

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

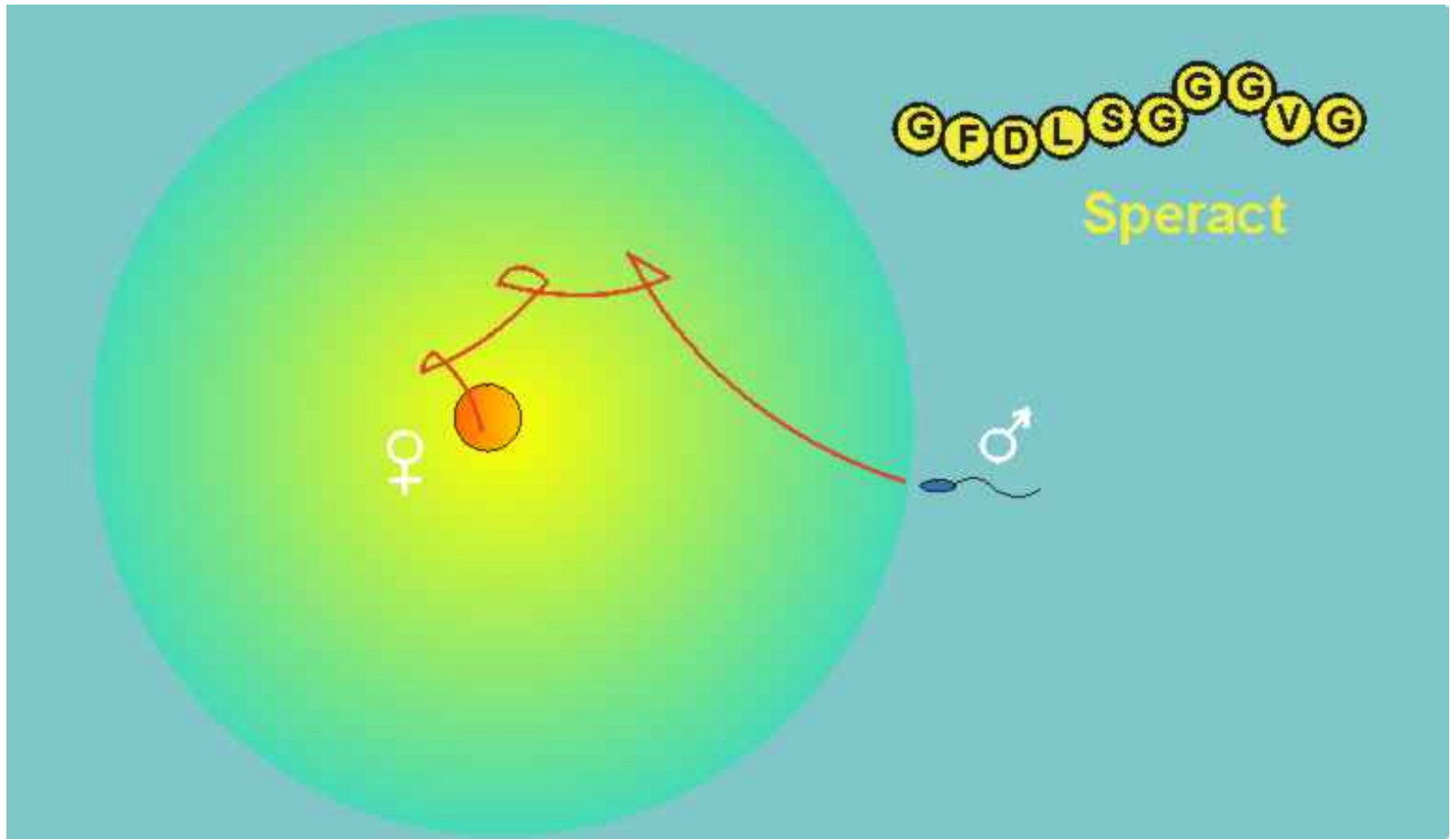
- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Chemotaxis mit Pheromonen



Seeigel entlassen ihre Keimzellen in das Meerwasser. Das Zusammentreffen von Spermium und Eizelle wird aber nicht dem Zufall überlassen sondern durch chemische Kommunikation unterstützt. Die Eizellen entlassen ein kleines Peptid (Speract) ins Wasser, das den Spermien als chemische Spur für ihre Reise Richtung Eizelle dient. Um die Eizelle herum bildet sich ein Speractgradient, in dem sich die Spermien Richtung Quelle orientieren können. Diese Orientierung mit einem chemischen Signal (**Chemotaxis**) wirkt bei Spermien über relativ kurze Entfernungen (einige cm)

Speract wirkt hier als Pheromon, indem es als Signal zwischen zwei Individuen der selben Art wirksam ist. In ähnlicher Weise nutzen viele Einzeller und auch vielzellige Organismen (zB Pilze, Braunalgen, Seeanemonen) Pheromone zur Kommunikation, insbesondere als Lock- oder Alarmstoffe. Lockstoffe, mit denen Spermien zu Eizellen geführt werden, kommen auch bei höheren Tieren zum Einsatz, wahrscheinlich auch bei Menschen. Die Lockstoffe sind bei höheren Tieren aber bisher nicht identifiziert worden.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

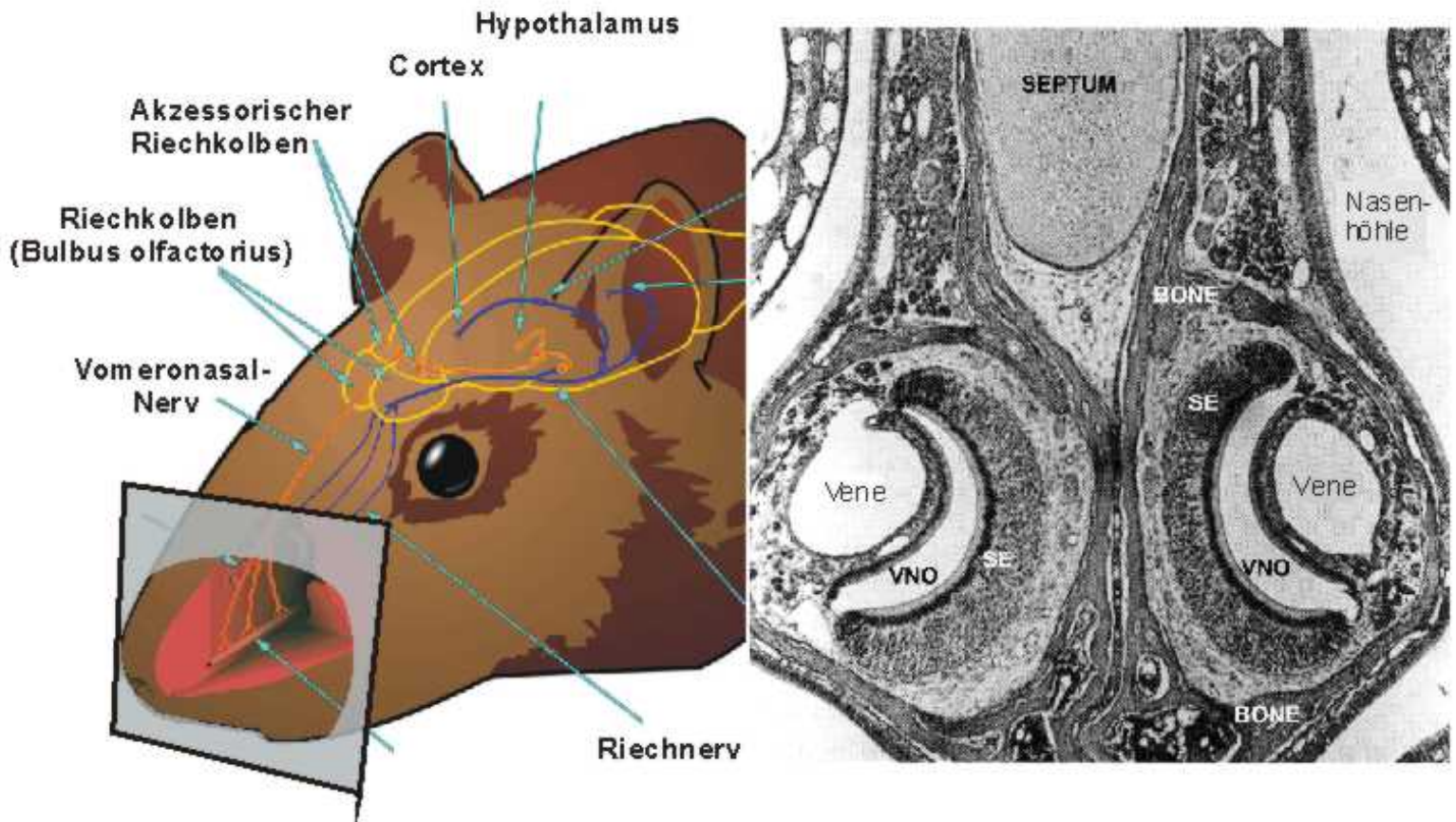
I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Lage des VNO



Säugetiere detektieren Pheromone mit Hilfe des vomeronasalen Organs (VNO). Das VNO ist eine paarige Struktur, die an der Basis der Nasenscheidewand eingelassen ist und sich zur jeweiligen Nasenhöhle hin öffnet. Das VNO ist eine nur nach vorne hin offene Röhre, mit wässriger Lösung gefüllt und wahrscheinlich fähig zu peristaltischen Bewegungen, die dazu beitragen, die gelösten Pheromone durch das Lumen zu transportieren. In einem **Coronalschnitt** - einem Schnitt quer zur Längsachse des Kopfes - (rechts) sieht man das VNO als sichelförmige Struktur zu beiden Seiten der Nasenscheidewand (Septum). Das Lumen (hier mit VNO bezeichnet) wölbt sich um die Wand eines Blutgefäßes. Auf der anderen Seite wird das Lumen von einem sensorischen Epithel (SE) begrenzt. Hier sind die Pheromon-sensitiven Sinneszellen zu finden, die den Inhalt des Lumens analysieren.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

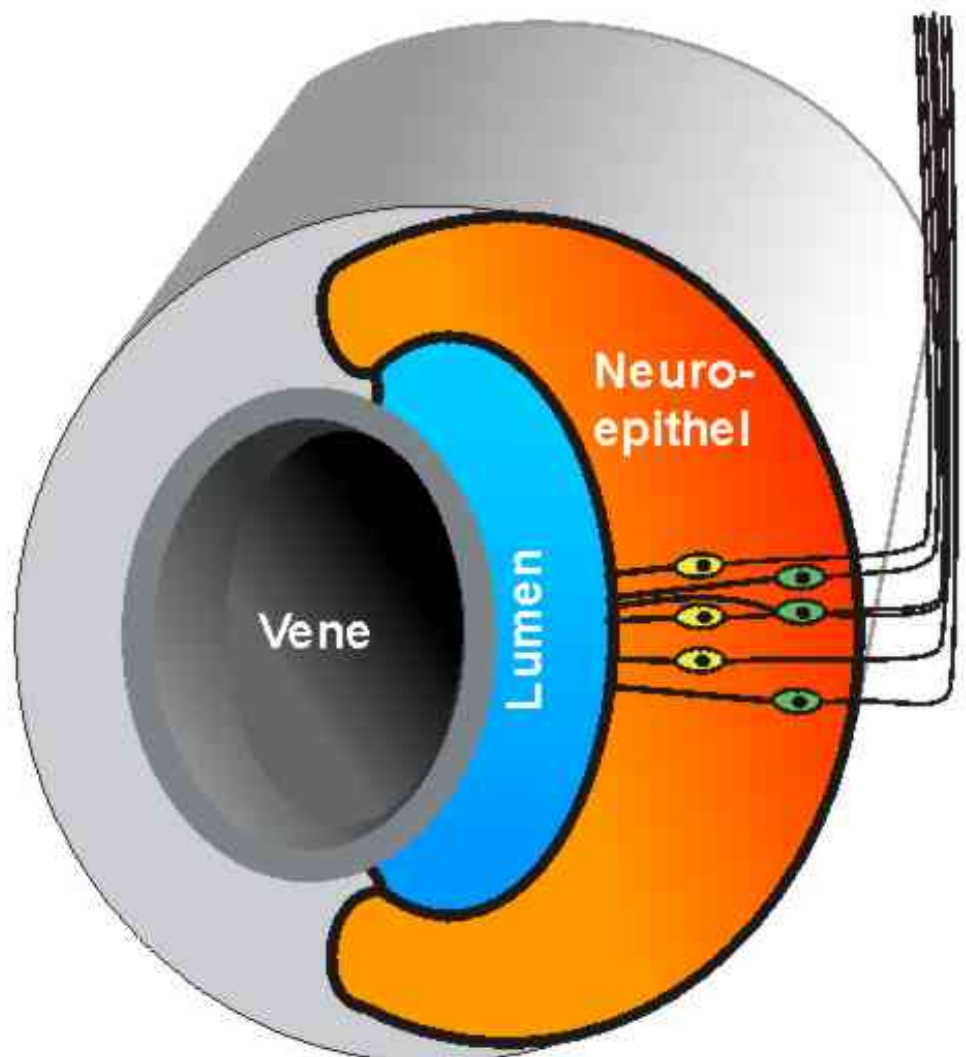
- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Die Verbindung zum Gehirn

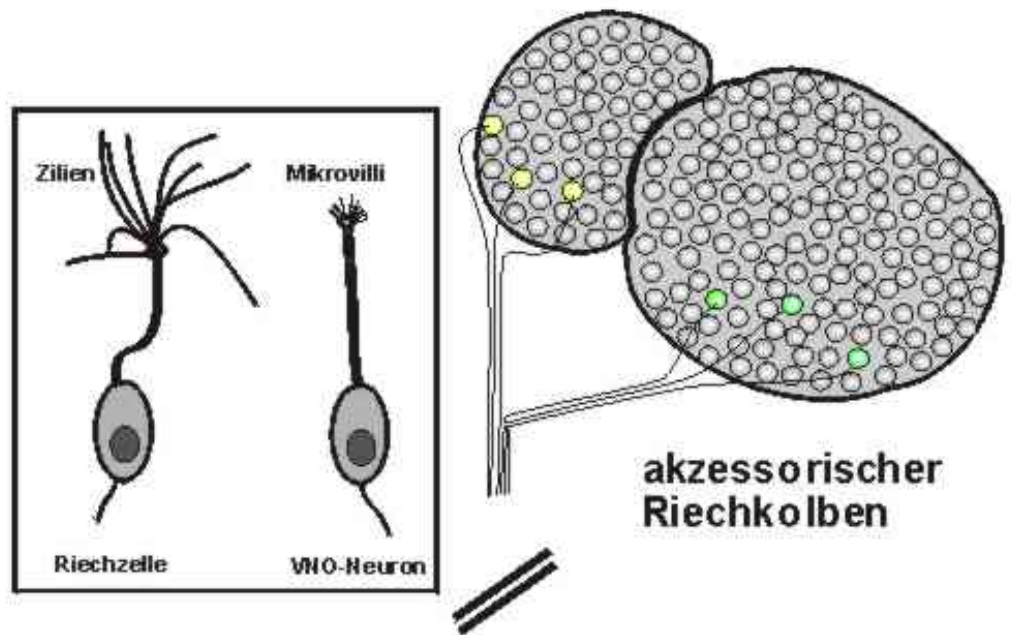
Diese schematische Darstellung zeigt die Lage der pheromonsensitiven Neurone im sensorischen Epithel des VNO. Die Zellkörper der Neurone sind in zwei Schichten angeordnet. Die näher zum Lumen liegenden Zellen (gelb) detektieren andere Pheromone als die in der hinteren Schicht (grün).

Die Axone der VNO-Neurone werden beim Austritt aus dem VNO gebündelt und ziehen dann zum akzessorischen Riechkolben.

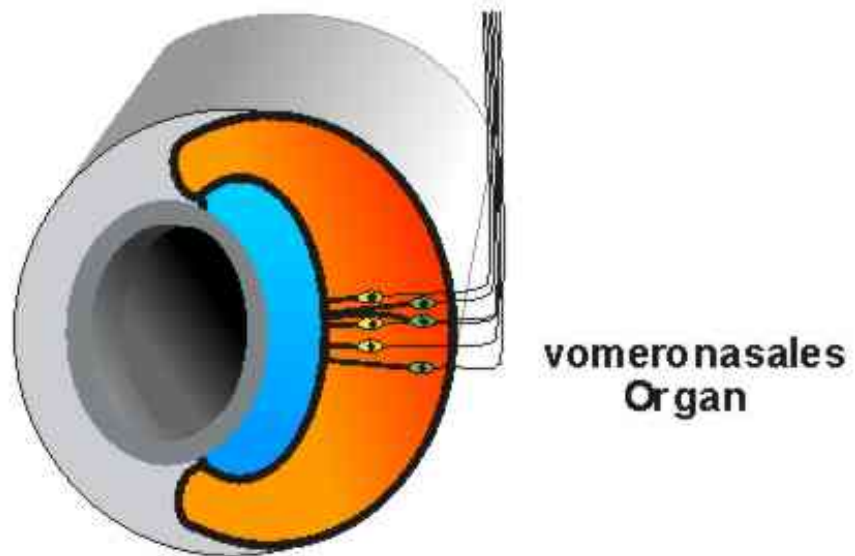
VNO-Neurone sind ähnlich aufgebaut wie die Riechzellen des olfaktorischen Systems (Bild unten). Es sind primäre, bipolare Neurone mit einem einzelnen Dendriten, der zur Oberfläche des Sinnesepithels führt. Allerdings haben VNO-Neurone keine Zilien. Sie tragen an den dendritischen Endigungen Mikrovilli, während Riechzellen mit Zilien ausgestattet sind. Mikrovilli sind relativ kurze Ausstülpungen der Plasmamembran, häufig mit Actinfilamenten gefüllt, aber nicht fähig, sich selbst zu bewegen. Zilien sind länger, besitzen Mikrotubuli (aus Tubulin) und sind oft beweglich.



Die Axone von Riechzellen und VNO-Neurone enden nicht in derselben Gehirnstruktur. Riechzellaxone haben ihre Synapsen in den beiden olfaktorischen Riechkolben, VNO-Neurone enden in den **akzessorischen Riechkolben**, die am kaudalen (hinteren) Ende der olfaktorischen Riechkolben liegen. Jeder der beiden akzessorischen Riechkolben ist in zwei anatomisch unterscheidbare Hälften geteilt, die jeweils von der inneren oder äußeren Schicht des VNO innerviert werden. Wie bei den Riechzellen münden auch die Synapsen der VNO-Neurone in **Glomeruli**, so daß auch im akzessorischen Riechkolben eine gewisse räumliche Ordnung des Pheromonsignals entsteht und eine Vorverarbeitung (laterale Inhibition) möglich ist.



Die Projektionsneurone der akzessorischen Riechkolben (Mitralzellen) verlaufen ins **limbische System**, wo sie mit Hypothalamus und Amygdala verschaltet sind. Über den Hypothalamus hat das Pheromonsystem direkten Zugang zum Neuroendokrinen System (Hypophyse) - die Grundlage der Verhaltenskontrolle durch Pheromone. Die typische "Sinnesbahn" zur bewußten Wahrnehmung der Umwelt - *Sinnesorgan-Thalamus-Großhirnrinde* - kommt im vomeronasalen System nicht vor. Beim Einsatz von Pheromonen geht es eben nicht um bewußte Wahrnehmung sondern um die Manipulation des Verhaltens von Individuen gleicher Art.



Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

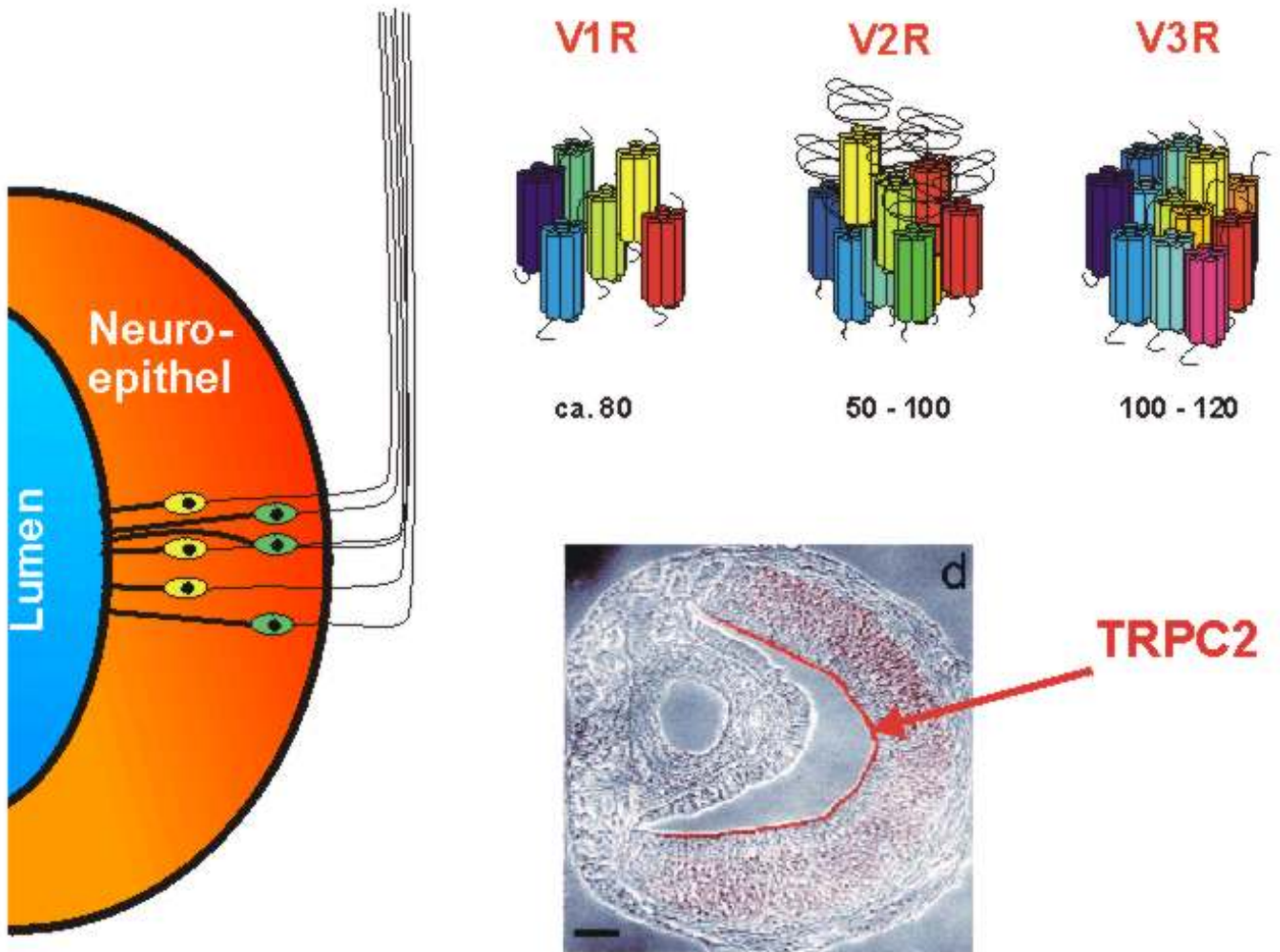
I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

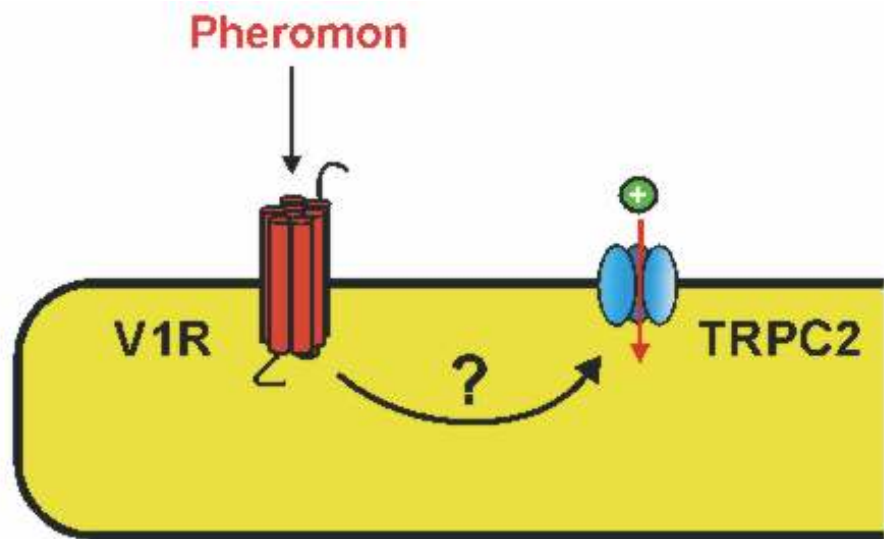
- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Pheromonrezeptoren



Wie detektieren VNO-Neurone Pheromone, und wie kommt es zur elektrischen Erregung?

Drei Familien von Pheromonrezeptoren sind bisher entdeckt worden: **V1R**, **V2R**, und **V3R**. Diese Proteine gehören zur Superfamilie der G-Protein-gekoppelten Rezeptoren mit sieben transmembranen Domänen. Sie unterscheiden sich sehr von Riechrezeptoren und weisen mehr Ähnlichkeit mit Prostaglandinrezeptoren auf. Die Rezeptoren werden in VNO-Neuronen exprimiert, wobei V1R in der vorderen - dem Lumen zugewandten - Schicht des Epithels, V2R dagegen in der hinteren Schicht exprimiert werden. V3R kommt in beiden Schichten vor.



Die Transduktionkanäle der VNO-Neurone sind höchstwahrscheinlich Kationenkanäle, die von dem Protein **TRPC2** gebildet werden. Die Mikrophotographie in der Mitte zeigt einen Schnitt durch das VNO einer Maus, bei dem TRPC2 mit einem rot-markierten Antikörper sichtbar gemacht wurde. Man sieht eine deutliche Färbung an der Oberfläche des sensorischen Epithels, also da, wo sich die sensorischen Mikrovilli der VNO-Neurone befinden.

Die Entdeckung dieser Rezeptoren und Ionenkanäle führte zu einem ersten Modell der **Signaltransduktion** in VNO-Neuronen: Pheromone binden an Rezeptoren des V1R-, V2R-, oder V3R-Typs. Die aktivierten Rezeptoren setzen einen noch unbekanntes Signaltransduktionsprozess in Gang, der mit der Öffnung von TRPC2-Kanälen endet. Die Kanäle leiten Kationen in die Mikrovilli und depolarisieren damit das Neuron: Aktionspotentiale werden ausgelöst.

Quelle:
VNO-Schnitt: Liman et al. (1999) Proceedings of the National Academy of Science USA, 96:5791

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

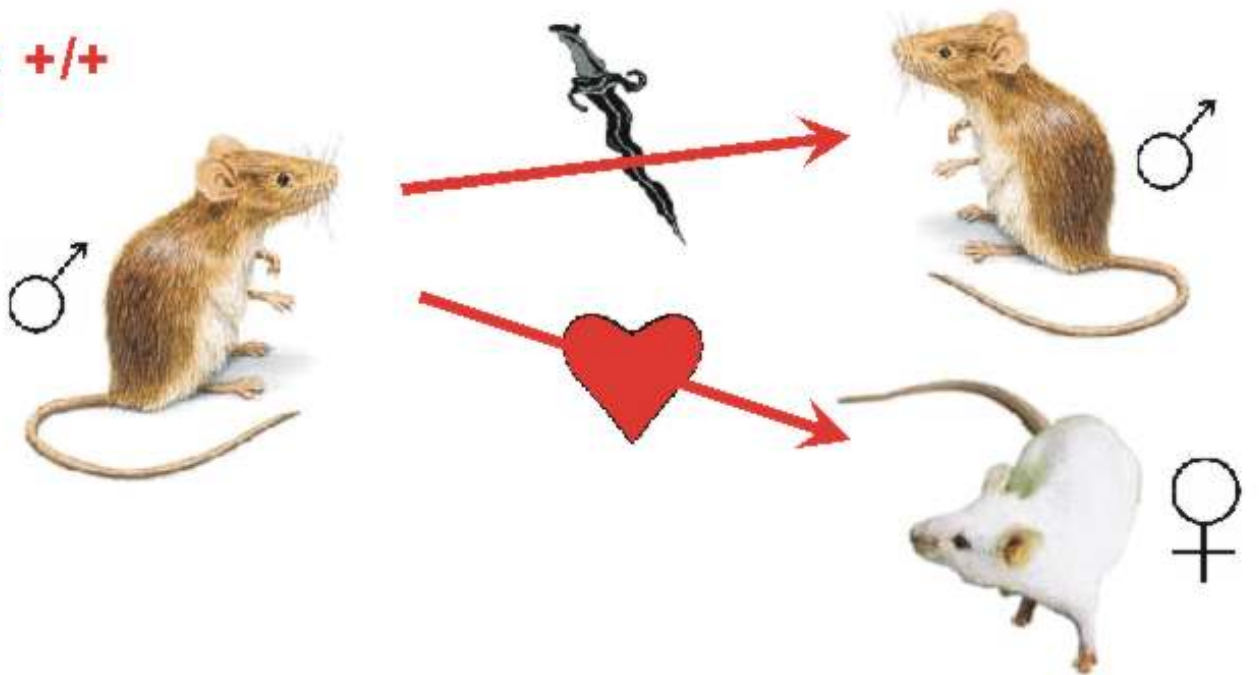
Themen:

- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Mäuse ohne VNO

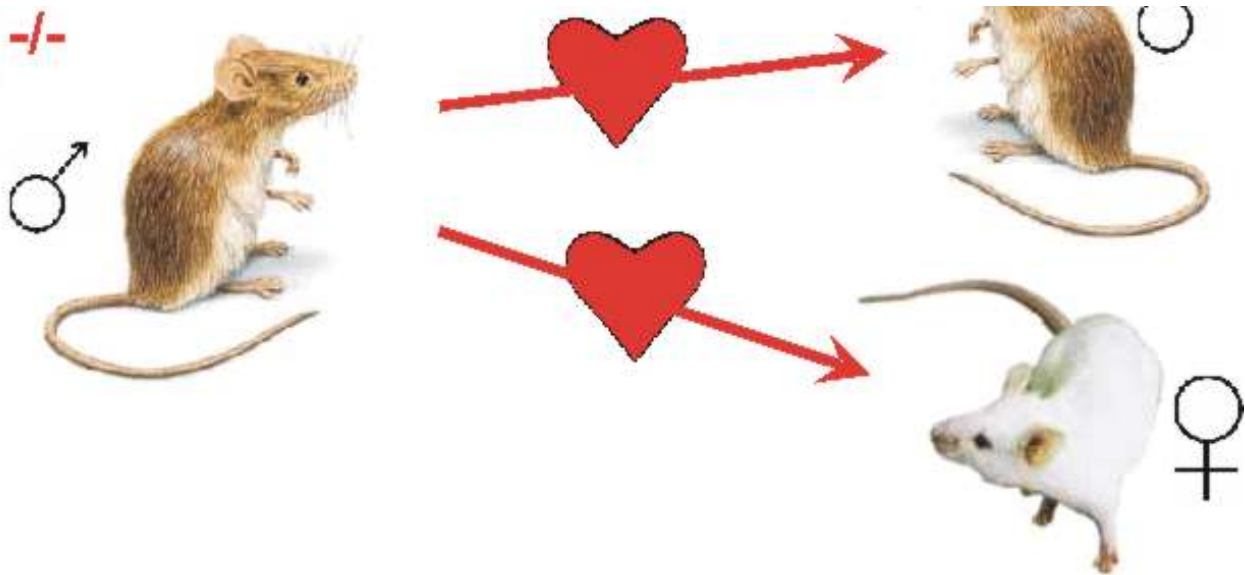
Um die Hypothese zu überprüfen, daß TRPC2-Kanäle die Transduktionkanäle von VNO-Neuronen - und damit unabdingbar für deren Funktion - sind, wurden transgene Mäuse hergestellt, bei denen das TRPC2-Gen nicht transkribiert werden kann. Bei diesen Mäusen (die Bezeichnung $trpc2^{-/-}$ bedeutet, daß das $trpc2$ - Gen sowohl auf dem mütterlichen als auch auf dem väterlichen Allel ausgeschaltet ist, daß diese Tiere homozygote Mutanten sind) ist das VNO normal entwickelt. Mit elektrophysiologischen Methoden konnten man aber feststellen, daß die VNO-Neuronen nicht mehr auf ihren natürlichen Stimulus (Mäuseurin) reagieren. Dieser Befund ist ein wichtiger Beleg dafür, daß TRPC2-Kanäle für die Signaltransduktion in VNO-Neuronen notwendig sind. Wie aber würden sich Mäuse ohne funktionierendes VNO verhalten? Die Herstellung der $trpc2^{-/-}$ - Mäuse gibt die Gelegenheit, herauszufinden, wozu das VNO bei Mäusen dient. Folgende Versuche waren sehr aufschlußreich:

TRPC2 $+/+$



TRPC2 $-/-$



TRPC2 ^{-/-}

Wenn männliche Mäuse mit intakten *trpC2*-Genen (*trpC2*^{+/+}) anderen Männchen begegnen, zeigen sie heftige Aggressionen. Mit Beißen und Kratzen versuchen sie, eine dominante Stellung in der Gruppe zu erreichen oder zu verteidigen. Gegenüber Weibchen gibts keine Aggression sondern Paarungsverhalten. Die Mutanten (*trpC2*^{-/-}) zeigen Weibchen gegenüber das gleiche Verhalten. Offensichtlich wird das VNO also nicht für normales Paarungsverhalten benötigt. Der Unterschied liegt beim Verhalten gegenüber anderen Männchen: sie werden nicht als Männchen erkannt sondern wie Weibchen behandelt, bis hin zu Kopulationsversuchen. Ohne TRPC2-Kanäle sind Mäuse also nicht in der Lage, das Geschlecht anderer Mäuse zu erkennen.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

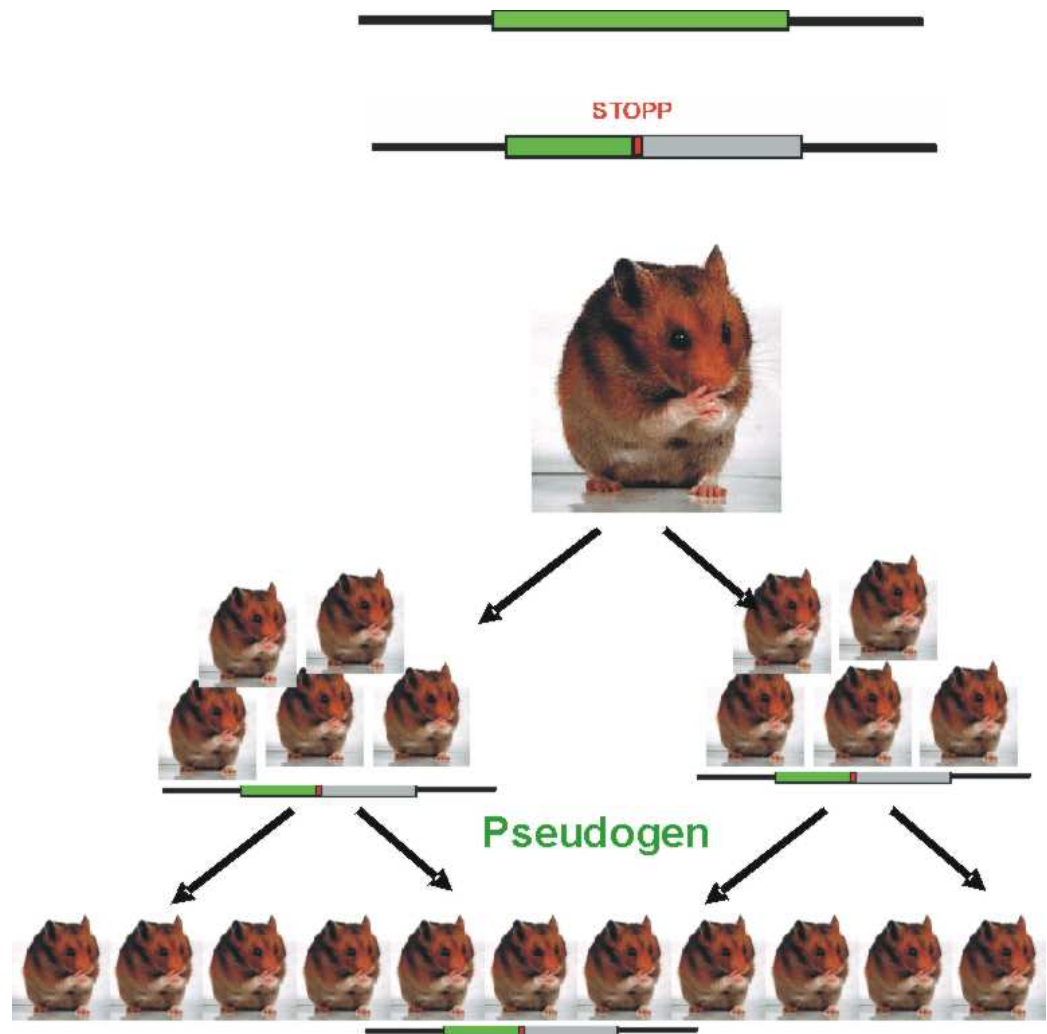
Themen:

- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Pseudogene

Jedes Gen erleidet Mutationen - bei Zellteilungen, bei Kontakt eines Tieres mit mutagenen Einflüssen, und spontan mit einer nicht unerheblichen Wahrscheinlichkeit. Manche Mutationen machen das Gen defekt; aus dem so mutierten Gen kann kein Protein mehr entstehen. Zu solchen Mutationen gehören zB das Auftreten von Stoppkodons innerhalb der kodierenden Sequenz oder Mutationen, die eine Verschiebung des Leserasters bewirken. Wenn solche Mutationen in **lebenswichtigen** Genen auftreten wird sich kein lebens- oder fortpflanzungsfähiges Tier entwickeln, und das mutierte Gen wird nicht weiter vererbt.

Anders ist das bei Genen die keine lebenswichtigen Proteine kodieren. Mutationen in **unwichtigen** Genen können toleriert und - soweit die Fortpflanzungsfähigkeit nicht beeinträchtigt ist - über viele Generationen vererbt werden. Solche defekte Gene, die stabil im Genom einer Tierart mitvererbt werden, nennt man **Pseudogene**. Aus ihrem Auftreten kann man schließen, daß das Protein, das ursprünglich von diesem Gen kodiert wurde, keine lebenswichtige Rolle spielte, und daß der Verlust des Proteins die Lebensfunktionen nicht beeinträchtigt.



Ein Beispiel für gehäuftes Auftreten von Pseudogenen ist die Familie der Duftstoffrezeptoren. Nagetiere, für die differenzierte

Geruchswahrnehmung lebenswichtig ist, verfügen über etwa 1000 intakte Gene für Duftstoffrezeptoren. Im menschlichen Genom sind etwa 70% dieser Gene defekt - sie liegen als funktionslose Pseudogene vor. Man sieht daran, daß bei der Entwicklung des Menschen der Selektionsdruck auf die Leistungsfähigkeit des Riechsystems gering war: auch Menschen mit schwachem Geruchssinn haben eine Chance, sich zu vermehren.

Beim Pheromonsystem ist die Situation noch drastischer: Über 95 % der Pheromonrezeptoren (V1R, V2R, V3R) sowie das Gen für den Transduktionskanal der VNO-Neuronen (TRPC2) sind im menschlichen Genom Pseudogene. Man muß aus diesem Grund davon ausgehen, daß das menschliche VNO nicht funktionsfähig ist.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

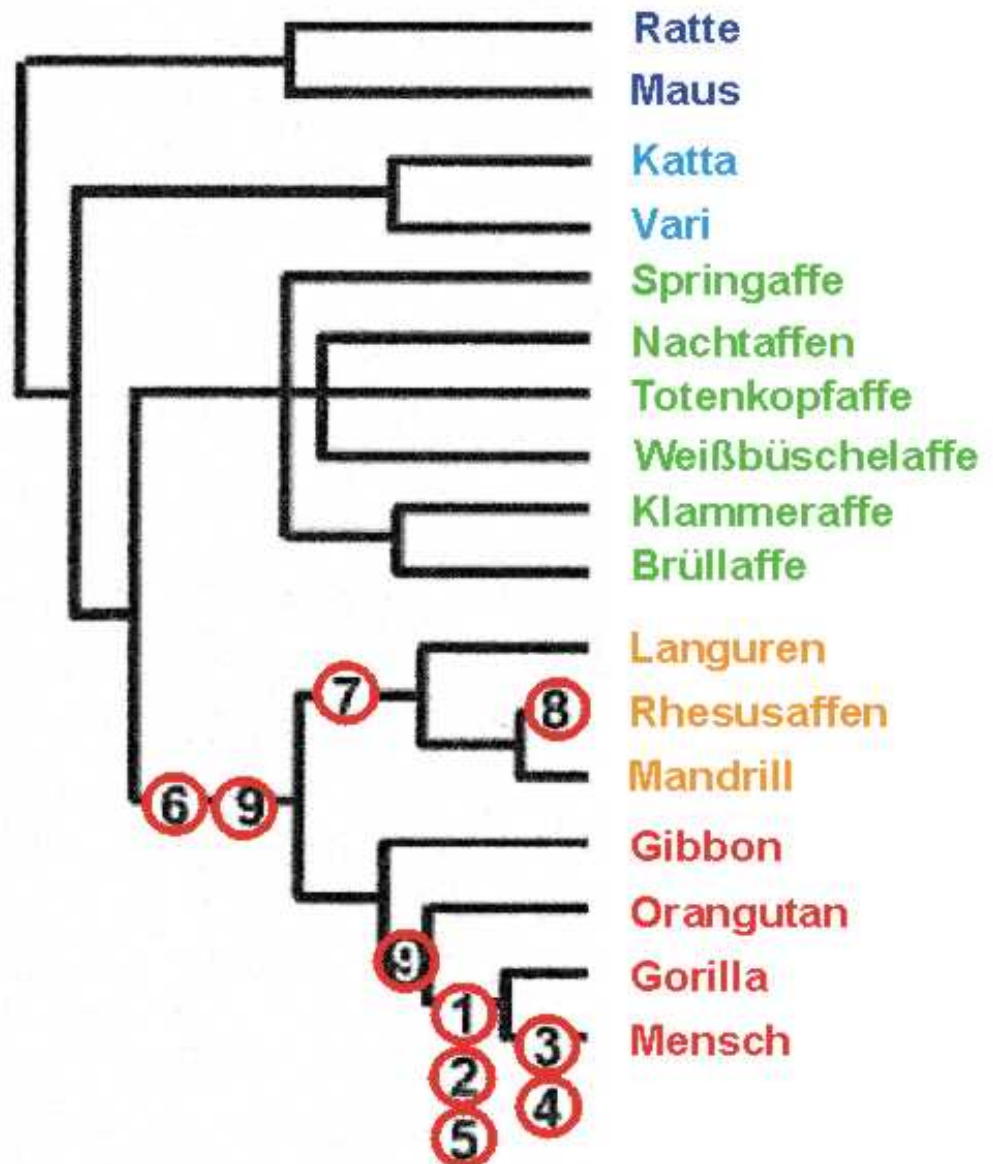
Der Verlust von TRPC2

Wann und bei welchen Tieren ging die Funktion des *trpc2*-Gens (und damit vermutlich die Pheromon-Kontrolle des Verhaltens) verloren? Genetische Analysen bei verschiedenen Tierarten geben darüber Aufschluß.

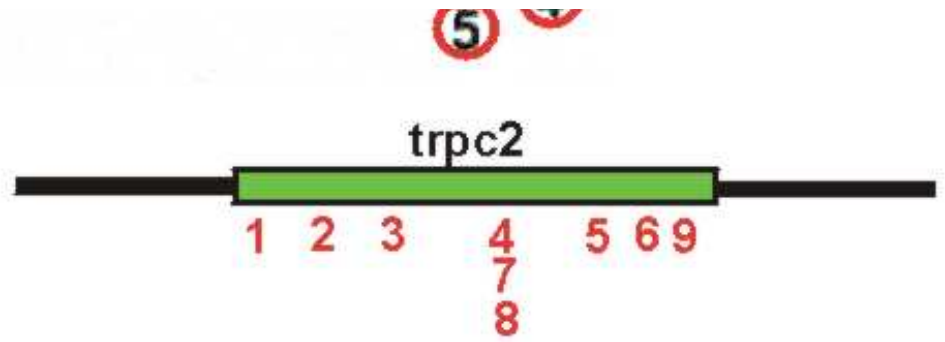
Bei der Untersuchung von *trpc2*-Genen sind 9 Mutationen entdeckt worden, von denen jede für sich die Expression des TRPC2-Kanals verhindern würde. **Alle** Mutationen treten bei den Altweltaffen (gelb) und Hominiden (rot) auf. Bei den Neuweltaffen (grün), Lemuren (hellblau) und Nagetieren (dunkelblau) dagegen sind die *trpc2*-Gene intakt. Bei diesen Tieren kann auch Pheromon-gesteuertes Verhalten nachgewiesen werden.

Die Position der jeweiligen Mutation gibt an, wann sie aufgetreten ist: zB die Mutation 7 ist bei dem gemeinsamen Vorfahren der Altweltaffen aufgetreten, denn sie ist bei Languren, Rhesusaffen und Mandrills nachzuweisen. Bei den Hominiden tritt Mutation 7 dagegen nicht auf.

Nach der Trennung von Altwelt- und Neuweltaffen (vor 25 - 40 Millionen Jahren) ging die Entwicklung der innerartlichen Kommunikation also unterschiedliche Wege. Deutlich ist, daß nur bei den Altweltaffen und Hominiden



der Selektionsdruck auf die Erhaltung funktionsfähiger TRPC2-Kanäle nachgelassen hat, so daß sich Mutationen ansammeln konnten, die *trpc2* in ein funktionsloses Pseudogen verwandelt haben. Offensichtlich sind die Lebensfunktionen, die bei Nagern und Neuweltaffen bis heute vom VNO geleistet werden, bei den Altweltaffen und Hominiden anderen Sinnesorganen übertragen worden. Dabei ist besonders interessant, daß die Zeit, als der Selektionsdruck auf die Erhaltung des *trpc2*-Gens nachließ, mit der Zeit zusammenfällt, in der die Altweltaffen und Hominiden das trichromatische Sehen (Farbsehen) entwickelten. Offensichtlich wurden damals die Weichen umgestellt: Innerartliche Signale - insbesondere fortpflanzungsrelevante Information - wurde nicht mehr durch Pheromone sondern durch visuelle Signale vermittelt.



Quelle: Liman, E.R. & Innan, H. (2003) Proceedings of the National Academy of Science USA, 100:3328

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

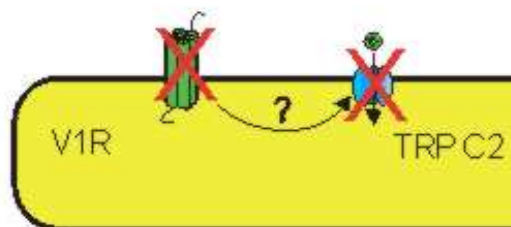
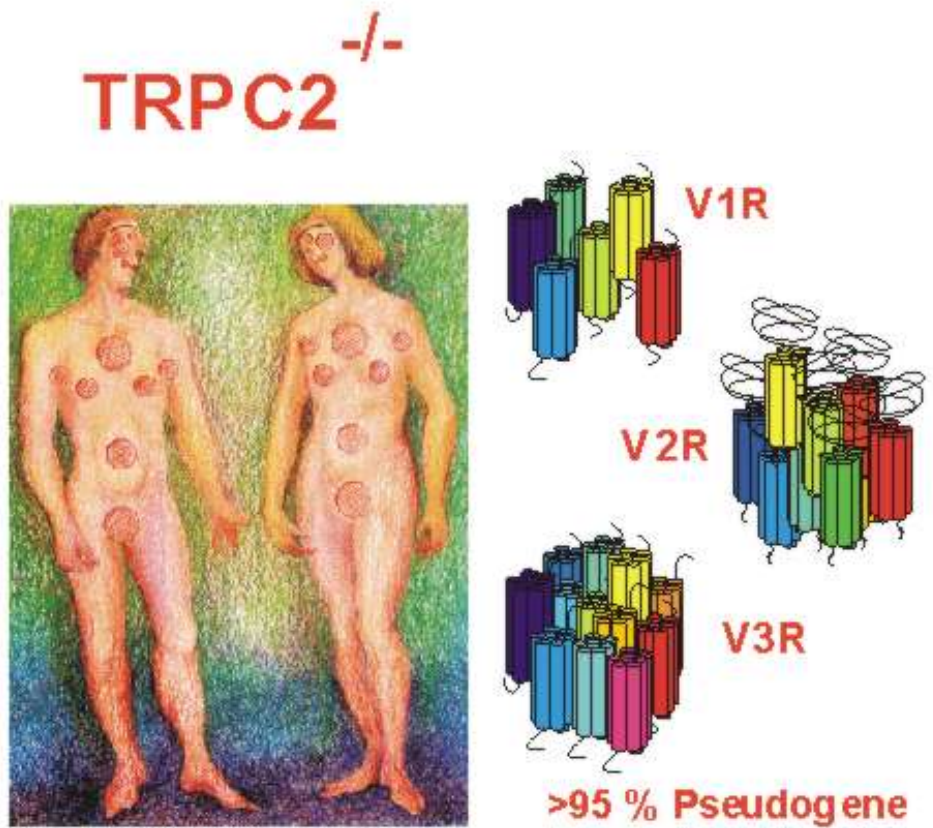
- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Leben ohne Pheromone ?

Die Vorstellung, daß auch das Verhalten von Menschen durch Pheromone beeinflusst werden kann, fasziniert viele Menschen und führt zu einer Vielzahl unwissenschaftlicher, halb-wissenschaftlicher und wissenschaftlicher Publikationen zu diesem Thema. Tatsächlich kann man Experimente durchführen, bei denen ein Nachweis chemischer Signale auf Motivation, Stimmung oder Hormonproduktion bei Menschen geführt werden kann.

Allerdings ist ein Vergleich dieser Beobachtungen mit den Pheromon-kontrollierten Verhaltensmustern von Nagetieren sehr kritisch zu beurteilen. Echte Pheromon-kontrollierte Verhaltensweisen sind oft robuste, stereotype Handlungsabläufe, die mit der Funktion des VNO korreliert werden können. Beim Menschen ist eine solche Korrelation nie gezeigt worden. Obwohl vomeronasale Organe beim Menschen nachgewiesen werden können, ist es doch zweifelhaft, ob diese Strukturen überhaupt funktionstüchtig sind. Dagegen sprechen folgende Befunde:

- Über 95% der Gene für die Pheromonrezeptoren der V1R-, V2R- und V3R-Familien sind beim Menschen defekte Pseudogene
- Das Gen für den Transduktionkanal



Ohne Pheromone

TRPC2 ist ein vielfach mutiertes Pseudogen

- Menschen haben keinen akzessorischen Riechkolben

Aufgrund dieser Tatsachen ist es äußerst unwahrscheinlich, daß ein VNO-vermitteltes, verhaltensbestimmendes Pheromonsystem bei Menschen existiert.

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Lage des VNO](#)
- [Die Verbindung zum Gehirn](#)
- [Pheromonrezeptoren](#)
- [Mäuse ohne VNO](#)
- [Pseudogene](#)
- [Der Verlust von TRPC2](#)
- [Leben ohne Pheromone ?](#)
- [Zusammenfassung 2](#)

Zusammenfassung 2

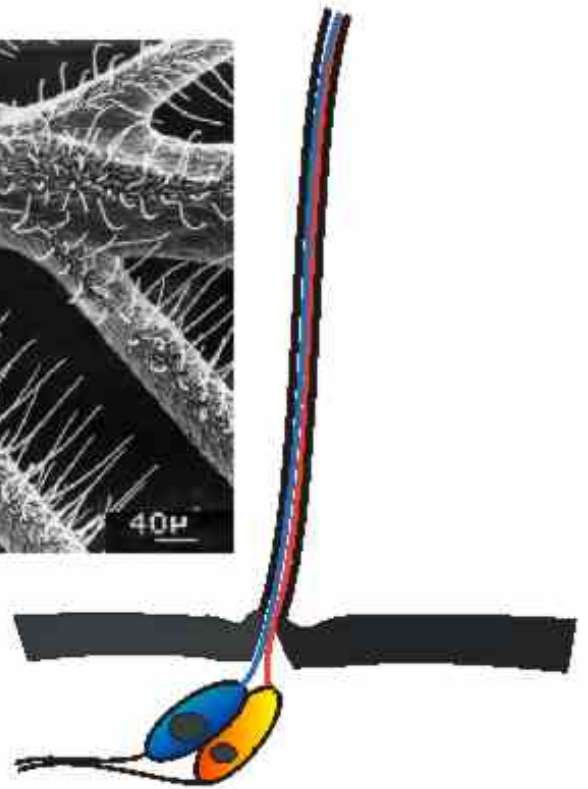
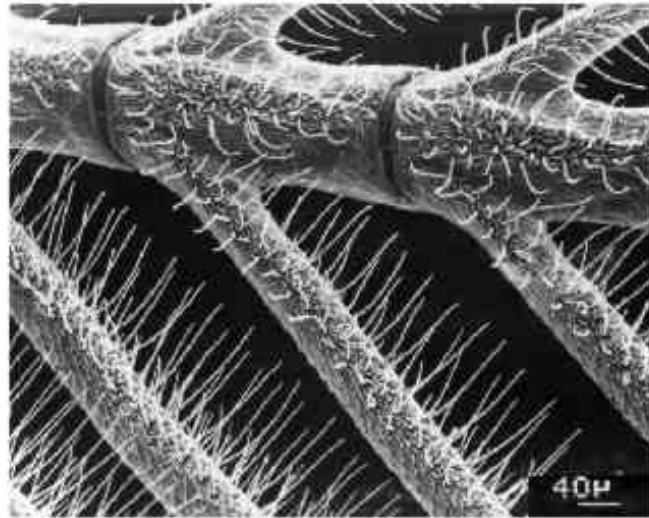
- **Im vomeronasalen Organ ist ein schlauchförmiges Lumen mit einem sensorischen Epithel in Kontakt.**
- **Wasserlösliche Pheromone im Lumen können von den chemo- sensorischen Mikrovilli der VNO-Neurone detektiert werden.**
- **Drei Familien von Proteinen stellen über 200 unterschiedliche Rezeptoren für die Pheromone zur Verfügung.**
- **Aktivierung der Pheromonrezeptoren führt zur Öffnung von TRPC2-Kationenkanälen und damit zur Depolarisation.**
- **Mäuse ohne intaktes trpc2-Gen haben keine Geschlechtsunterscheidung.**
- **Beim Menschen ist fast das gesamte Repertoire von Transduktionsgenen im vomeronasalen Organ defekt.**

Seidenspinnermännchen (*Bombyx mori*) sind in der Lage, über große Entfernungen hinweg (mehrere km) paarungsbereite Weibchen aufzuspüren. Sie folgen dabei einer Pheromonspur. Das Weibchen gibt das Pheromon **Bombykol** aus abdominalen Drüsensäckchen ab, und das Pheromon breitet sich dann mit den Luftströmungen aus, wobei die Konzentration (die Anzahl von Bombykolmolekülen pro ml Luft) mit zunehmender Entfernung dramatisch absinkt.

Die Antennen der Männchen sind für die Detektion von Bombykol optimiert. Die chemosensorischen Sensillen (rechts: als dünne Härchen zu erkennen) enthalten zwei (lange Version: Sensillum trichodeum) oder drei (kurze Sensillen: Sensillum basiconicum) chemosensorische Neurone. Bombykol gelangt durch Poren in der Cuticula in die Sensillen und wird in der Sensillenlymphe gelöst.

Bombykolrezeptoren in der dendritischen Membran binden das Pheromon und führen zur Erregung der Zelle. Verhaltensphysiologische Untersuchungen haben gezeigt, daß schon ein einziges Bombykolmolekül ein Aktionspotential in den Neuronen auslösen kann. Wenn etwa 200 Moleküle auf die Antenne treffen, zeigt das Tier eine Verhaltensreaktion (Flattern).

Das Männchen ist in der Lage, eine diskontinuierlichen (unterbrochenen) Bombykolgradienten zu folgen und damit das Weibchen zu finden.



Quellen: Seidenspinner: Agosta, W.C. (1994) Dialog der Düfte. Spektrum Verlag. Heidelberg
Antenne: www.mpi-seewiesen.mpg.de/~bock/pictures.html

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"



Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

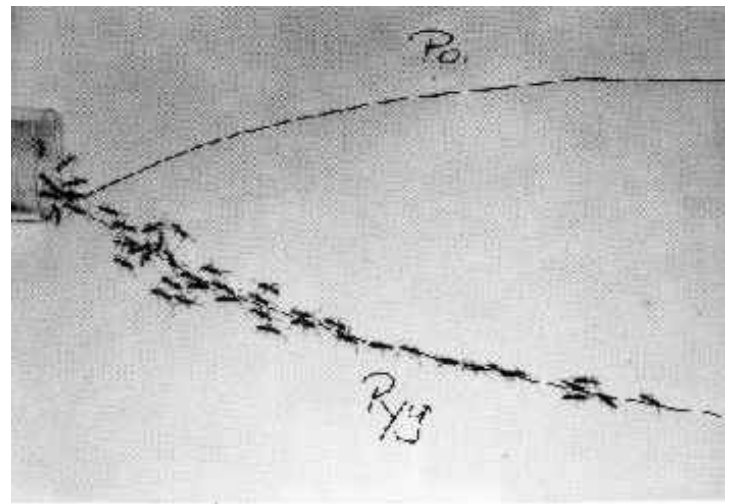
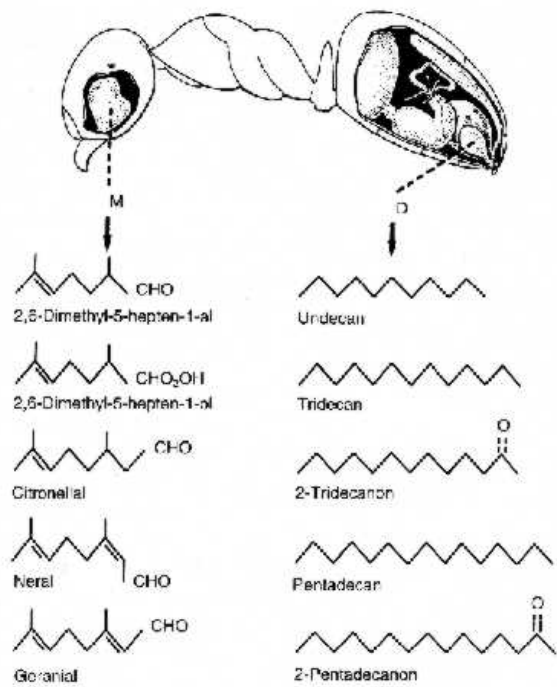
Pheromonsignale im Superorganismus

Viele Aspekte des Lebens von staatenbildenden Insekten werden von Pheromonen bestimmt. Die Festlegung der sozialen Rolle (Königin, Arbeiter, Soldaten, Brutpfleger), die Unterscheidung von nestfremden und nesteigenen Tieren und das Anlegen von Ameisenstraßen sind dafür nur einige Beispiele.

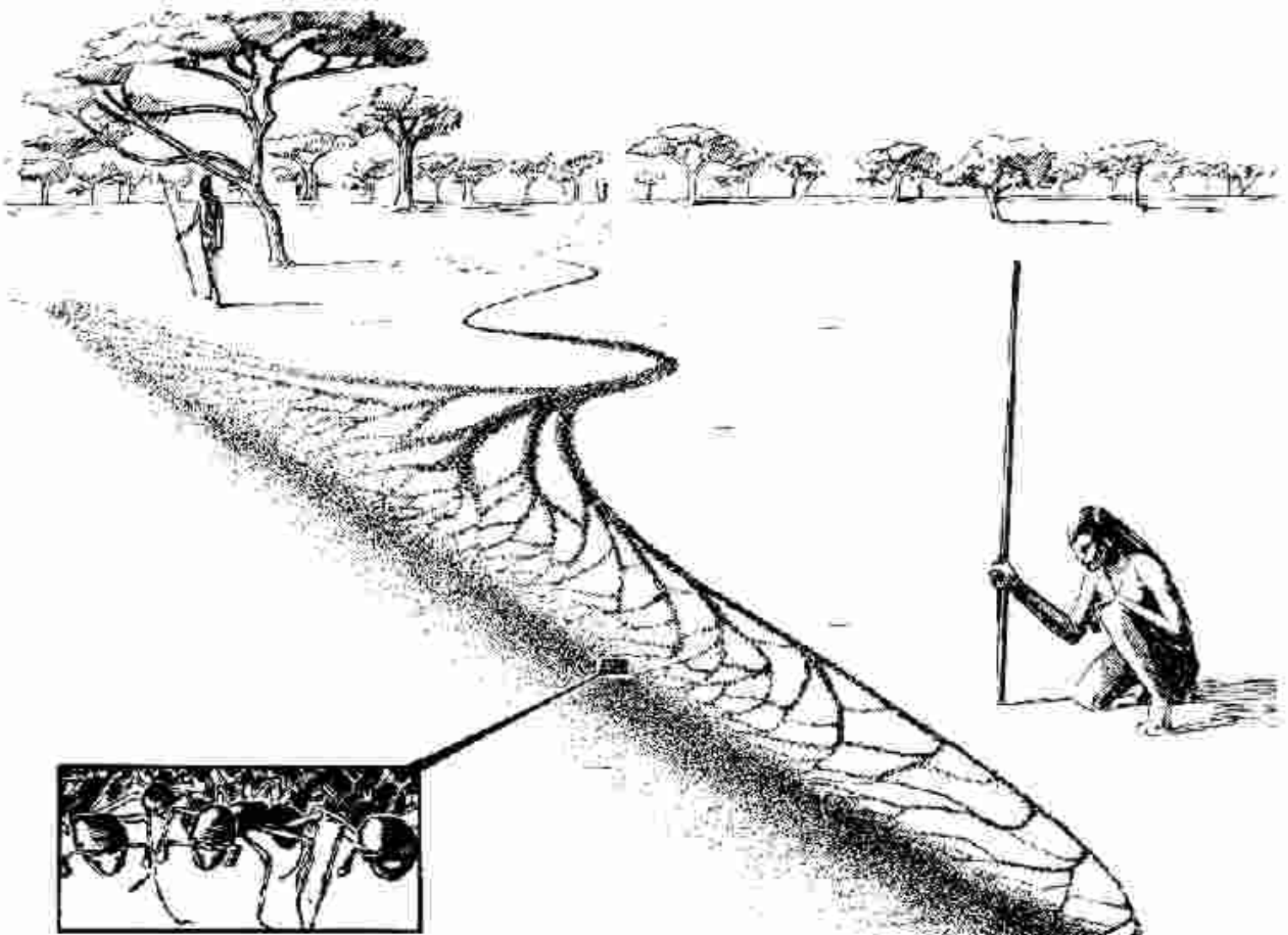
Das Arbeiterinnen aus befruchteten Eiern der Königin hervorgehen, können sie sich prinzipiell auch zu Königinnen entwickeln. Ein Pheromon der Königin verhindert jedoch diese Entwicklung.

Ameisen verfügen für die chemische Kommunikation über einige Dutzend unterschiedlicher Pheromone, die in Kopf- und Abdominaldrüsen produziert und ausgeschieden werden. Mit Hilfe dieser Drüsen kann jede Arbeiterin eine Duftspur legen und ihren Schwestern den Weg zu ergiebigen Futterquellen zeigen.





Ein Ameisenstaat zeigt einen hohen Organisationsgrad. Die afrikanischen Treiberameisen zB "strömen" in einer dicken Straße aus dem Nest, fächern dann ihren Zug zu einer breiten Front auf, sammeln alles nutzbare (Kleininsekten, etc) ein und tragen es zum Nest. Die vielen hunderttausend Individuen eines Staates bilden so einen **Superorganismus**, eine Organisationsform, in der die Arbeit der Ameisen hochgradig koordiniert ist, so daß der Eindruck entsteht, sie wären kleine Elemente eines großen Organismus.





Quelle: Hölldobler, B. & Wilson, E.O. (2001) Ameisen. Piper Verlag, München

Stephan Frings, Uni Heidelberg,

[Abt. Molekulare Physiologie](#)

Juni 2003

s.frings@zoo.uni-heidelberg.de

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Reproduktionsverhalten bei Hamstern

Syrische Goldhamster (*Mesocricetus auratus*) leben solitär und treffen sich nur zur Paarung. Zur Zeit des Östrus legt das Weibchen eine Duftspur, der das Männchen folgen kann. Ein wichtiger Bestandteil des Lockduftes ist das Pheromon **Dimethylsulfid**. Im Experiment löst Dimethylsulfid allein das Suchverhalten des Männchens aus.

Beim Zusammentreffen der beiden Hamster wird eine Folge stereotyper (immer gleich verlaufender) Verhaltensweisen ausgelöst, die durch Pheromone bestimmt wird. Das Männchen beschnuppert zunächst eine Wangendrüse, dann die Flanken und schließlich den Genitalbereich des Weibchens, das durch eine starre Haltung seine Paarungsbereitschaft anzeigt.

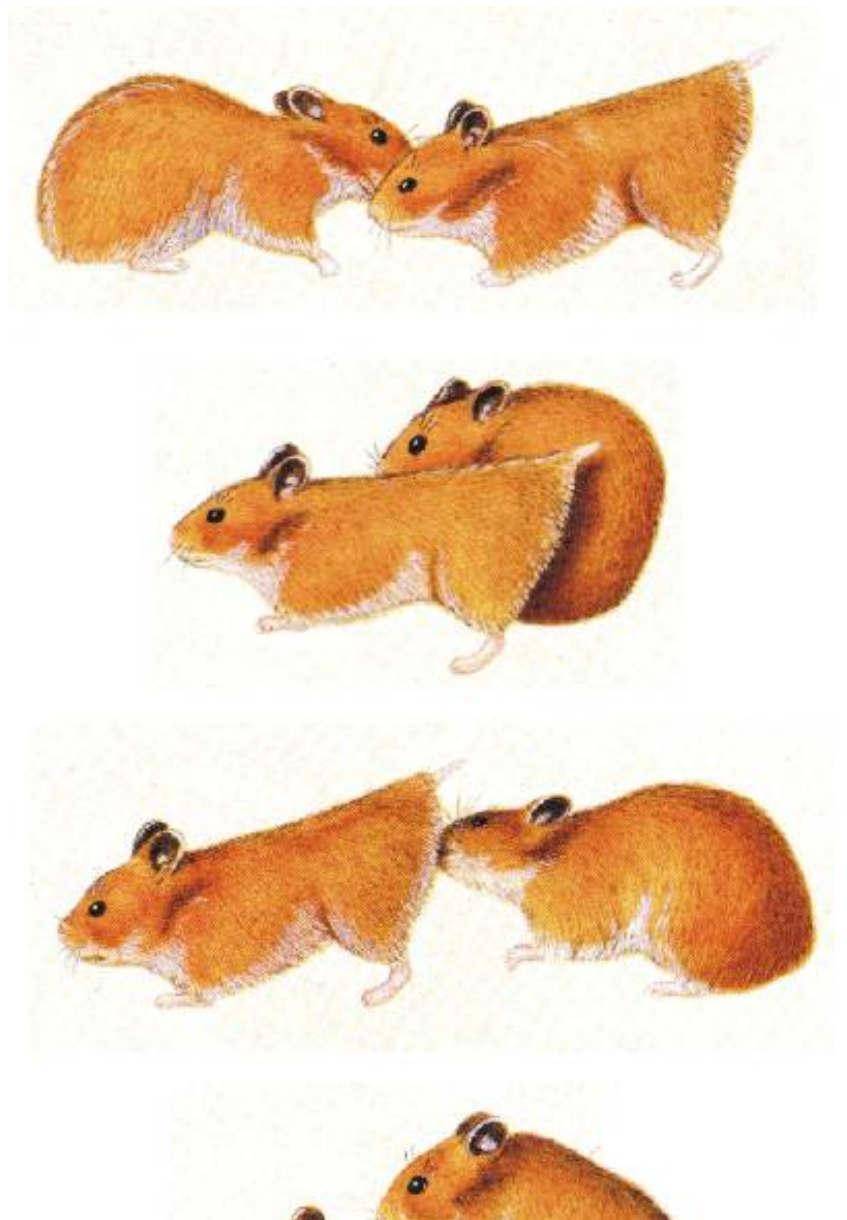
Das Vaginalsekret des Weibchens enthält ein weiteres Pheromon, das kleine Protein **Aphrodisin** (unten). Gelangt Aphrodisin in das vomeronasale Organ des Männchens, wird die Kopulation eingeleitet.

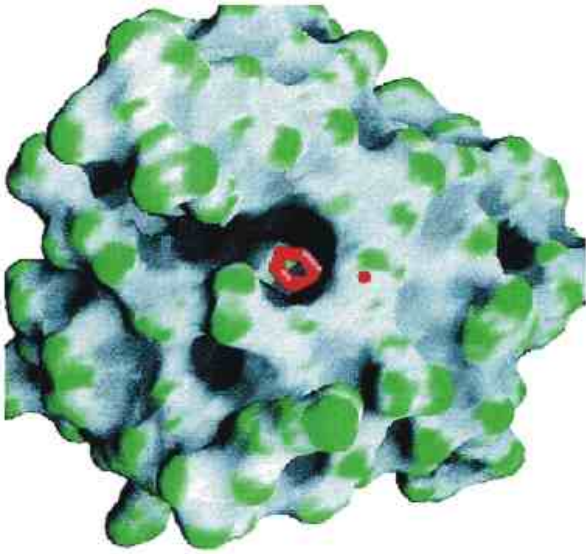
Aphrodisin selbst ist dabei nicht die aktive Komponente des Pheromons. Das Protein dient dazu, eine hydrophobe Verbindung (unten, roter Ring), die bisher noch unbekannt ist, in wässrige Lösung zu bringen.

Quellen:

Agosta, W.C. (1992) Dialog der Düfte. Spektrum Verlag, Heidelberg

Vincent, F. et al. (2001) Crystal structure of aphrodisin, a sex pheromone from female hamster. Journal of Molecular Biology 305: 459





Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

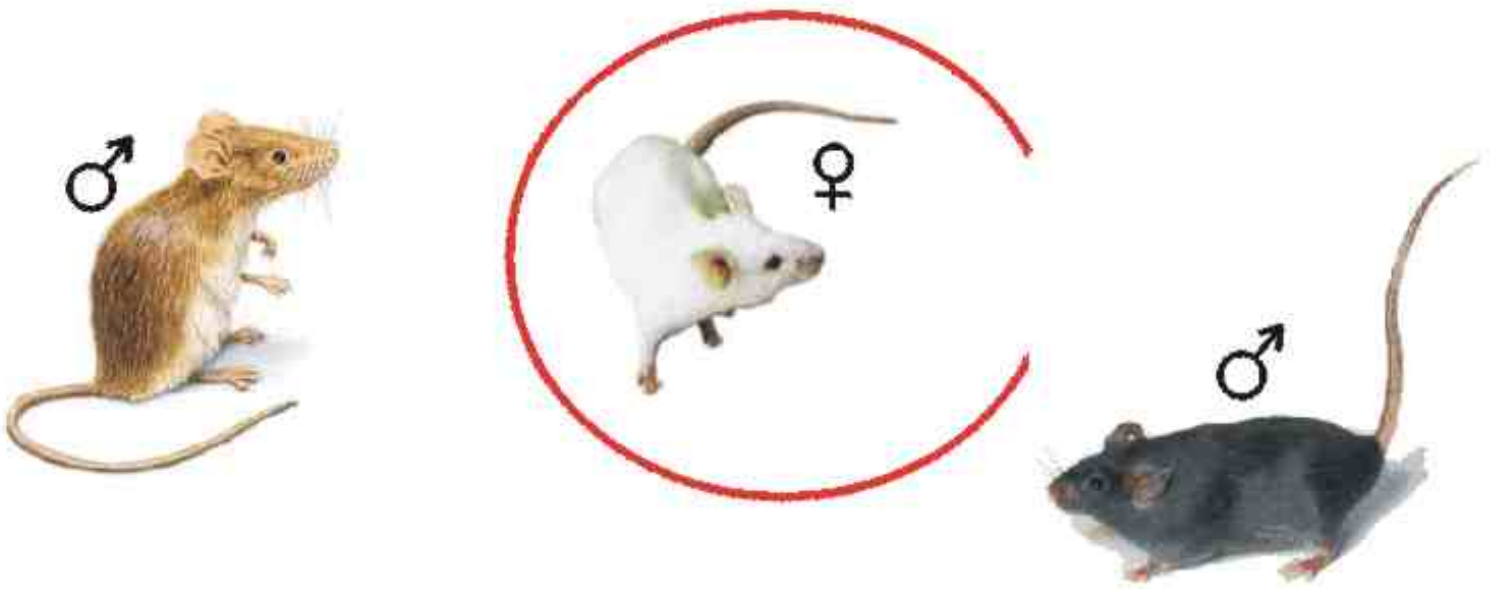
I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus



Der Reproduktionszyklus weiblicher Mäuse wird sehr stark durch andere Mäuse beeinflusst. Pheromone im Urin wirken dabei auf das weibliche Tier und regulieren die Produktion gonadotroper Hormone. Zu den best untersuchten Vorgängen dieser Art gehören:

- Das Herauszögern der Pubertät durch Pheromone weiblicher Familienmitglieder
- Die Verlängerung des Zyklus durch weibliche Familienmitglieder
- Die Induktion der Pubertät durch Kontakt (Urin) mit nicht-verwandten Männchen
- Die Verkürzung des Zyklus durch den Urin nicht-verwandter Männchen
- Der induzierte Abort durch Pheromone im Urin konkurrierender Männchen

Bei Mäusinnen greifen Pheromone also direkt in den Hormonhaushalt ein und haben reproduzierbare physiologische Effekte. Der Verarbeitungsweg dieser Signale geht vom vomeronasalen Organ zum Hypothalamus und von dort über die Hypophyse zu den Geschlechtsorganen.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

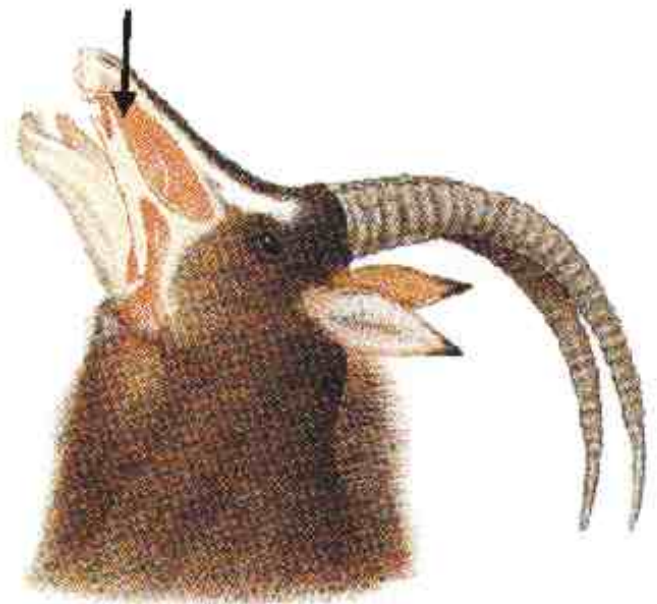
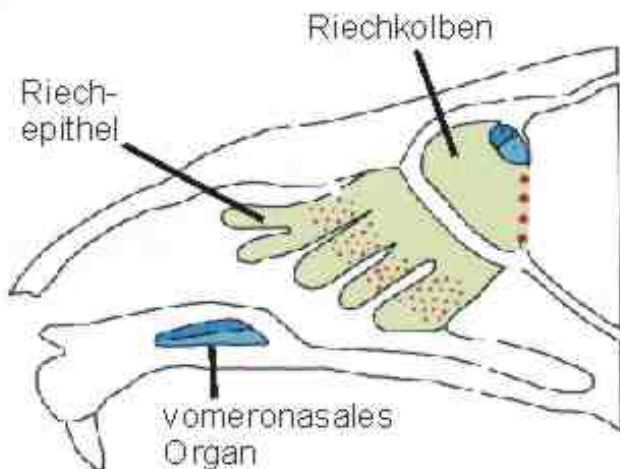
I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Flehmen



Das vomeronasale Organ (VNO, auch Jacobson-Organ) liegt an der Basis der Nasenscheidewand. Bei vielen Säugetieren (Hamster, Mäuse) ist es zur Nasenhöhle hin geöffnet. Pheromon-haltige Flüssigkeiten (Urin) müssen also in die Nasenhöhle eingesogen werden, um dem VNO zugeführt zu werden. Bei Huftieren ist der Zugang zum VNO durch die Mundhöhle. Um Pheromon-haltige Luft oder Flüssigkeit aufzunehmen, saugen die Tiere mit hochgezogener Oberlippe Luft ein - ein Verhalten, daß Flehmen genannt wird.

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

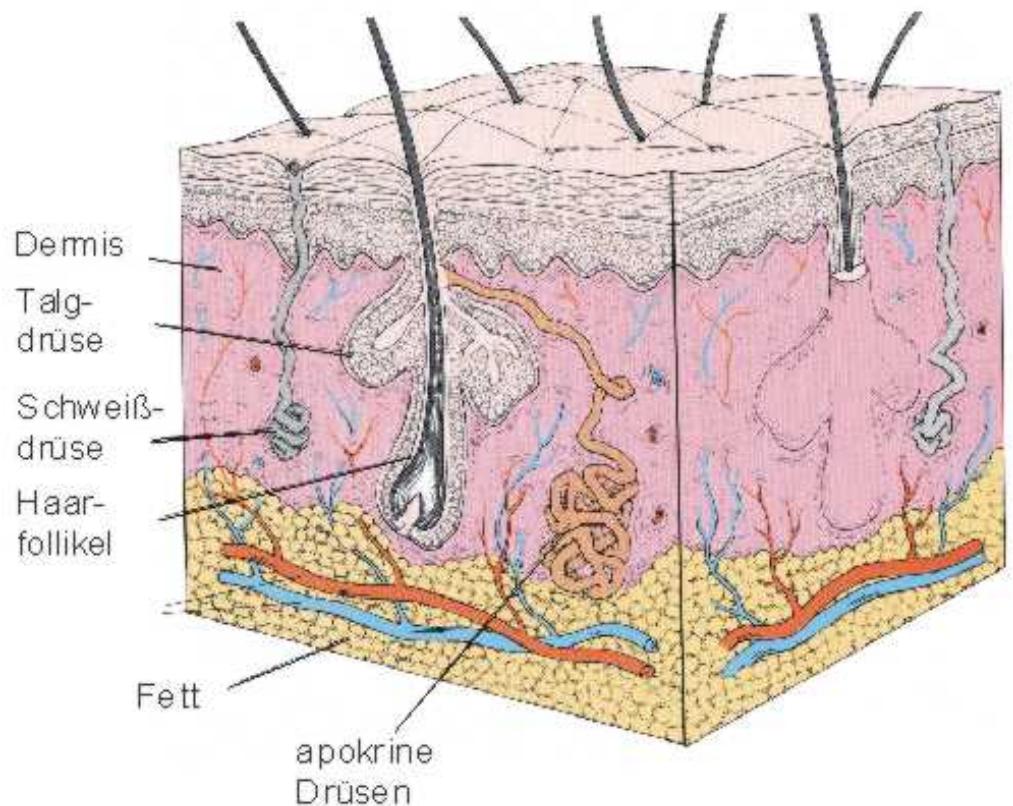
Themen:

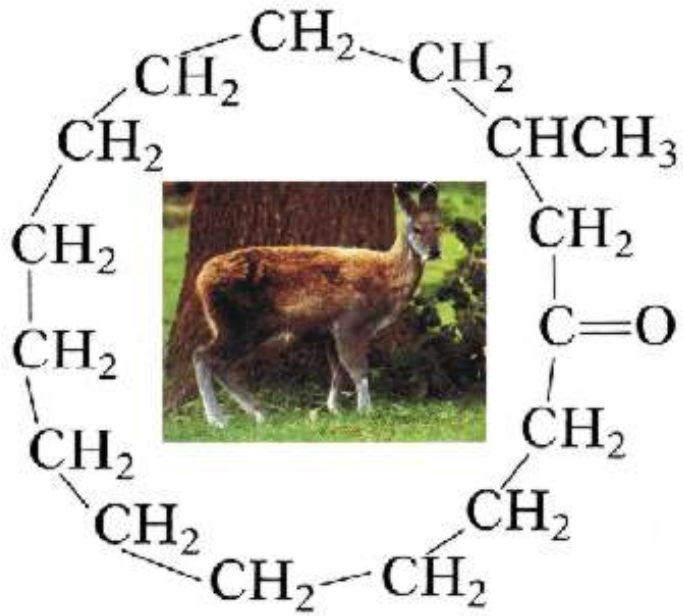
- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Mensch und Pheromon

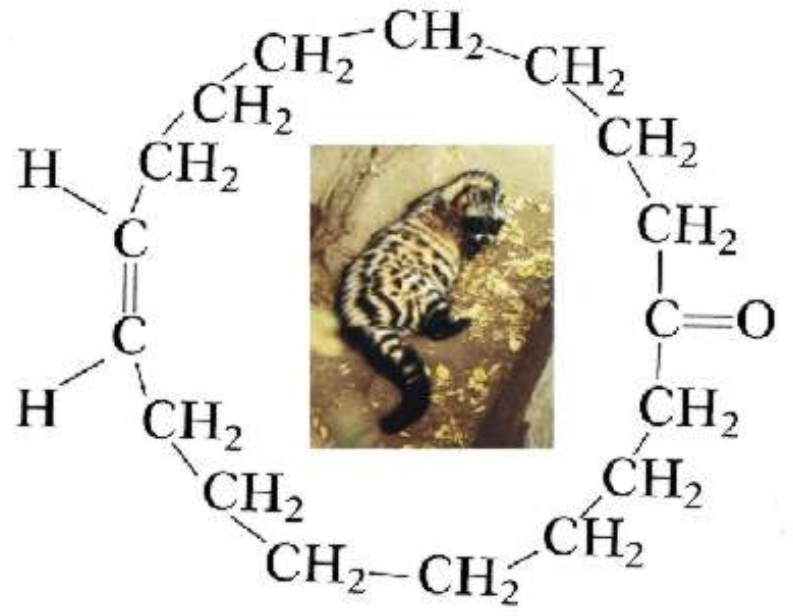
Eine robuste Wirkung von Pheromonen auf menschliches Verhalten ist bisher nicht nachgewiesen worden. Es gibt zwar Hinweise, daß Pheromon-artige Substanzen (zB Androstenon) subtile Effekte auf Motivation oder hedonische Beurteilung haben können. Auch verfügt der menschliche Körper über zahlreiche Drüsen, die Körpergeruch produzieren - vor allem die apokrinen Drüsen. Aber eine definierte, verhaltensbestimmende Funktion von Körpergeruch - im Sinne der Wirkung von Pheromonen im Tierreich - ist bei Menschen nicht erkennbar.

Um so interessanter ist, daß bei der Beurteilung von Parfums auf die Beimischung tierischer Pheromone Wert gelegt wird. Die Substanzen Muskon und Zibeton sind Paarungs-, bzw Reviermarkierungspheromone von *Moschi moschiferus*, dem Moschushirsch, und von *Viverra civetta*, der Zibetkatze. Vielleicht erzeugen diese Substanzen eine Art Erinnerung an Pheromon-gelenkte Verhaltensweisen, die entwicklungsgeschichtlich weit zurückliegen? Reine Spekulation ...





Muskon



Zibeton

Zyklusvorlesung "Sinnesphysiologie - vom Ionenkanal zum Verhalten"

START

Pheromone - soziale Signale

I. Pheromon-gesteuerte Verhaltensweisen

II. Das vomeronasale Organ

Themen:

- [Chemotaxis mit Pheromonen](#)
- [Orientierung über weite Entfernung](#)
- [Pheromonsignale im Superorganismus](#)
- [Reproduktionsverhalten bei Hamstern](#)
- [Pheromonkontrolle des Reproduktionszyklus](#)
- [Flehmen](#)
- [Mensch und Pheromon](#)
- [Zusammenfassung 1](#)

Zusammenfassung 1

- Pheromone dienen Mikroorganismen und Arthropoden zur Orientierung und haben Schlüsselfunktionen bei der Reproduktion.
- Eine Vielzahl von stereotypen Verhaltensweisen können durch Pheromone induziert werden.
- Bei staatenbildenden Insekten wird der Superorganismus durch Pheromone koordiniert.
- Das soziale Leben von Nagetieren ist durch ein komplexes System von Pheromonsignalen organisiert.
- Der Reproduktionszyklus weiblicher Mäuse kann durch Pheromone unmittelbar beeinflusst werden.
- Bei Primaten verlieren Pheromone in dem Maße Bedeutung, wie stereotype Verhaltensmuster durch komplexere Motivations- prozesse ersetzt werden.