

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Was ist Riechen?



Aroma



Analyse

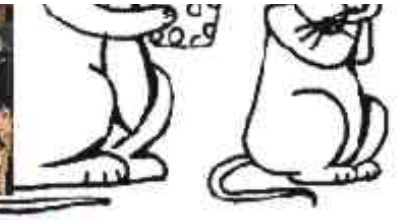


Erinnerung





Entscheidung



Soziales

Duftstoffe erreichen die Nase durch die Atemluft und müssen deshalb andere chemische Eigenschaften haben als Geschmacksstoffe. Während letztere in wasserlöslicher Form in der Nahrung enthalten sind, müssen Duftstoffe ausreichend flüchtig sein, um in der Luft transportiert zu werden. Viele Duftstoffe sind kleine organische Moleküle, oft mono- bis trizyklische Verbindungen.

Das Geruchssystem dient einer Reihe ganz unterschiedlicher Funktionen. Die **Wahrnehmung von Aromen** ist weitgehend eine Leistung der Nase, denn die Geschmacksempfindung ist auf wenige Qualitäten begrenzt. Duftstoffe erreichen während der Nahrungsaufnahme das Riechsystem durch Rachen und Nasenhöhle und lösen die Empfindung eines Aromas aus.

Erstaunlich schlecht eignet sich die Nase zur **Analyse von Duftstoffmischungen**. Die Bestandteile einer Duftstoffmischungen können nur bis zu einer Anzahl von etwa fünf unterschiedlichen Komponenten analysiert werden. Das Wiedererkennen komplexer Duftmischungen (Parfüm, Kaffeeduft) gelingt jedoch mit großer Zuverlässigkeit.

Die Verknüpfung von **Riechen und Erinnern** ermöglicht es, Assoziationen von erinnerten Szenen und aktuellen Geruchsempfindungen zu erleben. Manchmal können Erinnerungen auch falsche Geruchserlebnisse auslösen.

Entscheidungsprozesse können direkt und ohne Beteiligung des Bewusstseins durch Gerüche beeinflusst werden.

Bei vielen Tieren ist ein weites Spektrum **sozialer Verhaltensweisen** an olfaktorische Kommunikation gekoppelt. Gerüche ermöglichen Orientierung, dienen zur Reviermarkierung, entscheiden Partnerwahl, Reproduktionsverhalten und viele andere Aspekte des Lebens der Tiere. Beim Menschen ist die Steuerung des Verhaltens durch Gerüche weitgehend unterdrückt.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

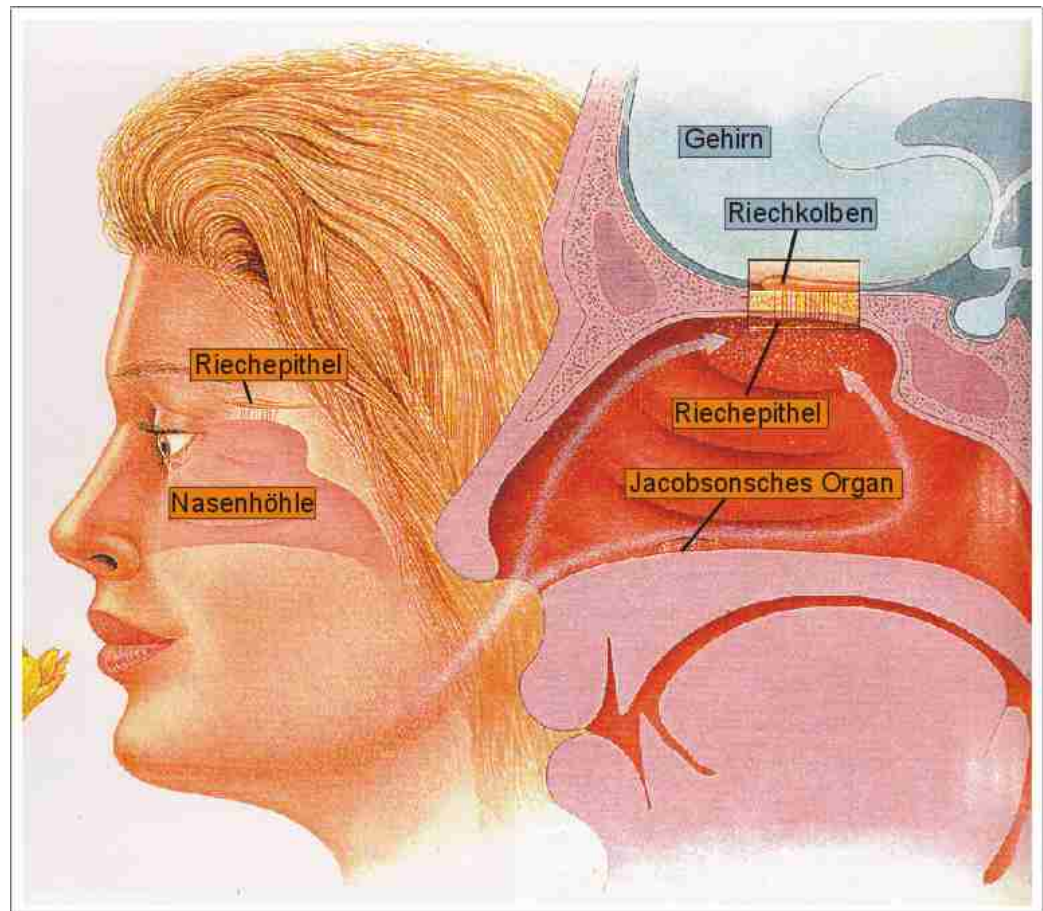
II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbearbeitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

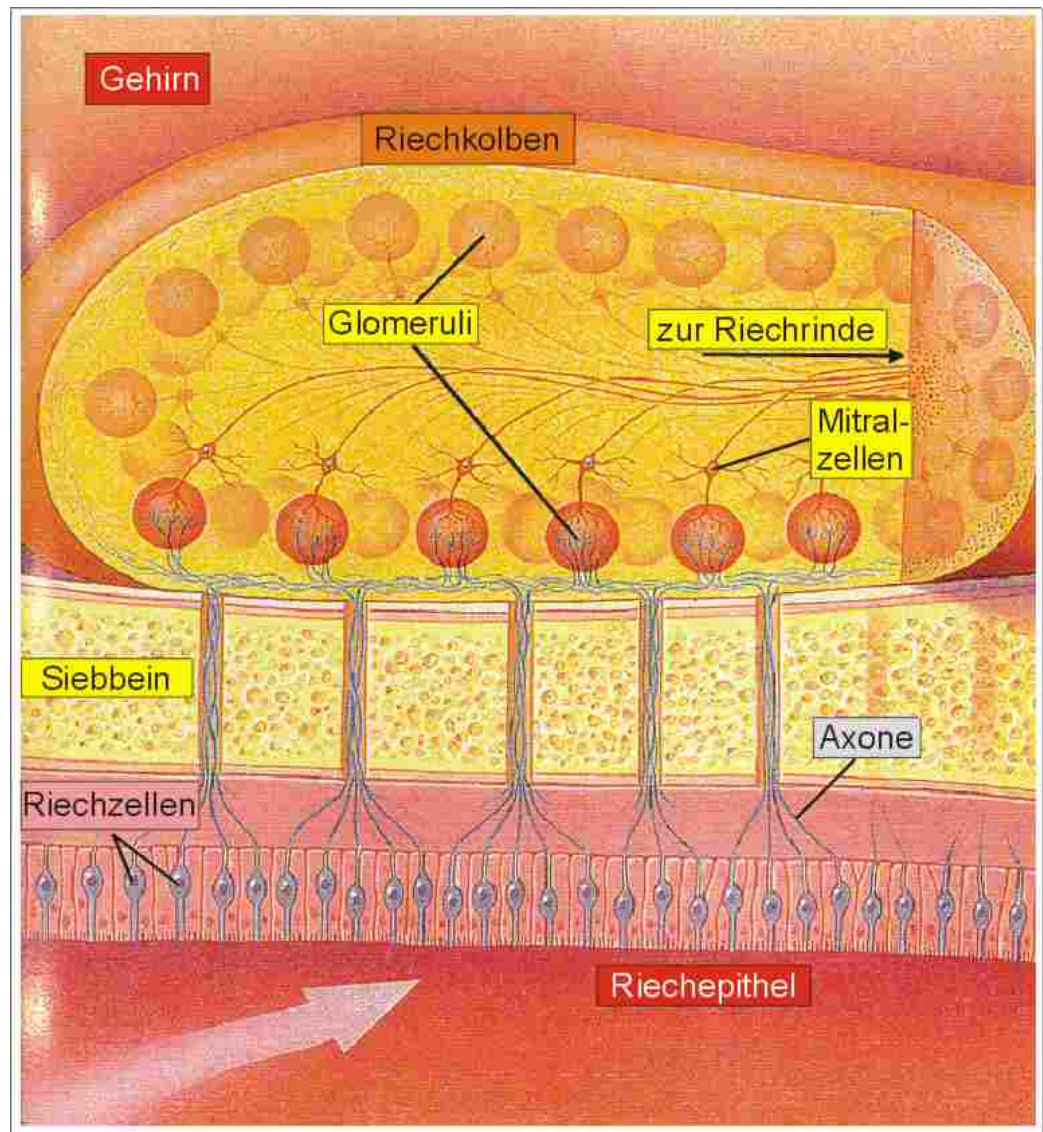
Das Riechsystem des Menschen

Das Riechepithel (= Riechschleimhaut) befindet sich am Dach der Nasenhöhle. Dufstoffe werden durch ein System von Strömungskörpern zum Riechepithel geleitet. Dort binden sie an die chemosensorischen Zilien der Riechzellen. Riechzellen wandeln die Information über die chemische Zusammensetzung und die Intensität des Geruchs in elektrische Signale um (chemoelektrische Transduktion) und leiten diese dem Gehirn zu. Die erste Station der Verarbeitung olfaktorischer Signale im Gehirn ist der Riechkolben (Bulbus olfactorius). Das Jacobson'sche Organ (auch: vomeronasales Organ) ist ein zweites, vom Riechepithel unabhängiges chemosensorisches Organ. Bei den meisten Säugetieren dient es zur Wahrnehmung von Pheromonen, Signalstoffen, die zwischen Individuen derselben Art ausgetauscht werden und wichtige Funktionen beim Sozial- und Reproduktionsverhalten erfüllen. Die Rolle des Jacobson'schen Organs beim Menschen ist noch nicht geklärt.



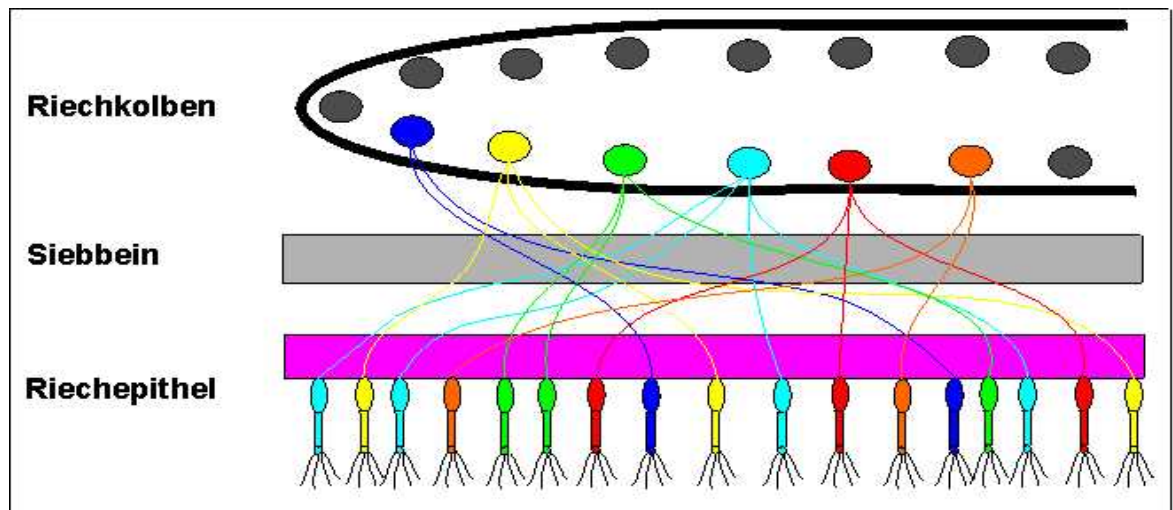
Aus dem Riechepithel ziehen die Axone der Riechzellen durch Poren im Siebbein zum Riechkolben (Bulbus olfactorius). In den Glomeruli des Riechkolbens bilden die Riechzellaxone Synapsen mit nachgeschalteten Zellen (Mitralzellen). Etwa 100 - 1000 Riechzellen gleicher Duftstoffselektivität konvergieren auf eine je Mitralzelle. Das Geruchssignal wird dadurch räumlich geordnet; es entsteht eine topographische Representation des Geruchs im Riechkolben. Die Mitralzellen leiten das Signal weiter zur Riechrinde (dem Pyriformen Cortex). Nicht eingezeichnet sind Zellen, die laterale Verbindungen zwischen Glomeruli und Mitralzellen herstellen (Periglomeruläre Zellen und Körnerzellen).

Aus: Axel, R.
"Die Entschlüsselung des Riechens"
Spektrum der Wissenschaft, Dezember 1995, 72-78.



Riechzellen gleicher Selektivität sind mit den gleichen Glomeruli verbunden.

Riechzellen, die das gleiche Rezeptorgen exprimieren (und damit die gleiche Duftstoffselektivität besitzen) sind über die Fläche des Riechepithels zufällig verteilt. Ihre Axone projizieren jedoch nur auf ein oder wenige Glomeruli im Riechkolben. Die



Mitralzellen eines Glomerulus werden also nur bei Detektion einer kleinen Gruppe von Duftstoffen aktiviert. Da unterschiedliche Glomeruli mit Riechzellen unterschiedlicher Selektivität verbunden sind, ergibt sich bei Stimulation mit einer Duftstoffmischung ein Aktivitätsmuster der Glomeruli im Riechkolben. Dieses räumliche Aktivitätsmuster kann von den nachgeschalteten Ebenen des Riechsystems (Riechrinde, etc.) als Geruch interpretiert werden.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

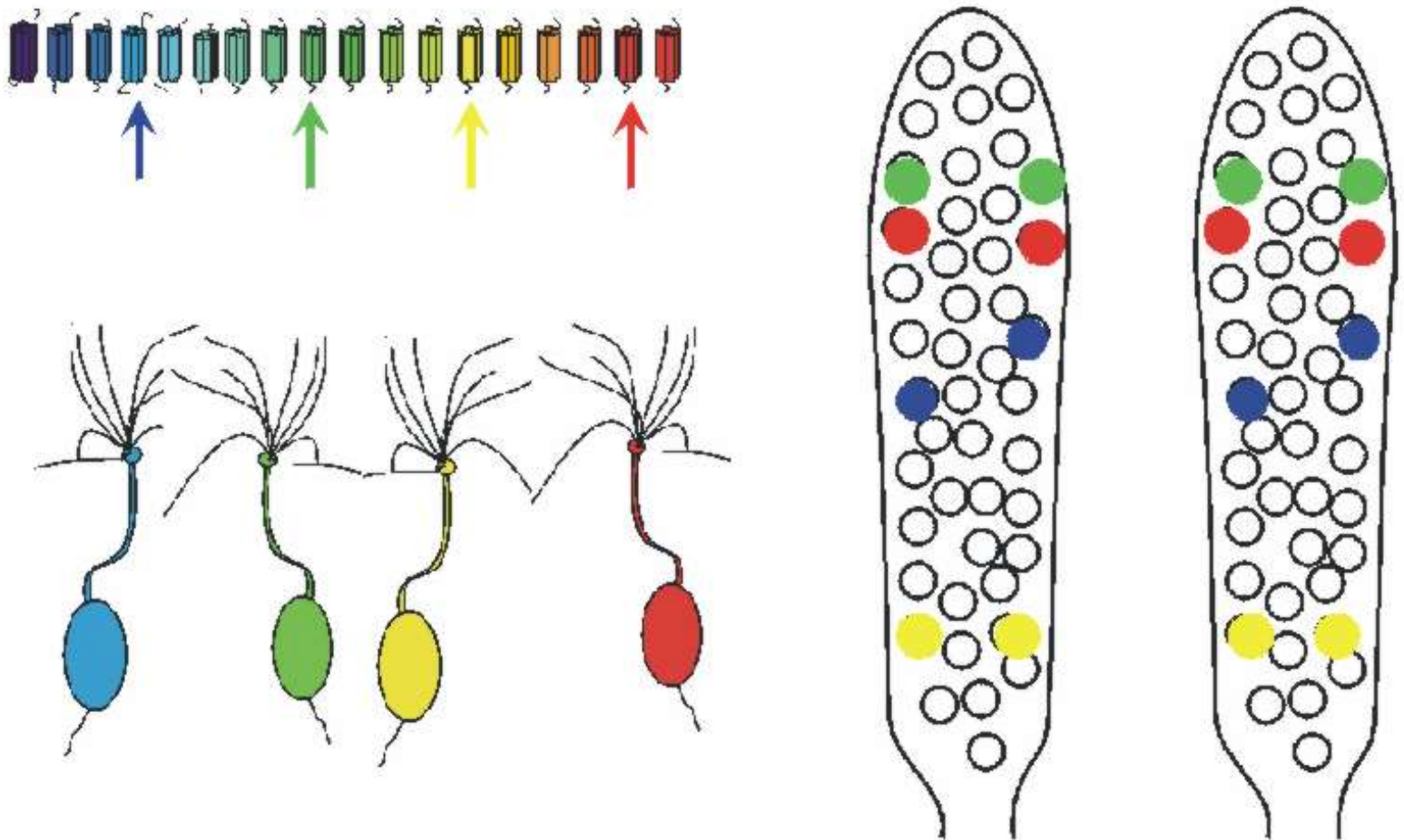
I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchsinformation

Themen:

- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbearbeitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

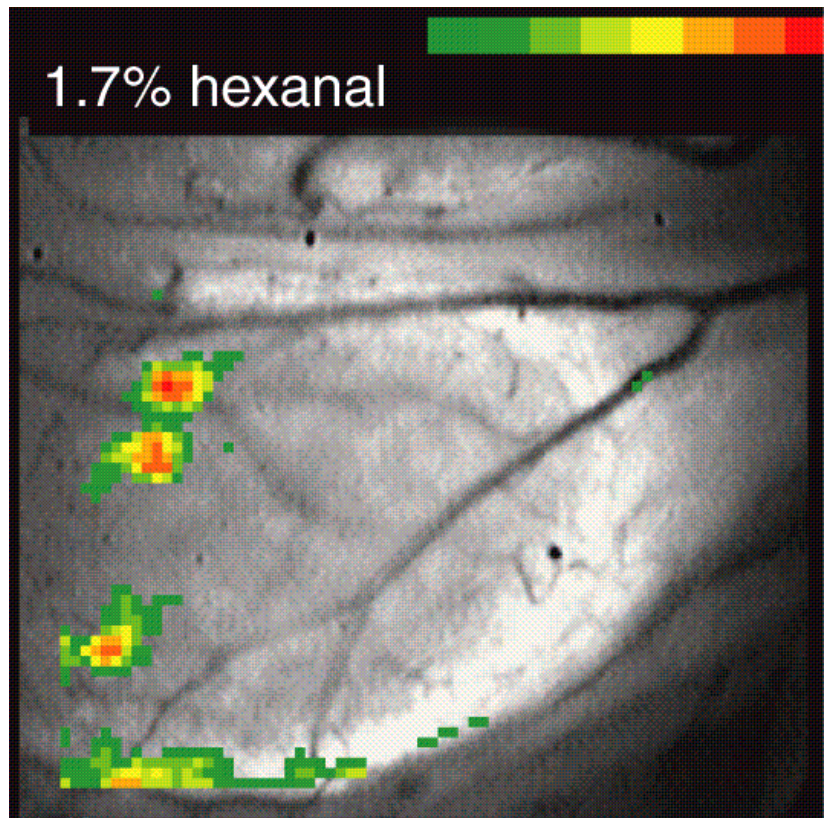
Musteranalyse im Riechkolben



Jede Riechzelle exprimiert nur eines der etwa 1000 Gene, die Duftstoffrezeptoren kodieren, und hat deshalb eine gewisse Duftstoffselektivität. Unter den (grob geschätzt) 10 Millionen Riechzellen im Riechepithel einer Maus haben daher etwa 10.000 Zellen den gleichen Rezeptor (10 Millionen Zellen / 1000 Rezeptortypen). Alle Zellen mit dem gleichen Rezeptortyp konvergieren auf ein oder zwei der etwa 2500 Glomeruli in jedem der beiden Riechkolben. In dem Bild oben rechts ist das durch Farben symbolisiert: Die Riechzellen mit dem "grünen" Rezeptor konvergieren auf die vier grünen Glomeruli der Riechkolben.

Man kann diese Konvergenz mit Hilfe von bildgebenden (Imaging-) Verfahren darstellen. Riechkolben werden mit Fluoreszenzfarbstoffen behandelt, die die Aktivität der Riechzellsynapsen sichtbar machen. Dazu eignen sich zB Farbstoffe, die die intrazelluläre Calciumkonzentration sichtbar machen, denn die steigt bei Erregung der Riechzelle in der präsynaptischen Endigung der Zelle an. In dem Bild rechts sieht man, wie bei Stimulation mit dem Duftstoff Hexanal mehrere Glomeruli eines Riechkolbens aktiviert werden. Die Aktivität ist durch Falschfarben dargestellt.

Selbst bei der Stimulation mit einem einzigen, reinen Duftstoff reagieren mehrere Glomeruli, denn der Duftstoff kann mehrere Duftstoffrezeptoren - und damit mehrere Zellpopulationen - aktivieren. Bei Stimulation mit einem komplexen Duftstoffgemisch (Kaffee Aroma hat mehrere hundert Duftstoffe!) werden viele Glomeruli in allen Intensitätsabstufungen aktiviert. Das daraus resultierende, sehr komplizierte Muster wird vom Gehirn als Geruchsinformation ausgelesen.



Quelle: <http://www.redshirtimaging.com/neuroccdexamples.html>

Stephan Frings, Uni Heidelberg, [Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

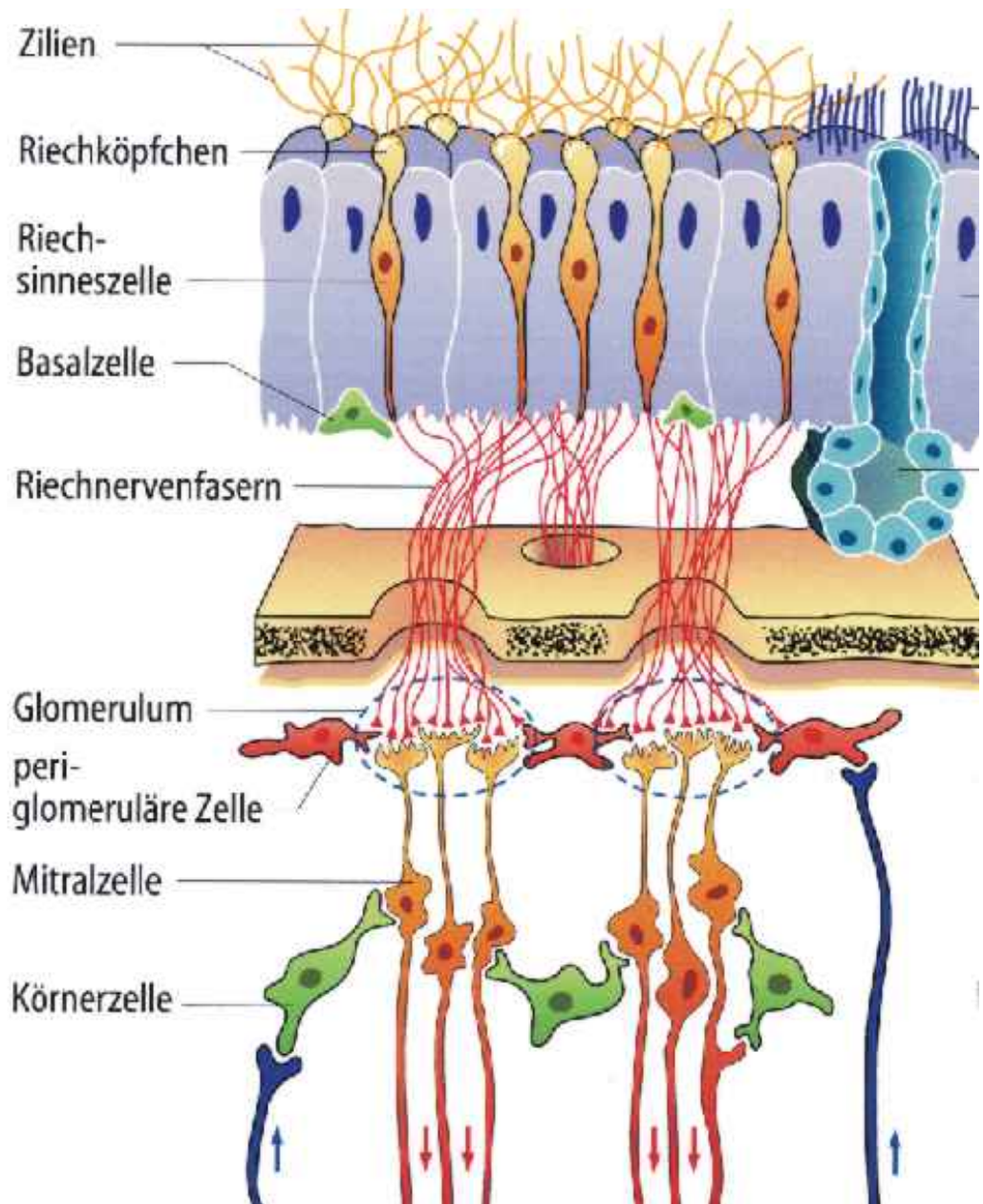
- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbearbeitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Vorbearbeitung im Riechkolben

Nach der Passage durch das Siebbein sammeln sich die Axone von Riechzellen gleicher Duftstoffselektivität in denselben Glomeruli, wo sie Synapsen mit wenigen Mitralzellen bilden. Die Konvergenz (die Anzahl von Riechzellen pro Mitralzelle) ist dabei größer als 100:1. Die Mitralzellen leiten das Riechsignal durch den Tractus olfactorius weiter.

Im Riechkolben bilden Körnerzellen und periglomeruläre Zellen transversale Verschaltungen zwischen Mitralzellen und Glomeruli. Solche Querverbindungen dienen vor allem der gegenseitigen Hemmung von Mitralzellen aus unterschiedlichen Glomeruli (**laterale Inhibition**). Werden zB die Mitralzellen eines Glomerulus stark aktiviert, die von benachbarten Glomeruli aber etwas schwächer, so können die stark aktivierten Mitralzellen ihre schwächeren Nachbarn vollständig zum Schweigen bringen. Dazu schicken sie inhibitorische Signale über die Körnerzellen. Laterale Inhibition findet man oft in der ersten Verschaltungsstelle von Sinnesorganen (zB Nucleus cochlearis beim Hören, Retina beim Sehen). Sie dient dazu, die Unterscheidung einzelner Duftstoffe (Frequenzen, Bildpunkte) zu verbessern.

Die Körnerzellen und periglomerulären Zellen können auch aus den höhergelegenen Verarbeitungsebenen des



Gehirns gesteuert werden. Dadurch kann die Geruchswahrnehmung über efferente Fasern (rechts, blau) beeinflusst werden.



Quelle: Schmidt + Thews (1997) Physiologie des Menschen. Springer Verlag, Berlin.

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinnzellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

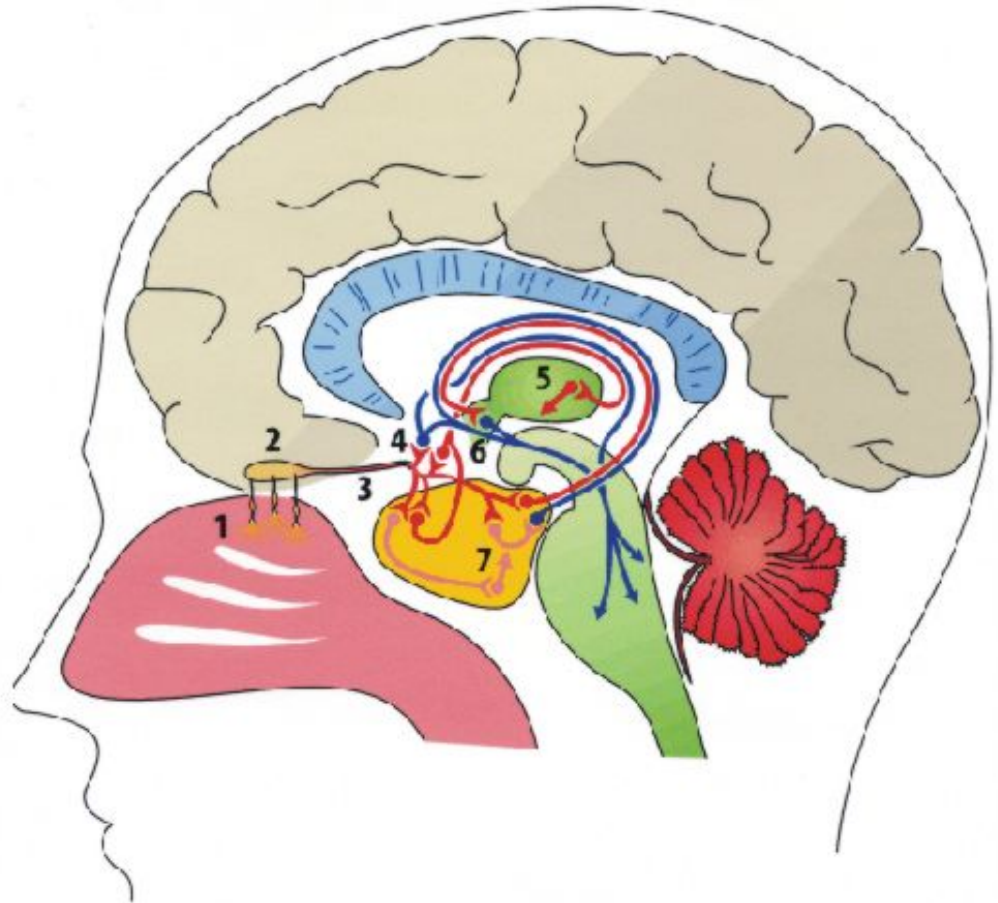
Themen:

- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbearbeitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Projektionen im Gehirn

Wenn man den Verlauf der Riechbahnen im Gehirn mit den Bahnen anderer Sinnesorgane vergleicht, sieht man einen ganz andere Verschaltung. Die bei anderen Modalitäten offensichtliche Route Sinnesorgan - Thalamus - Cortex scheint beim Riechen nur eine Art Seitenstraße zu sein. Sie führt vom **Riechepithel (1)** über die **Riechkolben (2)** durch den **Tractus olfactorius (3)** und den **piriformen Cortex (4)** zum **Thalamus (5)**. Von hier geht die Information zum olfaktorischen Cortex, der in der Nähe der Riechkolben auf der Unterseite des Frontallappens liegt (orbifrontaler Cortex).

Neben diesem Weg zur bewußten Geruchswahrnehmung führen mehrere Geruchsbahnen in das limbische System. Durch den **Hypothalamus (6)** wirken Geruchssignale direkt auf das endokrine System, denn der Hypothalamus kontrolliert die Hypophyse und damit die Produktion vieler Hormone. Verschaltungen mit **Amygdala und Hippocampus (7)** sorgen für die Verknüpfung von Riechinformation mit emotionellen Inhalten, Erinnerungen, Assoziationen und Motivation.



Es ist deutlich, daß das Riechsystem nicht in erster Linie zur bewußten Analyse der Atemluft dient. Die vielfältigen Verbindungen mit dem limbischen System weisen darauf hin, daß die Geruchsinformation eine direkte (bewußtseinsunabhängige) Wirkung auf das Verhalten haben muss.

Quelle: Schmidt + Thews (1997) Physiologie des Menschen. Springer Verlag, Berlin.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinnzellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

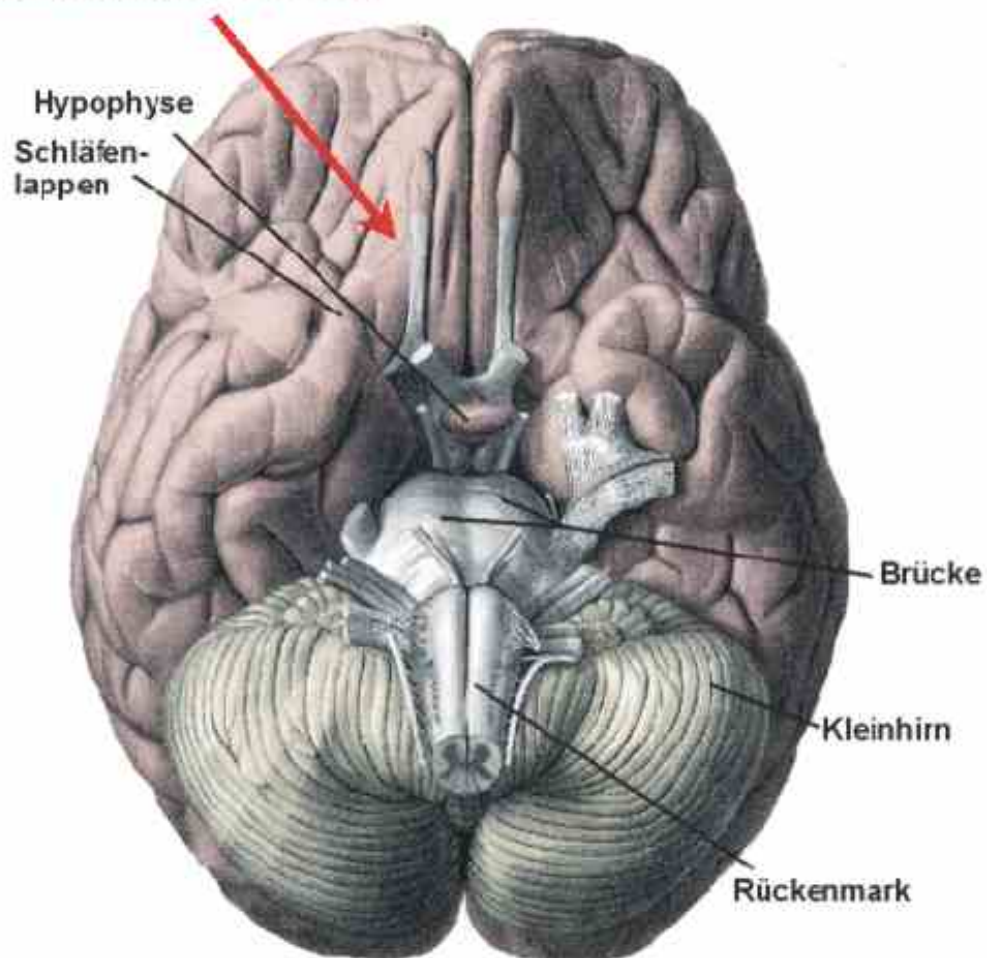
- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbearbeitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Lage der Riechrinde

Die Riechrinde (olfaktorischer Cortex) liegt ganz in der Nähe der Riechkolben. Rechts sieht man eine Darstellung des menschlichen Gehirns von unten. Die beiden Riechnerven mit den Riechkolben liegen wie zwei Streichhölzer unter dem Frontallappen.

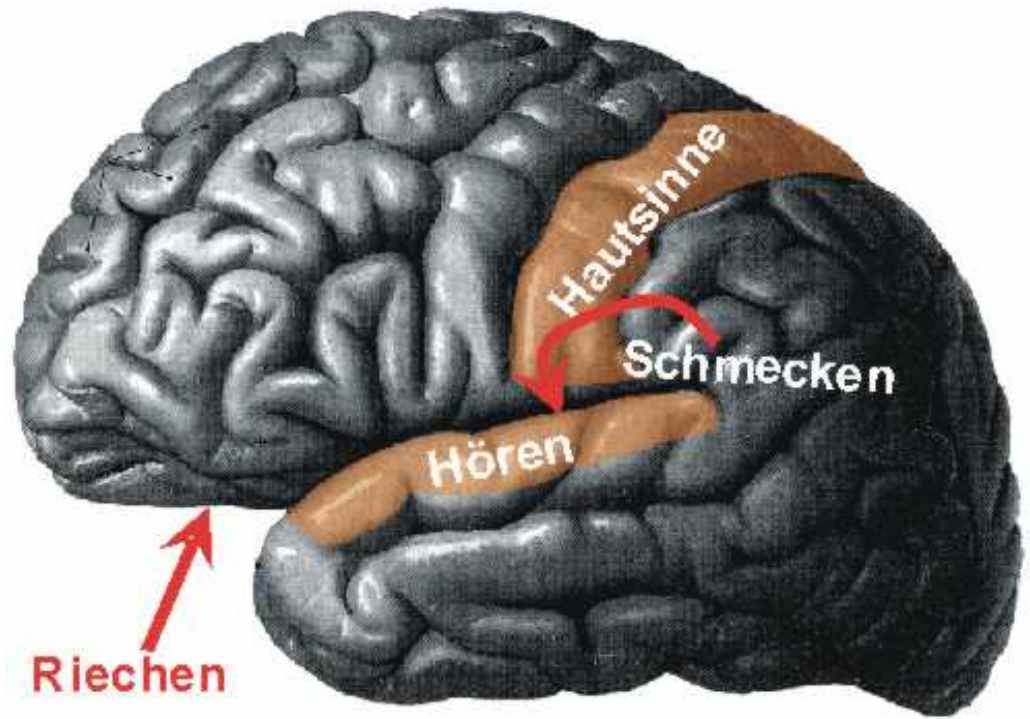
Die Riechrinde, der Ort der bewußten Wahrnehmung von Geruchssignalen, liegt im orbifrontalen Cortex, einem Teil des Frontallappens unmittelbar überhalb der Riechkolben.

Orbifrontaler Cortex



In der Aufsicht auf die Großhirnrinde sind die Orte der Verarbeitung chemischer Signale nicht zu erkennen. Der gustatorische Cortex liegt in der Inselregion, tief verborgen in der Fissura lateralis zwischen Frontal- und Schläfenlappen. Der olfaktorische Cortex wird durch die seitliche Wülste des Frontallappens verdeckt.

Quelle: Weitz, B. (1998) Atlas der Anatomie. Weltbild Verlag



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Das Riechsystem des Menschen](#)
- [Musteranalyse im Riechkolben](#)
- [Vorbereitung im Riechkolben](#)
- [Projektionen im Gehirn](#)
- [Lage der Riechrinde](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Zusammenfassung 2

- Die Axone von Riechzellen gleicher Selektivität konvergieren auf die gleichen Glomeruli im Riechkolben.
- In den Glomeruli wird das olfaktorische Signal auf Mitralzellen übergeben.
- Vor allem durch laterale Inhibition wird das Signal verbessert. Körnerzellen und periglomeruläre Zellen sorgen für laterale Verschaltungen.
- Durch den Tractus olfactorius gelangt das Riech-Signal zum Thalamus und von dort zum orbifrontalen Cortex.
- Durch Verschaltungen mit dem limbischen System greift das Riechsignal in endokrine Prozesse ein und beeinflusst zudem Emotionen und Erinnerungen.

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

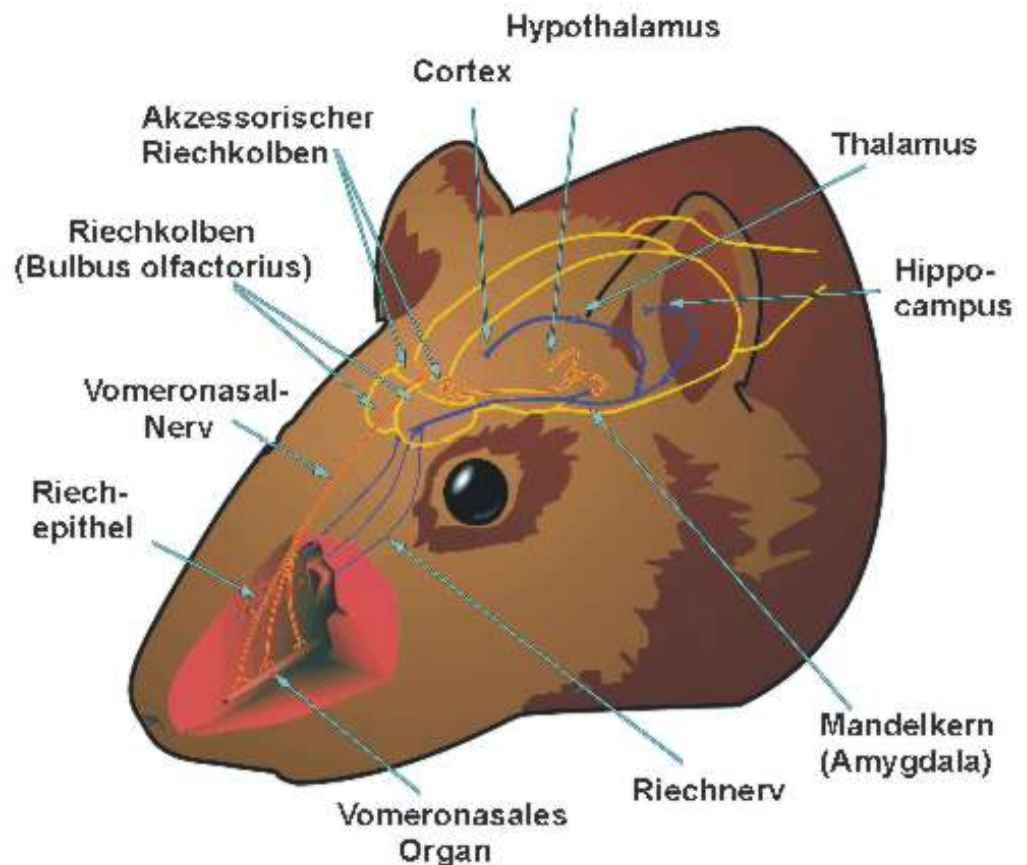
Themen:

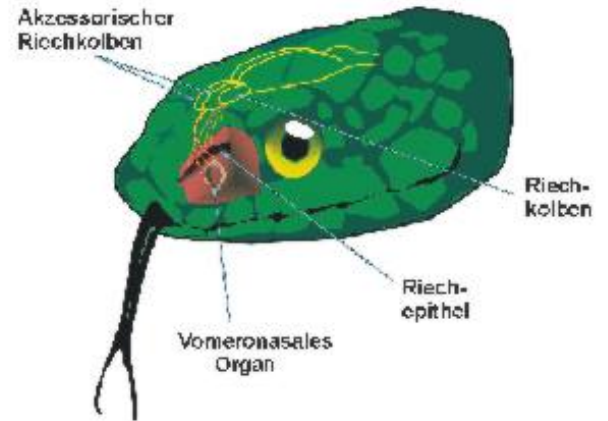
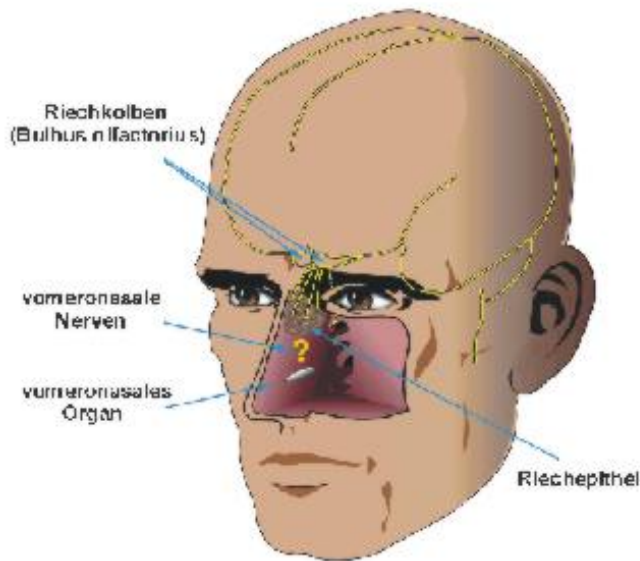
- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Duftstoffe und Pheromone

Für die Wahrnehmung von Duftstoffen und Pheromonen gibt es zwei unterschiedliche Organe in der Nase. Duftstoffe werden im Riechepithel detektiert. Das Riechsignal wird dann an den Riechkolben (Bulbus olfactorius) weitergegeben, die erste Verarbeitungsstation der Riechinformation im Gehirn.

Zur Wahrnehmung von Pheromonsignalen dient dagegen das vomeronasale Organ (auch Jacobson Organ), das von einer kleinen Röhre in der Nasenscheidewand gebildet wird. Pheromone - beim Hamster (rechts) Bestandteile des Urins - haben oft verhaltenslenkende Funktion. Das Pheromonsignal wird im akzessorischen Riechkolben vorverarbeitet, bevor es im limbischen System mit Strukturen verschaltet wird, die im Sozialverhalten eine große Rolle spielen (Mandelkern, Hypothalamus, Hippocampus).





Auch beim Menschen sind beide Riechsysteme ausgebildet. Die Wirkung von Pheromonsignalen ist jedoch weit schwerer nachzuweisen als bei anderen Säugetieren. Schlangen besitzen ein ausgeprägtes Pheromonsystem mit einem relativ großen akzessorischen Riechkolben.

Quelle: Michael Meredith, <http://athena.neuro.fsu.edu/research/vomeronasal/>

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

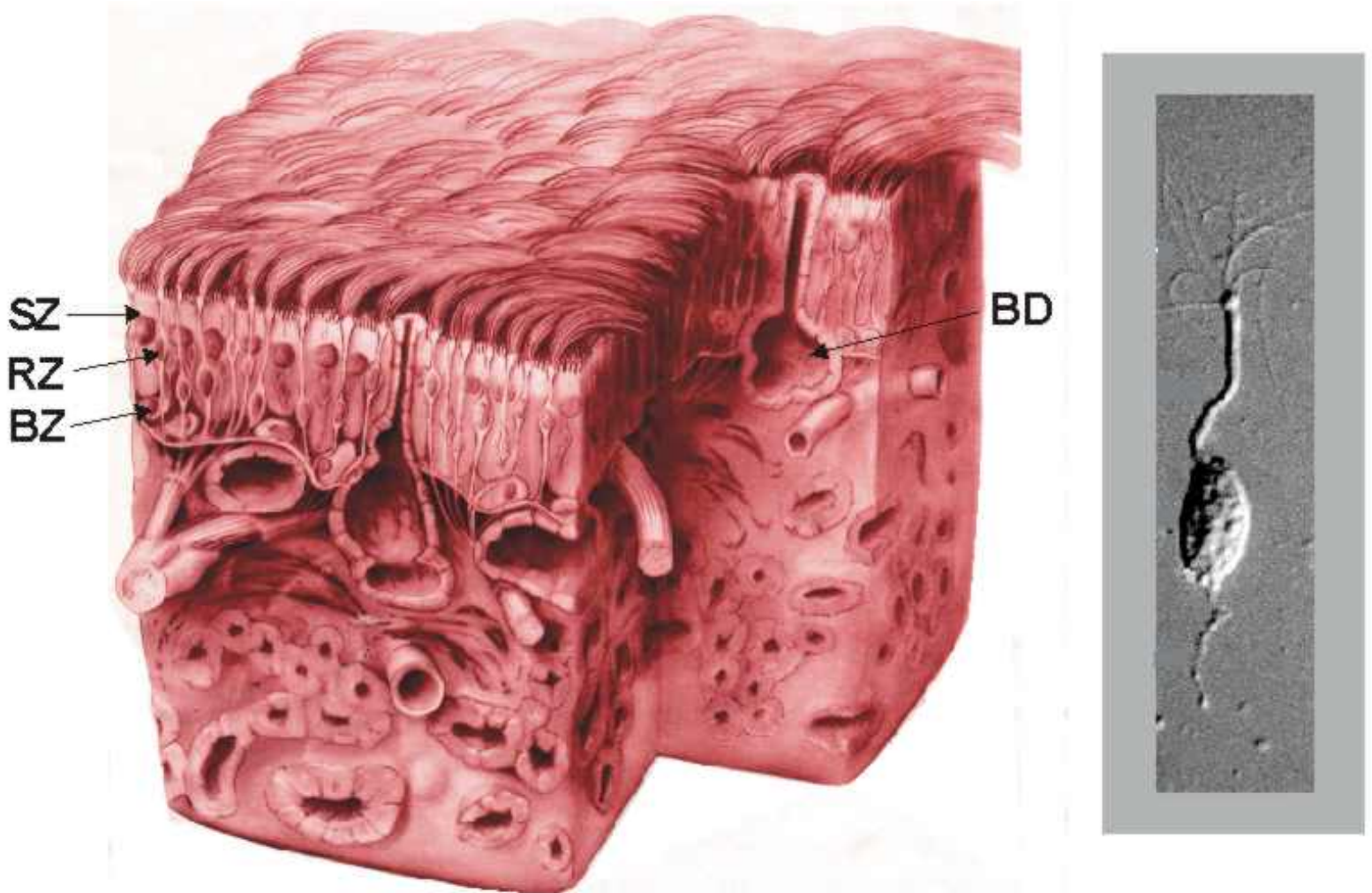
I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Das Riechepithel



Darstellung des Riechepithels mit der chemosensorsichen Oberfläche nach oben. Das Epithel wird von eine einzelnen Schicht **Stützcellen** (**SZ**) zur Nasenhöhle hin begrenzt. Darunter erkennt man die **Riechzellen** (**RZ**), primäre Neurone, deren Axone in der Submucosa gebündelt werden und dann zum Riechkolben ziehen, wo sie mit Mitralzellen Synapsen bilden. Riechzellen haben eine Lebenszeit von nur wenigen Wochen. Sie sterben nach 3 - 6 Wochen ab und werden durch nachdifferenzierende **Basalzellen** (**BZ**) ersetzt.

Die chemosensorischen Teile der Riechzellen sind die Zilien. Von einer Verdickung am Ende des Dendriten einer jeden Riechzelle gehen 10 - 20 Zilien aus und reichen in die Nasenhöhle. Dort liegen die Zilien in einer Mukusschicht, die von den **Bowman Drüsen (BD)** gebildet wird. Duftstoffe aus der Atemluft lösen sich in der Mukusschicht, kommen mit der Zilienmembran in Kontakt und lösen eine elektrische Reaktion aus: chemoelektrische Transduktion.

Quellen,

links: Anholt, R.R (1987) Trends in Biochemical Science 12:58

rechts: Kleene + Gesteland (1981) Brain Res. 229: 536

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinnzellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchsinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

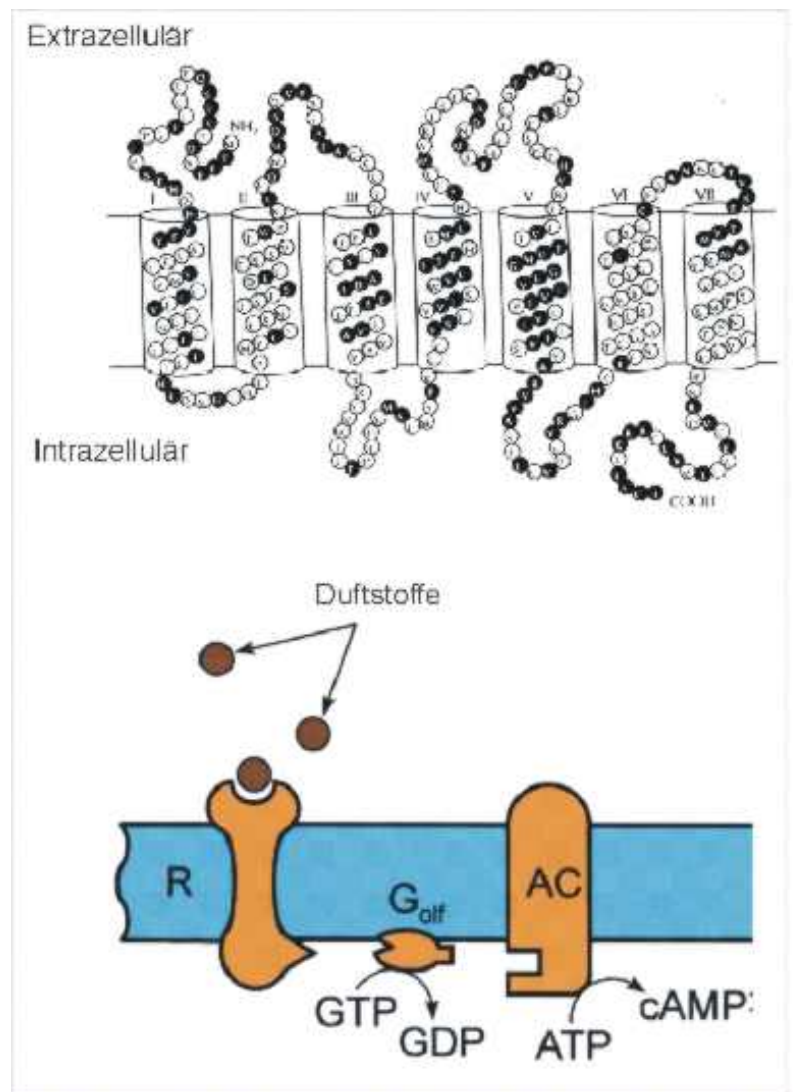
Duftstoffrezeptoren

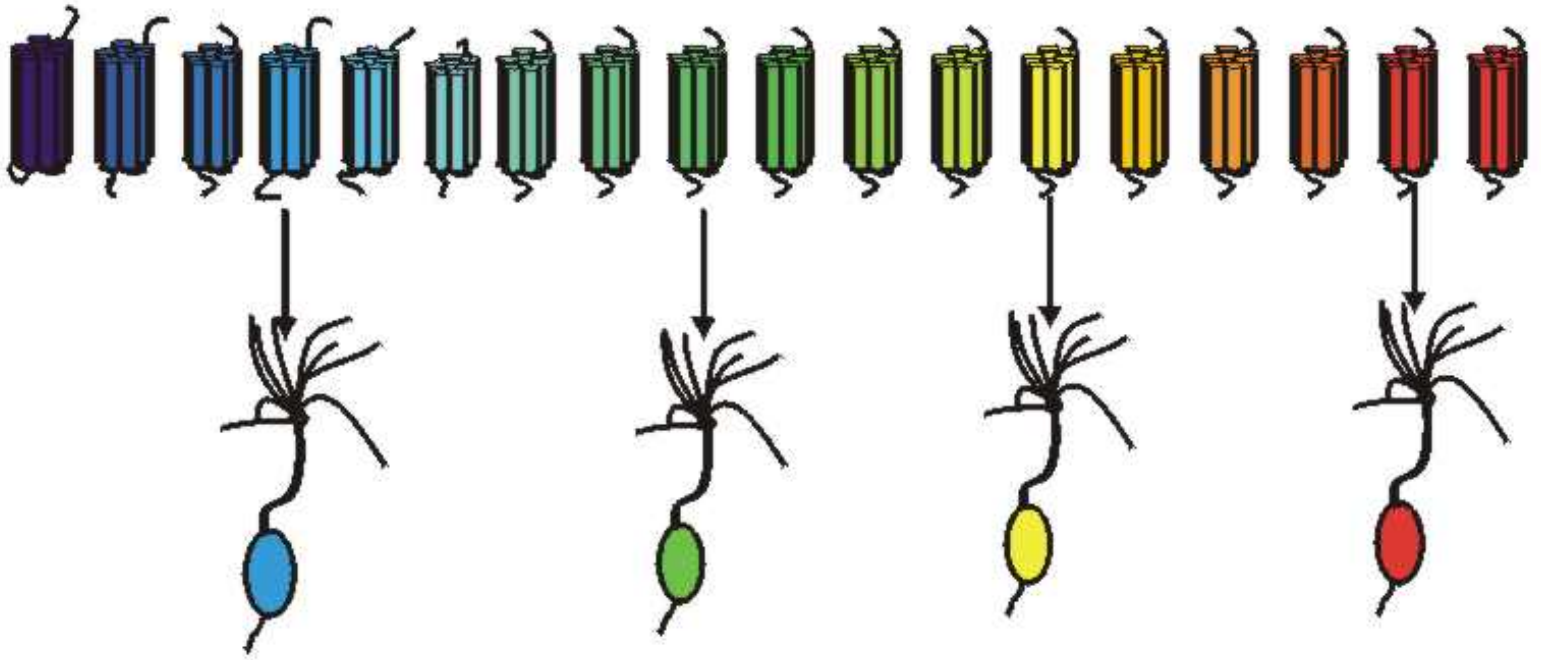
Das Riechepithel muss in der Lage sein, sehr viele unterschiedliche Substanzen zu detektieren und dem Gehirn eine möglichst gute Unterscheidung zu ermöglichen. Dafür steht den Riechzellen eine große, spezialisierte Proteinfamilie zur Verfügung, die Duftstoffrezeptoren. Bei Nagetieren werden etwa 1000 unterschiedliche Duftstoffrezeptor-Proteine von ebensovielen (intron-freien) Genen kodiert. Dies ist neben den Genen für das Immunsystem die größte Genfamilie im Genom.

Duftstoffrezeptoren besitzen sieben transmembranale Domänen und koppeln über ein G-Protein (G_{olf}) an Adenylatzyklase (AC III). Die Stimulation einer Riechzelle mit einem Duftstoff führt daher zur Bildung des second messengers (Botenstoffs) cAMP in den Zilien.

Die Duftstoffrezeptoren weisen untereinander einen hohen Grad struktureller Ähnlichkeit auf. In den mittleren transmembranalen Domänen gibt es jedoch große Unterschiede in der Aminosäuresequenz. Es wird vermutet, daß diese Bereiche der Rezeptoren für ihre Duftstoffselektivität verantwortlich sind.

Die Duftstoffselektivität der Riechzellen kommt dadurch zustande, daß jede Zelle nur eines der über 1000 Rezeptorgene exprimiert. Demzufolge besitzt jede Riechzelle nur einen Typ Duftstoffrezeptor und reagiert nur auf eine kleine Gruppe chemisch verwandter Substanzen.





Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



Riechen

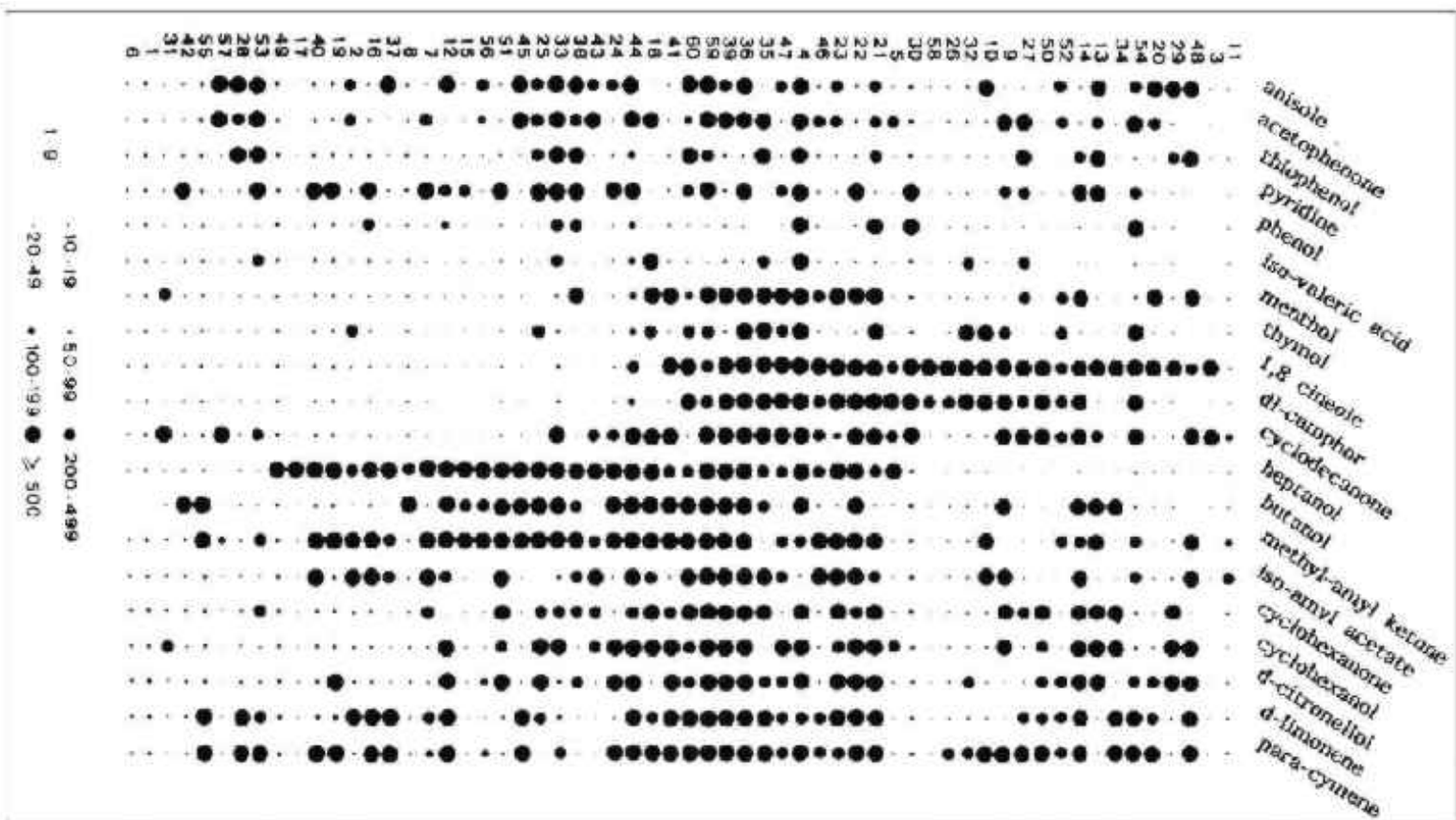
I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchsinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Die Selektivität von Riechzellen



Diese Graphik zeigt das Ergebnis einer Selektivitätsstudie an 60 einzelnen Riechzellen, die mit jeweils 20 unterschiedlichen Duftstoffen getestet wurden. Jede Zelle entspricht einer Spalte, jeder Duftstoff einer Reihe. Die Größe der Punkte symbolisiert die Intensität der elektrischen Reaktion (Anzahl von Aktionspotentialen). Die Zellen mit den Nummern 26 und 58 reagieren spezifisch auf Cineol und Campher. Zelle 4 dagegen reagiert auf alle Duftstoffe außer Isoamylacetat.

Dieser Versuch zeigt, daß Riechzellen nicht nur auf einen einzigen Duftstoff spezialisiert sind. Sie reagieren immer auf mehrere unterschiedliche Substanzen - manchmal haben sie sogar eine sehr geringe Selektivität. Die Vielfalt von möglichen Duftstoffen ist dadurch praktisch unbegrenzt - es wird sich immer eine Zelle finden, die reagiert. Allerdings kommt es infolge der relativ großen Toleranz der

Duftstoffrezeptoren dazu, daß jeder Duftstoff eine Reihe von Zellen ganz unterschiedlicher Selektivität aktiviert. Anisol (oberste Reihe) zB stimuliert etwa die Hälfte aller getesteten Riechzellen. Jeder Duftstoff (und erst recht jede Duftstoffmischung!) erzeugt also ein kompliziertes Aktivitätsmuster vieler, unterschiedlich "gestimmter" Riechzellen. Ein derart kompliziertes Signal kann nur durch **Musteranalyse** ausgewertet werden.

Quelle: G. Sicard and A. Holley (1984) Brain Research 292:283

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchsinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

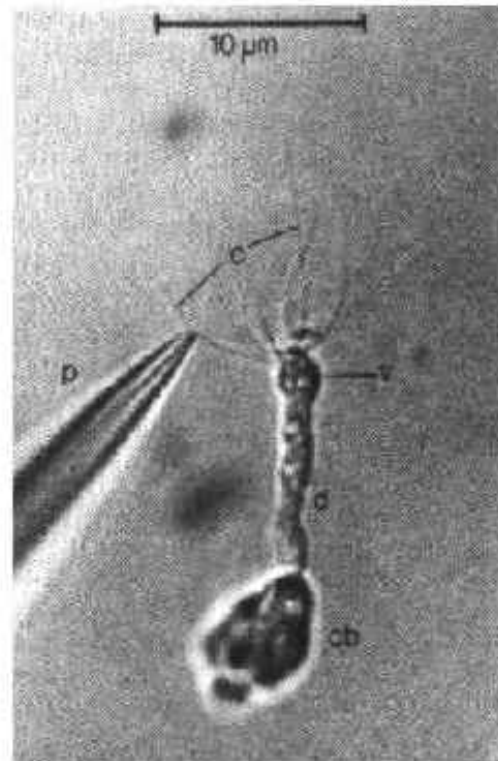
Die elektrische Reaktion von Riechzellen

Wie reagiert eine Riechzelle, wenn sie einen Duftstoff detektiert?

Im Labor kann man diese Frage an einzelnen Riechzellen untersuchen, die aus dem Riechepithel isoliert worden sind. Bei diesen Zellen kann man das Membranpotential registrieren (intrazelluläre Ableitung) während man einen Duftstoff an die Zilien bringt.

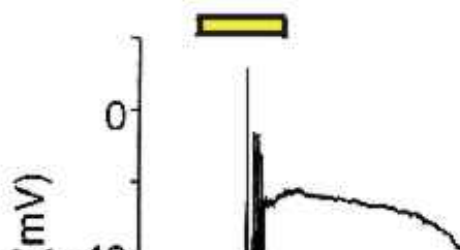
Die Aufnahme rechts unten zeigt, daß das Membranpotential während der Duftstoffstimulation (gelber Balken) positiver wird (depolarisiert). Kurz nach Beginn der Depolarisation erkennt man Aktionspotentiale (senkrechte Striche). Die Aktionspotentiale bilden das Ausgangssignal der Zelle - sie werden über das Axon zum Riechkolben weitergeleitet.

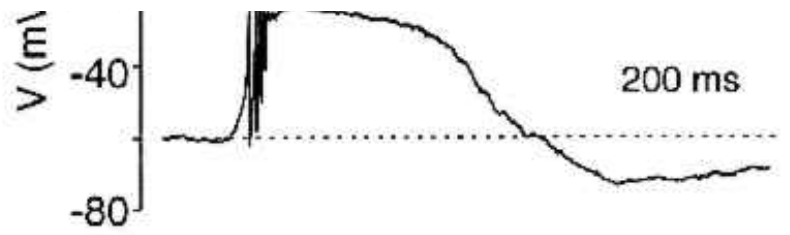
Der Anstieg von cAMP in den Zilien, der bei Detektion von Duftstoffen auftritt, führt also zu einer Depolarisation der Riechzellmembran und zum Feuern von Aktionspotentialen. Wie diese Umsetzung eines chemischen Signals (cAMP) in ein elektrisches funktioniert, ist auf der Seite [Signaltransduktion in Riechzellen](#) gezeigt.



Quellen:

oben: Nakamura & Gold (1987) Nature 325:442
 unten: Zufall et al., (2000) J. Neurophysiol. 83:501





Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

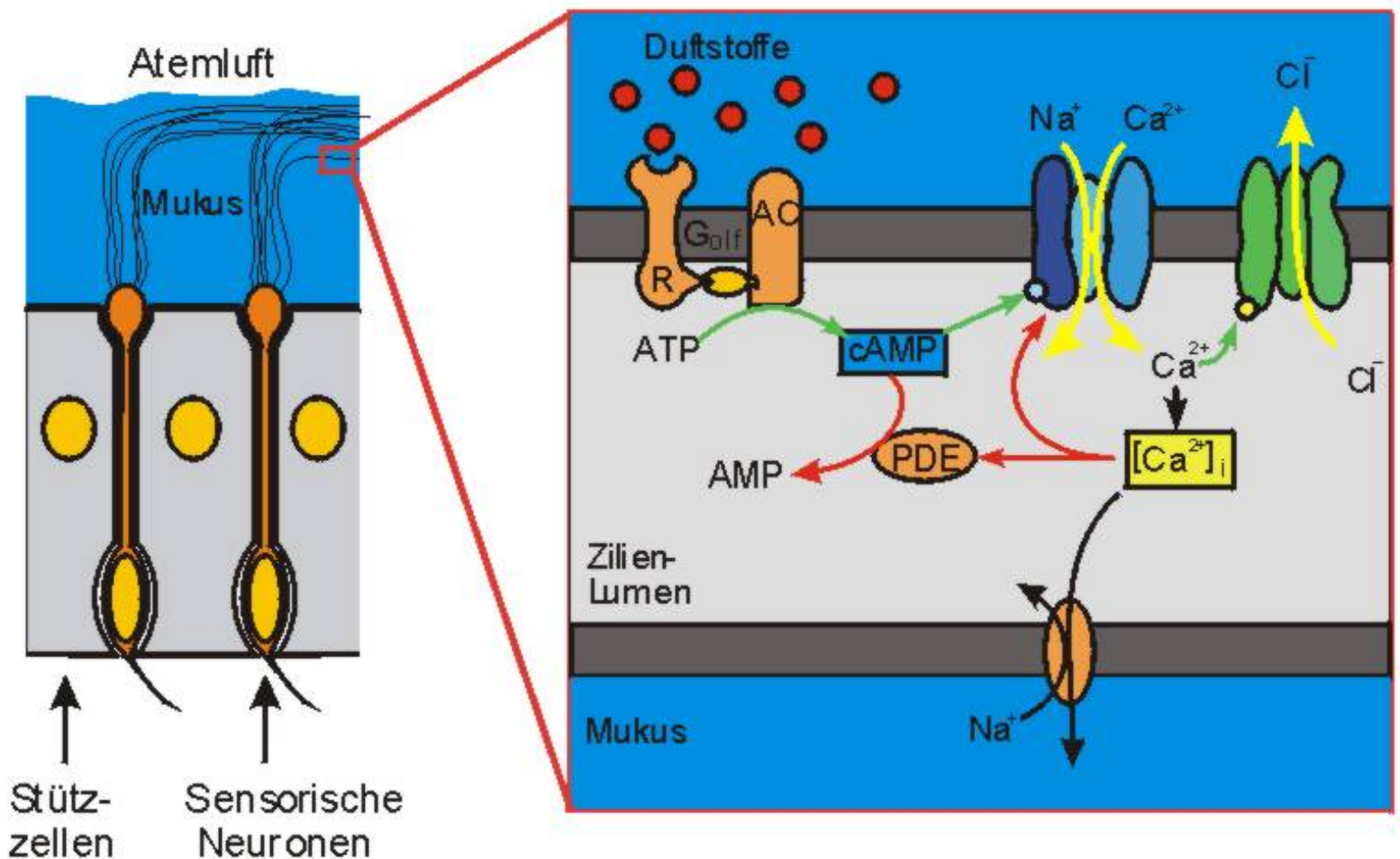
I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Signaltransduktion in Riechzellen



Darstellung der bisher bekannten Signalverarbeitungswege in den Riechzilien von Wirbeltieren. Links: Riechzellen im Zellverband mit den Epithelzellen des Riechepithels. Die chemosensorischen Zilien sind in eine Mukusschicht eingebettet und stehen in Kontakt mit der Atemluft in der Nasenhöhle. Der Mucus verhindert das Austrocknen der Zilien, bringt die Duftstoffe in Lösung und stellt Ionen bereit, die den duftinduzierten Rezeptorstrom leiten. Rechts: Schematische Darstellung der molekularen Komponenten der chemo-elektrischen Transduktion. Prozesse, die den Rezeptorstrom aktivieren, sind grün dargestellt. Die Abschaltung des Rezeptorstroms ist durch rote Pfeile

symbolisiert. Duftstoffe werden im Mukus gelöst und binden an Rezeptorproteine (R) in der Zilienmembran. Die meisten bekannten Duftstoffe aktivieren über ein G-Protein (Golf) die olfaktorische Adenylatzyklase (AC), so daß bei Duftstimulation die cAMP-Konzentration in den Zilien ansteigt. cAMP aktiviert Kationenkanäle in der Zilienmembran. Diese Kanäle leiten vor allem Calcium aus dem Mukus in die Zilien und verursachen damit einen Anstieg der ziliären Calciumkonzentration. Dies wiederum führt zur Öffnung Calcium-gesteuerter Chloridkanäle, die einen Chloridfluß aus den Zilien in den den Mukus leiten. Kationeneinstrom und Anionenausstrom bilden zusammen den Rezeptorstrom, der die Zilienmembran depolarisiert und die Zelle elektrisch erregt. Calcium sorgt auch für die Abschaltung des Rezeptorstroms: Die cAMP-gesteuerten Kationenkanäle werden gehemmt, und gleichzeitig wird die cAMP-Konzentration durch Phosphodiesterase (PDE) gesenkt. Beide Prozesse werden durch das Calcium-bindende Protein Calmodulin vermittelt. Calcium wird aus den Zilien durch Natrium/Calcium-Austauscher entfernt. Diese Moleküle nutzen die elektrochemische Potentialdifferenz des Natriums und koppeln Calciumexport an Natriumeinstrom.

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchsinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

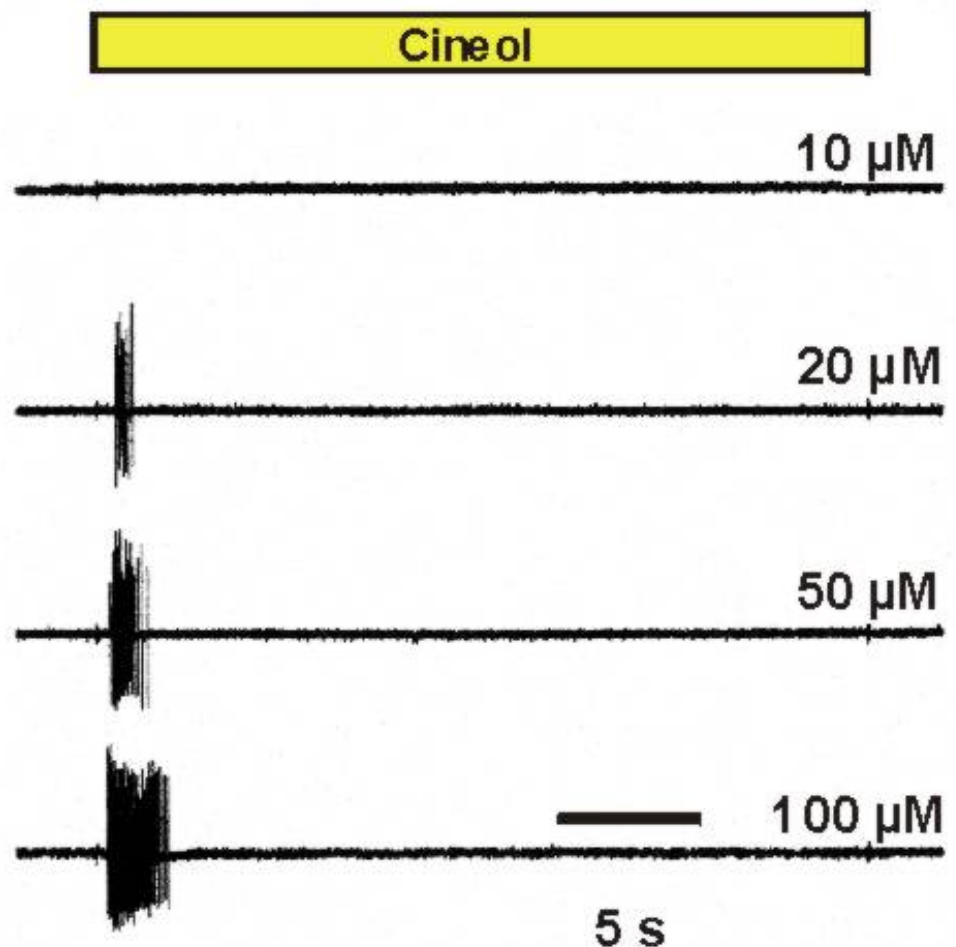
Adaptation

Riechzellen sind für kurze Reaktionen konstruiert. Selbst bei lang andauernder Duftstoffstimulation reagieren sie nur für wenige Sekunden. Rechts sind extrazelluläre Ableitungen von einer Riechzelle gezeigt, bei der Aktionspotentiale an den senkrechten Strichen auf der Stromregistrierung zu erkennen sind. Selbst bei hohen Konzentrationen des Duftstoffs Cineol reagiert die Zelle nur kurz.

Diese schnelle Adaptation wird durch negative Rückkopplungsmechanismen verursacht: Calcium, das bei Stimulation in die Zilien fließt, aktiviert über Calmodulin das Enzym Phosphodiesterase und beschleunigt damit den Abbau des Botenstoffs cAMP. Gleichzeitig hemmt Ca/Calmodulin die cAMP-gesteuerten Kationenkanäle und unterbricht damit den Rezeptorstrom. ([Transduktionsschema](#))

Der Sinn dieser kurzen (phasischen) Reaktion hängt wohl damit zusammen, wie Riechsignale in der Luft transportiert werden. Bei der Ausbreitung durch die Luft werden Duftwolken verwirbelt und zerrissen. In der Nase kommen die Duftsignale deshalb nicht als kontinuierlicher Stimulus an sondern

zerlegt in kurze, pulsartige Reize - eine intermittierende Stimulation. Die Riechzellen können solche Signale am besten auswerten, indem sie mit maximaler Empfindlichkeit jede Duftportion registrieren, dabei kurz adaptieren, und in der duftfreien Phase bis zum Eintreffen der nächsten Portion wieder in den hochempfindlichen Ausgangszustand zurückversetzt werden. Diese Theorie erklärt, warum Tiere (Hunde, Motten) nicht in der Lage sind, einem kontinuierlichen Duftgradienten zu folgen, während sie entlang einer



Adaptation

diskontinuierlichen (gestückelten) Spur die Duftquelle aufspüren können,

Quelle: Reisert & Matthews (2001) Journal of Physiology 534:179

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Riechen

I. Riechsinneszellen

II. Zentrale Verarbeitung von Geruchssinformation

Themen:

- [Was ist Riechen?](#)
- [Duftstoffe und Pheromone](#)
- [Das Riechepithel](#)
- [Duftstoffrezeptoren](#)
- [Die Selektivität von Riechzellen](#)
- [Die elektrische Reaktion von Riechzellen](#)
- [Signaltransduktion in Riechzellen](#)
- [Adaptation](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Zusammenfassung 1

- Das Riechepithel von Säugern enthält 5 – 15 Millionen Riechzellen.
- Riechzellen sind primäre Neurone mit chemosensorischen Zilien.
- Riechzellen haben eine Lebensdauer von wenigen Wochen. Danach werden sie durch neue Zellen ersetzt.
- Etwa 1000 unterschiedliche Duftstoffrezeptoren binden Duftstoffe in den Zilien. Jede Riechzelle exprimiert nur ein Rezeptorgen.
- Duftstoffrezeptoren aktivieren Adenylatzyklase.
- cAMP öffnet Calcium-permeable Kanäle. Einströmendes Calcium aktiviert dann Chloridkanäle. Cl-Ausstrom depolarisiert das Neuron
- Calcium-gesteuerte Hemmprozesse beenden den Rezeptorstrom und damit die Aktivität der Riechzelle nach wenigen Sekunden.