</sup> Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 156

<sup>45</sup> vgl. ebenda, S. 136 f.

Ein anderes Beispiel dazu. Bei einer Untersuchung der Universität Mannheim, in deren Mittelpunkt die Einschätzung der Kompetenz von männlichen und weiblichen Versuchspersonen durch eine Einschätzungsgruppe stand, ging man gezielt der Frage nach der Bedeutung olfaktorischer Einflüsse nach.<sup>46</sup> Dass männliche Versuchspersonen kompetenter als ihre weiblichen Mitstreiterinnen eingestuft worden, schob man auf geschlechtsspezifische Stereotype („Denkt man an einen Manager, denkt man an einen Mann!“) und war ein zentrales Resümee. Interessanter im Kontext dieser Arbeit ein anderes Ergebnis – die Tatsache, dass weibliche, mit maskulinen Düften parfümierte Versuchspersonen, kompetenter als ihre, mit femininen Düften parfümierten Kolleginnen eingestuft wurden – solange man sich des Duftes nicht bewusst war. Nahm die Einschätzungsgruppe den maskulinen Duft bewusst wahr, schlug die Empfindung (und Beurteilung) ins negative um. Während für Gründe in der Forschung auch hier noch keine Klarheit herrscht, ist die Konditionierungsforschung zumindest zu dem Ergebnis gekommen, dass eine sogenannte vorwärtsgerichtete Konditionierung am besten gelingt, d.h. der unkonditionierte Reiz folgt dem konditionierten (z.B. „noch“ neutraler Duft). Eine kurze Pause zwischen den Reizen optimiert das Ergebnis. Die vollständige Löschung einer konditionierten Reaktion ist schwieriger als deren Erwerb. Bei Trennung von unkonditionierten und konditionierten Reiz schwächt die Reaktion im Laufe der Zeit zwar ab, ist jedoch bei erneuter Kopplung schneller reaktiviert als bei ursprünglicher Darbietung aktiviert („spontane Erholung“).<sup>47</sup>

In der Aromatherapie, einer – für mitteleuropäische Verhältnisse – noch jungen Heilkunde, versucht man olfaktorische Stimuli als erfolgreiche Maßnahme zur Steigerung des Wohlempfindens oder

---

<sup>46</sup> Sczesny, S., (1999): The influence of gender-stereotyped perfumes on the attribution of leadership competence

<sup>47</sup> Zimbardo, P., (1992): Psychologie, S.232 f.

Behandlung von Phobien, Depressionen, Suchterkrankungen und Einschlafstörungen zu manifestieren. Auch dies erfolgt meistens durch Konditionierung. An alle Skeptiker dieser Methode mangels Wissenschaftlichkeit sei an dieser Stelle zumindest der Verweis auf analoge Umgangsformen gegenüber Akupunktur gestattet. Bis Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurde sie in Mitteleuropa als exotisch eingestuft. Mittlerweile wird sie selbst von Krankenkassen bezahlt.

Abschließend noch eine Bemerkung zu einer ganz anderen Form von Duftstoffen. Zu den Gerüchen, die wir täglich wahrnehmen, zählen freilich auch die, die unsere Spezies selbst produziert. Gerade zwischenmenschliche Beziehungen und die damit verbundenen Emotionen werden von Bioeffluenzen unseres Umfeldes gesteuert. Seien es als angenehm oder unangenehm empfundene Gerüche, bzw. die als kaum wahrnehmbar betrachteten männlichen und weiblichen Pheromone, ihre Wirkungen sind nicht minder komplex, ihr Verhalten auslösendes Moment für uns nicht weniger bedeutend – im Gegenteil. Die gegen- und gleichgeschlechtliche Beeinflussung wurde vielfach untersucht und nachgewiesen. Welchen Anteil das Vomeronasalorgan dabei hat, kann man allerdings noch nicht beantworten.

Im Mittelpunkt steht dabei ein „Eins-zu-Eins-Duft-Informationstransfer“, der, sieht man einmal von speziellen Anwendungen (z.B. Kauf-Motivations-Verstärker zur Beduftung von Erotik-Shops) ab, allenfalls für die Parfümindustrie von Interesse sein dürfte. Auf eine genauere Betrachtung dieser Phänomene wird daher in dieser Arbeit verzichtet.

#### 4. Eigenschaften von Duftstoffen

Seit Jahrtausenden beschäftigen sich Menschen mit angenehmen und unangenehmen Gerüchen und Duftstoffen. Im Altertum schwunghaft gehandelt, von den griechischen Philosophen verachtet, im 18. Jahrhundert für Krankheiten verantwortlich gemacht, begann man im 19. Jahrhundert dank fortgeschrittener Chemie und Bakteriologie, deren Wirkung genauer zu betrachten und zu verstehen.<sup>48</sup> Freuds verächtlichen Worten trotzend stieg der kulturelle und steigt der wirtschaftliche Stellenwert von Geruch immer weiter an. Beispielsweise sind in Bulgarien ganze Landesregionen (extensive Monokulturen zur Herstellung von Rosenöl) in die Erzeugung von Grundstoffen für die Kosmetikindustrie eingebunden. Im „Wellness-Bedürfnis“ entschleunigter Wohlfühlgurus ist es die Kombination aus Duftstoffen und optimalen Umgebungsbedingungen, im Kino die emotionale Wirkung und im arbeitswütigen Japan die Erhöhung der Arbeits- und Leistungsbereitschaft durch duftstoffversetzende Klimaanlage, die die Forschung auf dem „Duftstoffsektor“ vorantreiben. All diesen Bestrebungen voran steht der problematische Versuch einer Klassifikation von Duftstoffen. Sie können nicht aufgrund einer gemeinsamen physischen und chemischen Eigenschaft klassifiziert werden. Bisher ist kein Zusammenhang zwischen dem „Geruch“ eines Moleküls und seiner physikalischen Eigenschaft herstellbar<sup>49</sup>, wie es etwa beim Hören die Frequenz ist. Entweder charakterisiert man Duftstoffe anhand ihrer Eindrücke oder ihrer chemischen Eigenschaften, bzw. Molekularstruktur. Der Autor wird nachfolgend von allgemeinen Merkmalen ausgehend verschiedene – nicht harmonisierbare – Modelle einer Kategorisierung, bzw. Klassifikation, sowie Möglichkeiten zur Messung von Duftstoffen, vorstellen.

<sup>48</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 14 ff.

<sup>49</sup> Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S.476

#### 4.1 Allgemeine Merkmale von Geruchsstoffen

Beginnt man mit Vergleichen zu anderen Sinnesmodalitäten, stößt man zwangsläufig auf den Begriff der Stofflichkeit. Im Gegensatz zu akustischen, sind olfaktorische Wahrnehmungen mehr als nur vom Trägermedium abhängig. Die Geruchsstoffe selbst sind von Interesse. Sie besitzen keine typische chemische Eigenschaft und können sowohl organischen als auch anorganischen Ursprungs sein. Bestimmte Geruchsstoffe unterliegen einer stofflichen und strukturellen Veränderung als Folge verschiedener Einflüsse. Tatsache ist auch, dass strukturell vollkommen unterschiedliche Substanzen eine fast identische Geruchsempfindung auslösen können. Auf der anderen Seite gibt es isomere Stoffe, d.h. ihre Moleküle bestehen aus der gleichen Zahl der gleichen Atome, unterscheiden sich jedoch in der Art der Verknüpfung bzw. in der räumlichen Anordnung, die geruchsspezifisch divergente Ergebnisse liefern. Diese irritierenden Korrelationen verhindern das Finden eines chemisch-analytischen Grundzusammenhangs. Bisher kann man nur allgemeine, korrelierende Merkmale unter Berücksichtigung des Übertragungsweges definieren (siehe Bild 5).<sup>50</sup>

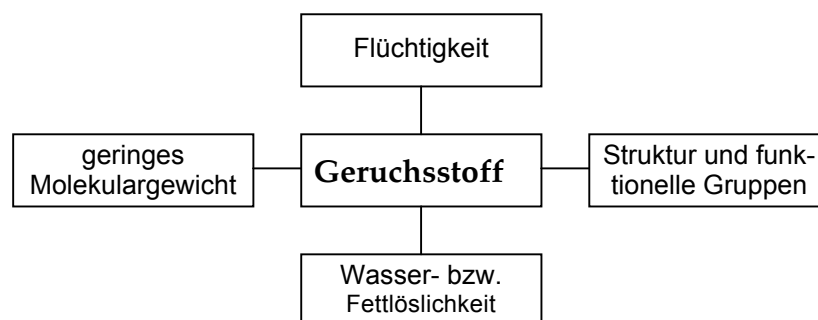


Bild 5: Allgemeine Merkmale von Duftstoffen

Geruchsstoffe sind flüchtig, d.h. sie sind in der Lage zu verdampfen oder befinden sich bereits im gasförmigen Zustand. Beim Wechsel der Moleküle zwischen Gasphase und flüssigem Zustand, kommt es

<sup>50</sup> Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 19

auf der Oberfläche einer Lösung zu einem ständigen Stoffaustausch. Bei konstanten Bedingungen erzeugt eine bestimmte Anzahl von Molekülen der Gasphase auf der Oberfläche der Flüssigkeit den sogenannten Dampfdruck. Steigt beispielsweise die Temperatur, erhöht sich der Dampfdruck. Neben wechselnden Umweltbedingungen hat auch das Molekulargewicht Einfluss auf das Maß an Flüchtigkeit. So fand man heraus, dass man bis zu einer relativen Molekülmasse von ca. 350 einer hinreichenden Flüchtigkeit sprechen kann.<sup>51</sup> Das Verhalten gegenüber Wasser und Fett ist ein weiteres charakteristisches Merkmal von Duftstoffen. Um in der Nasenschleimhaut gelöst werden zu können, müssen sie ausreichend hydro- bzw. lipophil sein. Nur so können sie zu den Geruchsrezeptoren gelangen.

#### 4.2 Klassifikation von Gerüchen

Von einer einheitlichen Klassifizierung ist man noch weit entfernt. Einer der ältesten Versuche ist die Aufteilung der Geruchsimpessionen nach Linné in sieben unterschiedliche Klassen. Der schwedische Forscher teilte Ende des 18. Jahrhunderts Gerüche nach ihrer abnehmenden hedonischen Qualität folgendermaßen ein:

- aromatisch
- (wohl-) riechend
- ambrosianisch oder moschusartig
- scharf oder knoblauchartig
- stinkend oder ziegenartig, Schweißgeruch
- ekelerregend
- widerwärtig

---

<sup>51</sup> Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 20

Dieses Modell wurde von Zwaardemaker verfeinert und um ätherisch (z.B. Chloroform, Äther) und empyreumatisch (z.B. Kaffee, Brot, Tabak) auf neun Hauptklassen erweitert. Neuere Duftklassenkennzeichnungen sprechen hingegen wieder von sieben Klassen. Nach Amoore und Skramlik geht man von folgenden, Primärgerüchen aus, die durch Standardgerüche gekennzeichnet sind (siehe Tabelle 2<sup>52</sup>, es fehlt die Duftklasse „schweißig“):

Duftklasse	Bekannte, repräsentative Verbindungen	Riecht nach	„Standard“
blumig	Geraniol	Rosen	d-1- $\alpha$ -Phenyl-äthylmethylcarbinol
ätherisch	Benzylacetat	Birnen	1,2-Dichloräthan
moschusartig	Moschus	Moschus	1,5-Hydroxypentadecansäurelacton
kampferartig	Cineol, Kampfer	Eukalyptus	1,8-Cineol
faulig	Schwefelwasserstoff	Faulen Eiern	Dimethylsulfid
stechend	Ameisensäure	Essig	Ameisensäure

Tabelle 2

Ein Ansatz, Gerüche räumlich zueinander in Verhältnis zu setzen, ist das Geruchsprisma von Henning (siehe Bild 6). An den sechs Ecken findet man die Grundgerüche, während die Seitenkanten den Geruchsqualitäten ihrer Ecken im Maß ihres Abstandes zu den Ecken ähneln. Die Vorderseite dieses Prismas zeigt Bild 7. Der Zusammenhang zwischen den Geruchsqualitäten entlang der Seiten im Verhältnis zur Ecke ist hier detaillierter erkennbar. Die Stoffe in der Mitte dieser Ebene weisen Merkmale aller Ecken auf. In der Literatur ließen sich diesbezüglich nur wenige Hinweise auf dieses

<sup>52</sup> Birbaumer, N., Schmidt, R. F. (1996): Biologische Psychologie, S. 442

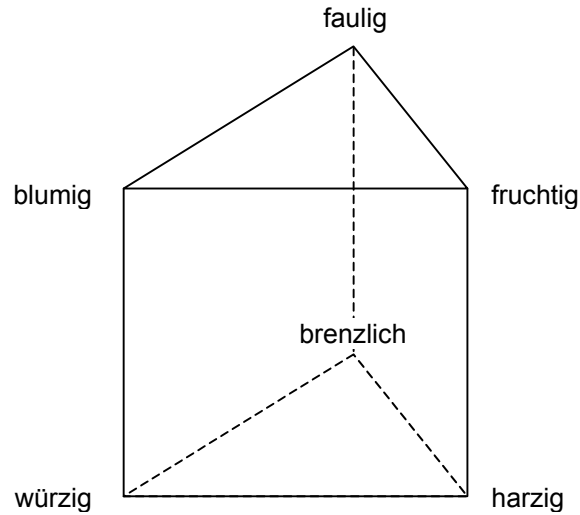


Bild 6: Geruchsprisma nach Henning

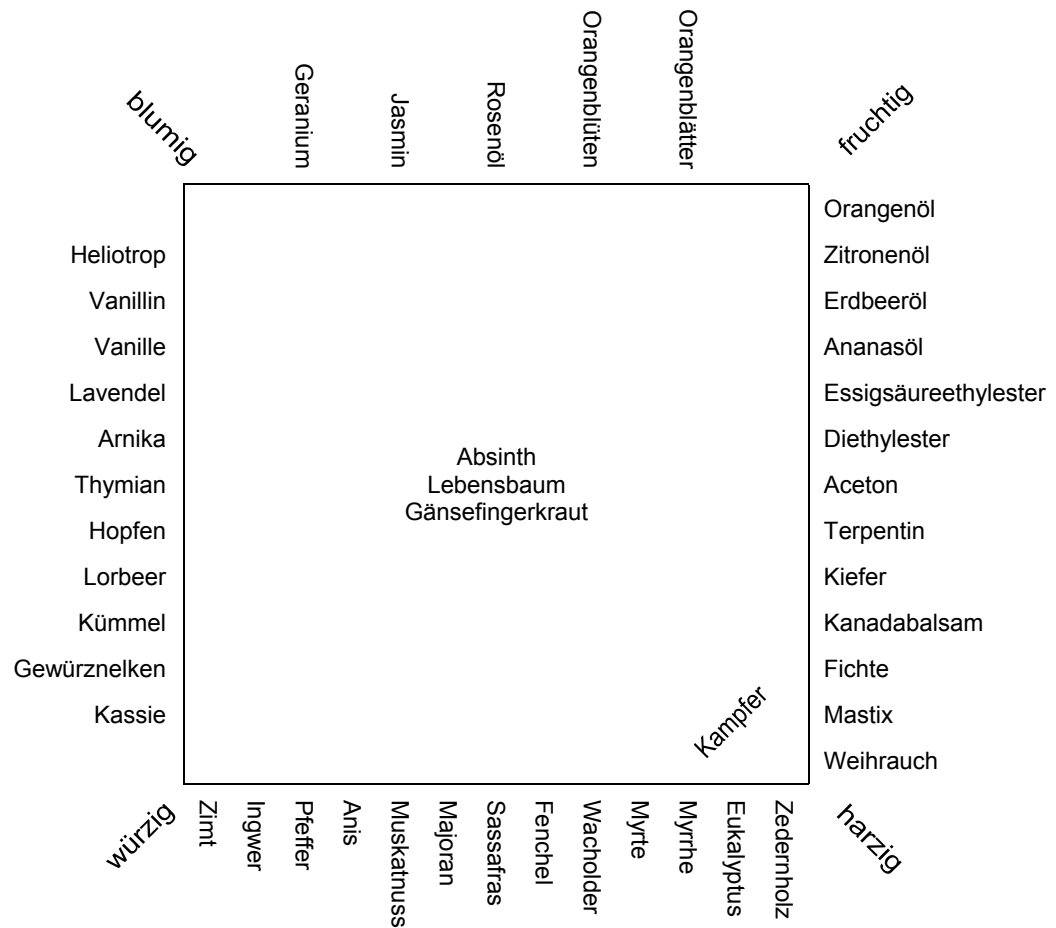


Bild 7: Vorderseite des Geruchsprismas nach Henning

kulturkreisabhängige Modell finden. Trotz seines ästhetischen Reizes, scheint es also keine große Bedeutung zu besitzen. Nicht nur, dass bei mehr als drei Koordinaten Einordnungen als schwer nach-

vollziehbar erscheinen, es dürfte darüber hinaus Probleme bereiten wirklich jeden Geruch innerhalb dieses Prismas zu orten.

Als sinnvoller wird bei der Betrachtung von Geruchsqualitäten die Erstellung sogenannter Geruchsprofile angesehen. Man versteht darunter die Schaffung von Geruchsstandards zu objektiveren Qualitätsbeurteilungen. Ausgebildete Beobachter charakterisieren die Komponenten eines bestimmten Duftstoffes und vereinfachen damit die Beschreibung von Geruchsqualitäten. Ausgehend von den wesentlichen Geruchsanteilen bewertet man dabei deren Intensität. Für die Praxis bedeutet dies beispielsweise die Schaffung einer allgemein akzeptierten und standardisierten Sprache zur Kommunikation von Aromen. Beispiele sind mehrdimensionale Diagramme aus der Sensorikforschung (siehe Bild 8<sup>53</sup>) oder das Mitte der acht-

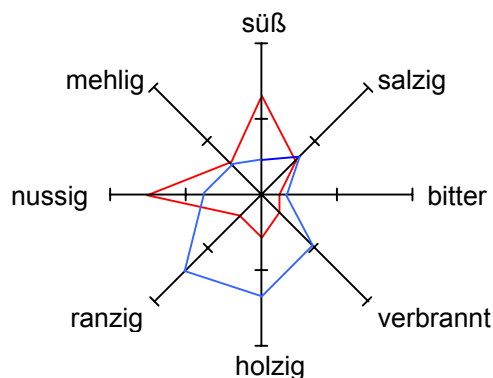


Bild 8: Beispiele fiktiver Aromastoffe

ziger Jahre in Kalifornien entwickelte – prinzipiell gleich aufgebaute, jedoch weitaus komplexere – Weinaromadarad.<sup>54</sup> Auf den jeweiligen Bedarf optimiert und zu Verständigungszwecken gut geeignet, unterliegen sie trotzdem willkürlichen Einteilungskriterien.

<sup>53</sup> nach: [www.isi-goettingen.de](http://www.isi-goettingen.de) (2001)  
<sup>54</sup> vgl. [www.hofgut-hoerstein.de](http://www.hofgut-hoerstein.de) (2001)

### 4.3 Einteilung nach der chemischen Struktur

Unsere Geruchswahrnehmung wird durch noch immer unbekannte Faktoren bestimmt. Auf der Ebene der Chemie eine Kategorisierung unternehmen zu wollen, wurde bereits versucht, ist mittlerweile jedoch falsifiziert. Die 1970 von John Amoore postulierte stereochemische Theorie scheiterte zum Beispiel an Molekülen mit ähnlichem Aufbau, doch vollkommen unterschiedlichen Geruchsqualitäten (siehe Bild 9, Iso-Vanillin ist geruchlos). Amoore behauptete nämlich, dass spezifische Molekülformen für verschiedene Geruchsqualitäten verantwortlich sind und nur an den jeweils passenden

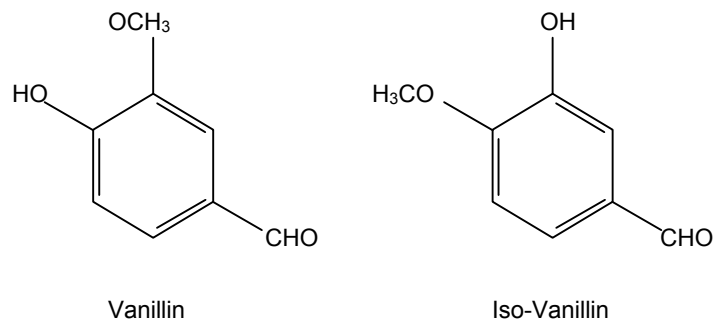


Bild 9: Stoffe mit ähnlichem Aufbau, aber unterschiedlichem Geruch

Geruchsrezeptoren „andocken“ können.<sup>55</sup> Eine andere, ebenfalls umstrittene Theorie, brachte die Entdeckung geruchsbindender Proteine und spezifischer Geruchsblindheiten (Anosmien) mit sich. Analog zu Farbblindheiten versuchte man im Gegenzug Primärdüfte zu finden. Die Zusammenhänge waren jedoch nicht eindeutig. Die unter der Bezeichnung „structure-odor-relationships“ (SOR) zusammengefassten Forschungsergebnisse beschreiben mögliche Konfigurationen olfaktorisch funktionaler Gruppen innerhalb eines Moleküls und Auswirkungen ihrer Positionsverschiebungen (Regioselektivität; siehe Bild 9: OH- und OCH<sub>3</sub>-Gruppe). Eine andere einflussnehmende Größe ist der Abstand zwischen funktionalen Gruppen innerhalb eines Moleküls. Ist er größer als 0,3 nm kann ein Geruch nicht mehr

<sup>55</sup> Goldstein, E. B. (1996): Wahrnehmungspsychologie, S.479

Geruchseindruck	funktionelle Gruppe	Stoffgruppe
Angenehm	-OH -OR -CHO -COR -COOR -CN -NO <sub>2</sub>	Alkohole Ether Aldehyde Ketone Ester Cyanverbindungen Nitroverbindungen
Unangenehm	-SH -SR -NC -NH <sub>2</sub>	Meraptane Thioether Isonitrile Amine

Tabelle 3

wahrgenommen werden, da dem Rezeptorprotein nicht mehr genügend Angriffsstellen zur Verfügung stehen. Tabelle 3<sup>56</sup> zeigt einen Zusammenhang zwischen funktioneller Gruppe und hedonischer Geruchswirkung.

Während die Kettenlänge „nur“ quantitative Wahrnehmungen beeinflusst, bewirkt die Molekülgröße an sich Veränderungen des Geruchseindrucks in qualitativer Hinsicht. Nimmt sie zu, ändert sich beispielsweise bei zyklischen Ketonen die Geruchsqualität von min-

zig über kampfrig und holzig zu moschusartig.<sup>57</sup> Erkenntnis gewann man auch bei der Bedeutung der Molekülgröße hinsichtlich der Aktivierung von Rezeptorproteinen. Um eine Geruchsempfindung auszulösen, müssen große Moleküle an mindestens 3 Stellen von dem Rezeptorprotein angegriffen werden (triaxiale Regel)<sup>58</sup>. Die Geruchsempfindung bleibt vollkommen aus, geschieht dies an nur einer oder zwei Stellen.

Darüber hinaus existieren immer Ausnahmen. Außerhalb der Labore treten Duftstoffe in der Regel auch nicht „rein“ auf. Gemische können vollkommen andere Empfindungen auslösen. Wechselwirkungen sind oft asymmetrisch (Beispiel: Zitronengeruch maskiert

<sup>56</sup> Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 22

<sup>57</sup> ebenda, S. 21

<sup>58</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 69

bei ausreichender Konzentration Essiggeruch, umgekehrt gibt es keinen Maskierungseffekt). Die Summe der Einzelintensitäten ist in den seltensten Fällen die wahrgenommene Gesamtintensität. Addition und Synergie treten eher bei geringen Stoffkonzentrationen auf, Kompromissbildung und Neutralisation hauptsächlich bei höheren.<sup>59</sup> Eine Menge an Einzelheiten, die sich jedoch nicht auf universelle Regeln zusammenfassen lassen.

Welcher Duftstoff wie herzustellen ist, wird heutzutage als weitaus weniger problematisch betrachtet. Aroma- und Geschmacksstoffe bis hin zur Phänologie des Duftes ganzer Jahreszeiten<sup>60</sup> sind künstlich herstellbar. Auf Aspekte der Produktion wird in dieser Arbeit verzichtet, nicht jedoch darauf, ob diese künstlichen Düfte tatsächlich immer als naturgetreu empfunden werden (siehe Kapitel 5).

#### 4.4 Messverfahren

Sei es zur olfaktorischen Diagnose geruchserzeugender Stoffe aus Emissionen und Immissionen oder aber zur Entscheidungsfindung

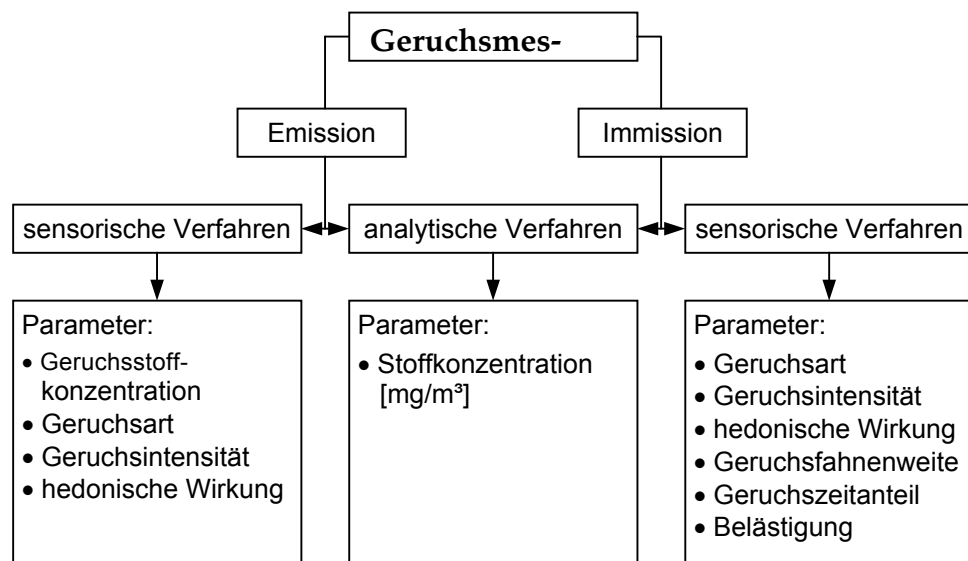


Bild 10: Olfaktorische Messverfahren

<sup>59</sup> vgl. Vroon, P., Amerongen, A. v., de Vries, H. (1994): Psychologie der Düfte, S. 85 f.

<sup>60</sup> Seiffert, C. (2000): Dragoco Report, S. 57

hinsichtlich der Beseitigung oder des „Einsatzes“ dieser Gerüche, eine messtechnische Untersuchung dieser Stoffe ist unabdingbar. Das Verstehen dieses Teilbereiches olfaktorischer Wahrnehmung ist von grundlegender Bedeutung. Neben der bakteriologischen (z.B. Ermittlung von Keimemissionen), sind im Rahmen dieser Arbeit, vor allem die analytischen und sensorischen Messverfahren von Interesse. Bild 10<sup>61</sup> gibt einen Überblick der geruchstechnisch relevanten Parameter. Näher zu betrachten ist hier die Immission, da der Geruchsempfänger, die Testperson, der „Riechende“ sich in der Regel nicht unmittelbar am Ort des Entstehens von Gerüchen befindet.

Zu den analytischen Verfahren zählen alle Methoden der Gasanalytik. Zur alleinigen Bestimmung eines Geruchs wendet man sie relativ selten an. Sie eignen sich zu Stoffart- und Konzentrationsanalysen, d.h. um mögliche Stoffe zu detektieren oder disponible Stoffe zu quantifizieren.

Da in diesem Fall die unmittelbare Beziehung zwischen Duftstoff und Mensch von Interesse ist, werden die sensorischen Verfahren im Folgenden näher betrachtet. Hier fungiert das menschliche Sinnes-

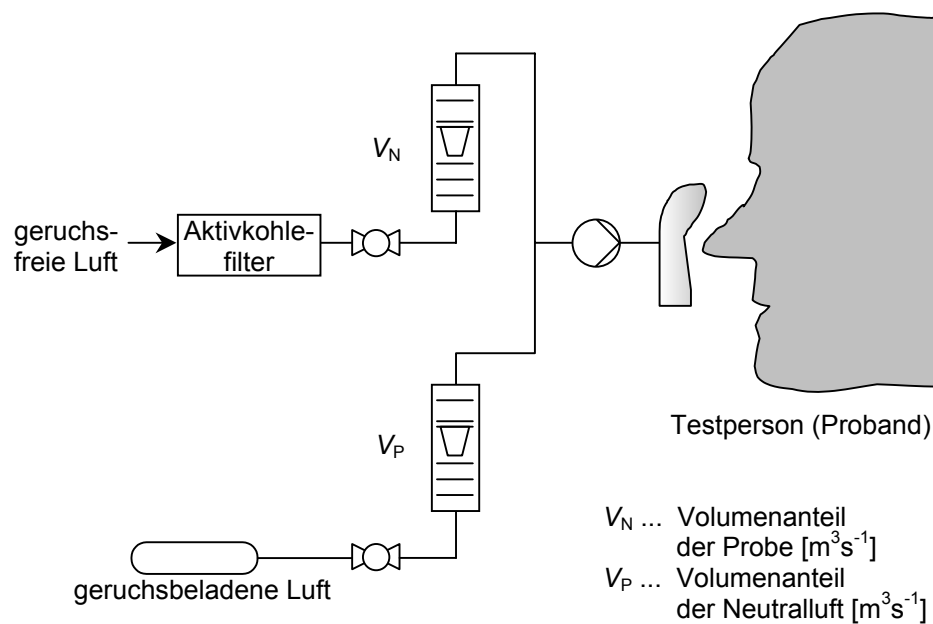


Bild 11: Allgemeines Funktionsprinzip eines Olfaktometers

<sup>61</sup> nach: Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 58

organ selbst als Detektor. Diese als olfaktorische Messverfahren oder Olfaktometrie nach DIN 6879 bezeichneten Verfahren basieren auf subjektiven Empfindungen. Die dabei verwendeten Messgeräte heißen Olfaktometer (siehe Bild 11<sup>62</sup>) und werden in der VDI-Richtlinie 3881 beschrieben. Entwickelt wurden diese Geräte bereits im 19. Jahrhundert. Sie haben den Vorteil, der Nase einen konstanten Luftstrom zuführen zu können. Als geruchsneutrales Gas wird synthetische Luft oder Stickstoff verwendet. Eine moderne Variante des Olfaktometers ist der 1998 entwickelte Olfaktomat. Er besitzt sogenannte Headspaceflaschen, die gleichzeitig als Probenahme und als Verdünnungsgefäße zur statischen Gasverdünnung dienen. Man verdoppelt pro Durchgang den Druck in der Headspaceflasche mit synthetischer Luft. Anschließend wird das Gemisch über die Nasenmaske entspannt und dem Probanden zugeführt. Dies wird solange wiederholt, bis er nichts mehr riecht. Der letzte Entspannungs Vorgang zeigt somit die Geruchsschwelle. Sie ergibt sich also beim Olfaktomat nach der Gleichung:  $GS = X/2^n$ , wobei GS die Geruchsschwelle [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ], X die Einwaage [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ] und n die Zahl der Extraktionen darstellt.<sup>63</sup> Tabelle 4 zeigt einige der ermittelten Werte.

Lösemittel	Konzentration [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	Zahl der Extraktionen	experimentelle Geruchsschwelle [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]	Geruchsschwelle Literaturwerte [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
Toluol	4360	8	17	0,6 bis 153
Ethylacetat	9000	6	141	0,2 bis 183
Methylethylketon	8060	6	126	30 bis 80
Benzin 80/110	7160	4	448	3300
Xylol	4325	10	4	1 bis 100
Isopropylacetat	8700	7	68	140
Methanol	7900	2	1975	6,6 bis 7800
n-Propanol	8035	9	16	30 bis 250
n-Butanol	8100	14	0,5	0,36 bis 77

<sup>62</sup> Schön, M., Hübner, R. (1996): Geruch – Messung und Beseitigung, S. 66

<sup>63</sup> www.labc.de (2001)

















































