

*Neuro- und Sinnesphysiologie
für Kognitionswissenschaftler*

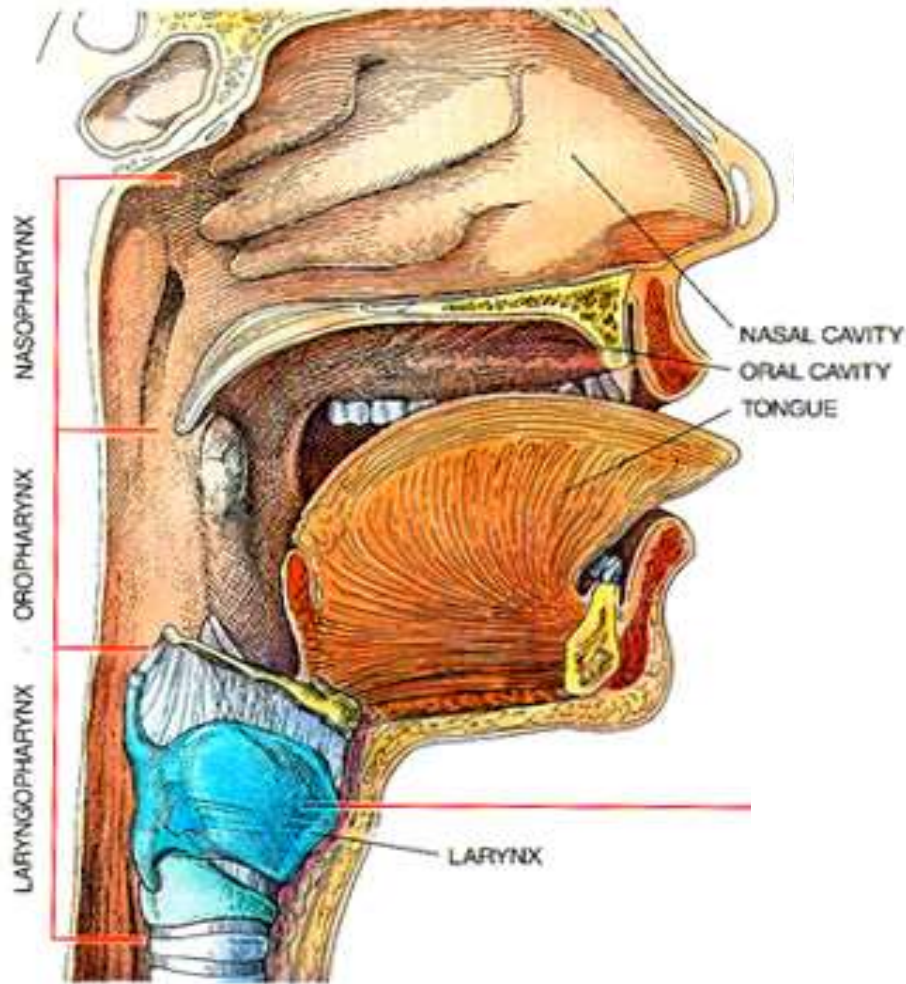
*VIII Chemische Sinne
und Hautsinn*



H. Mallot, Inst. Neurobiologie, FB Biologie, Univ. Tübingen, WS2021/22



Geruch und Geschmackssinn



www.pitt.edu/~crosen/voice/anatomy2/html

Geruchssinn

Funktion: Fernsinn mit vielen verschiedenen Geruchsqualitäten

Anatomie: Nasenschleimhaut, Bulbus olfactorius im Großhirn

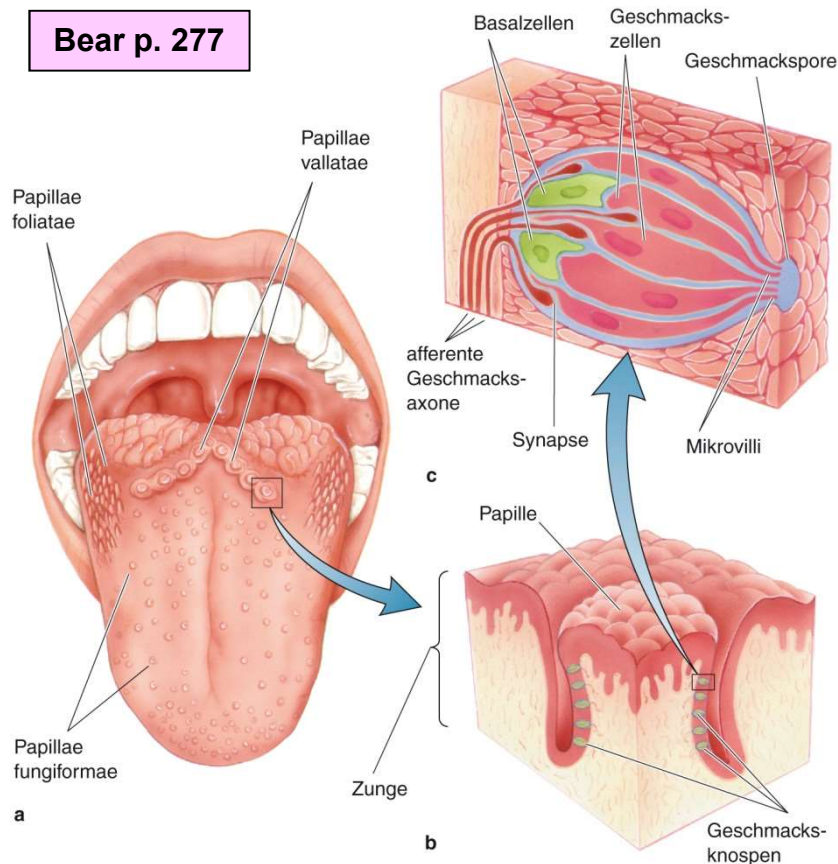
Geschmackssinn

Funktion: Nahsinn mit wenigen (fünf) Geschmacksqualitäten (süß, sauer, salzig, bitter, "umami")

Anatomie: Geschmacksknospen der Zunge, Nucleus gustatorius im Nachhirn, Gustatorischer Cortex im Grenzbereich von Parietallappen und Insula

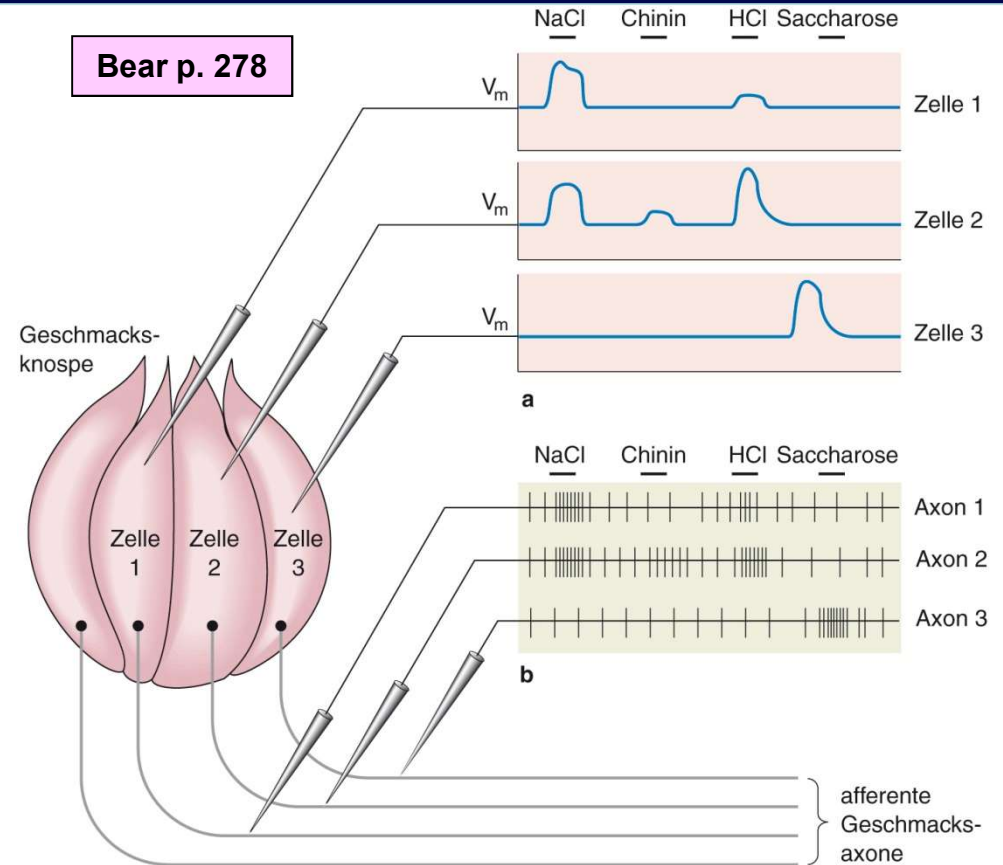
Zunge und Geschmacksknospen

Bear p. 277



Die Zunge enthält in den Papillen 2000 – 5000 Geschmacksknospen, mit jeweils 50 – 150 Rezeptorzellen.

Bear p. 278

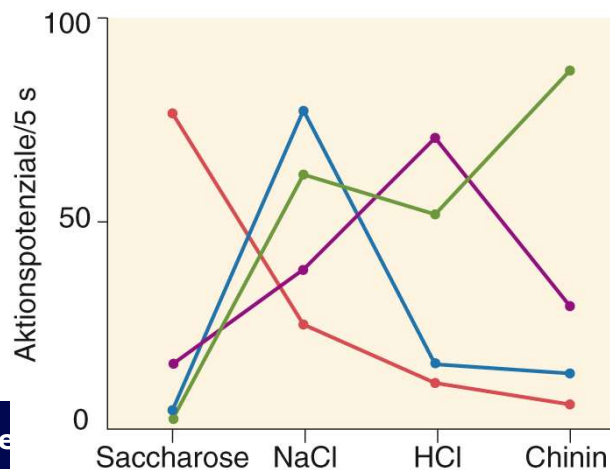


Die Rezeptorzellen werden von verschiedenen Substanzen erregt (depolarisiert) und lösen in ableitenden Axonen entsprechende Aktionspotentiale aus

Geschmacksqualitäten

Ohne Beteiligung des Geruchssinnes können nur fünf Geschmacksqualitäten unterschieden werden, obwohl die Vielfalt chemischer Substanzen unüberschaubar ist.

Die Spezifität der Rezeptorzellen hängt von ihrer Kanalausstattung ab. Insgesamt bilden die Erregungsmuster einen Populationscode für die Grundgeschmacksrichtungen.



salzig: Na^+ und andere Kationen, "Salze"

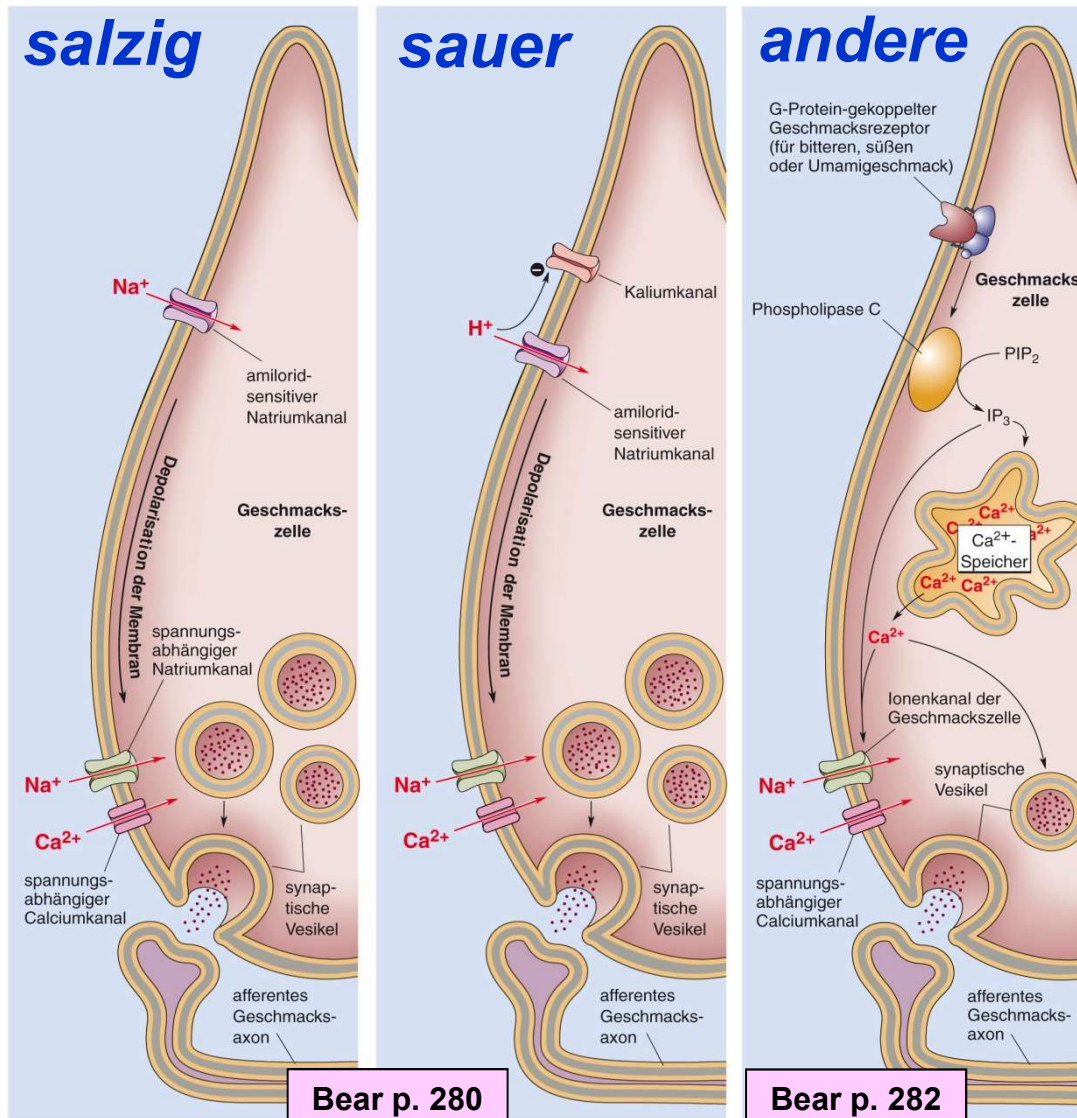
sauer: H^+ - Ionen ("Säuren")

süß: Zucker (Mono- und Disaccharide), aber auch chemisch nicht verwandte "Süßstoffe" (z.B. Proteine) und Bleisalze

bitter: chemisch sehr verschiedene, meist giftige Substanzen (K^+ , Mg^+ , Chinin).

umami: angenehmer Fleisch- oder Aminosäuregeschmack etwa von Glutamat

Sensorische Transduktion in den Geschmackszelle



salzig: Na⁺ Einstrom durch (spannungsunabhängigen) Ionenkanal → Depolarisation

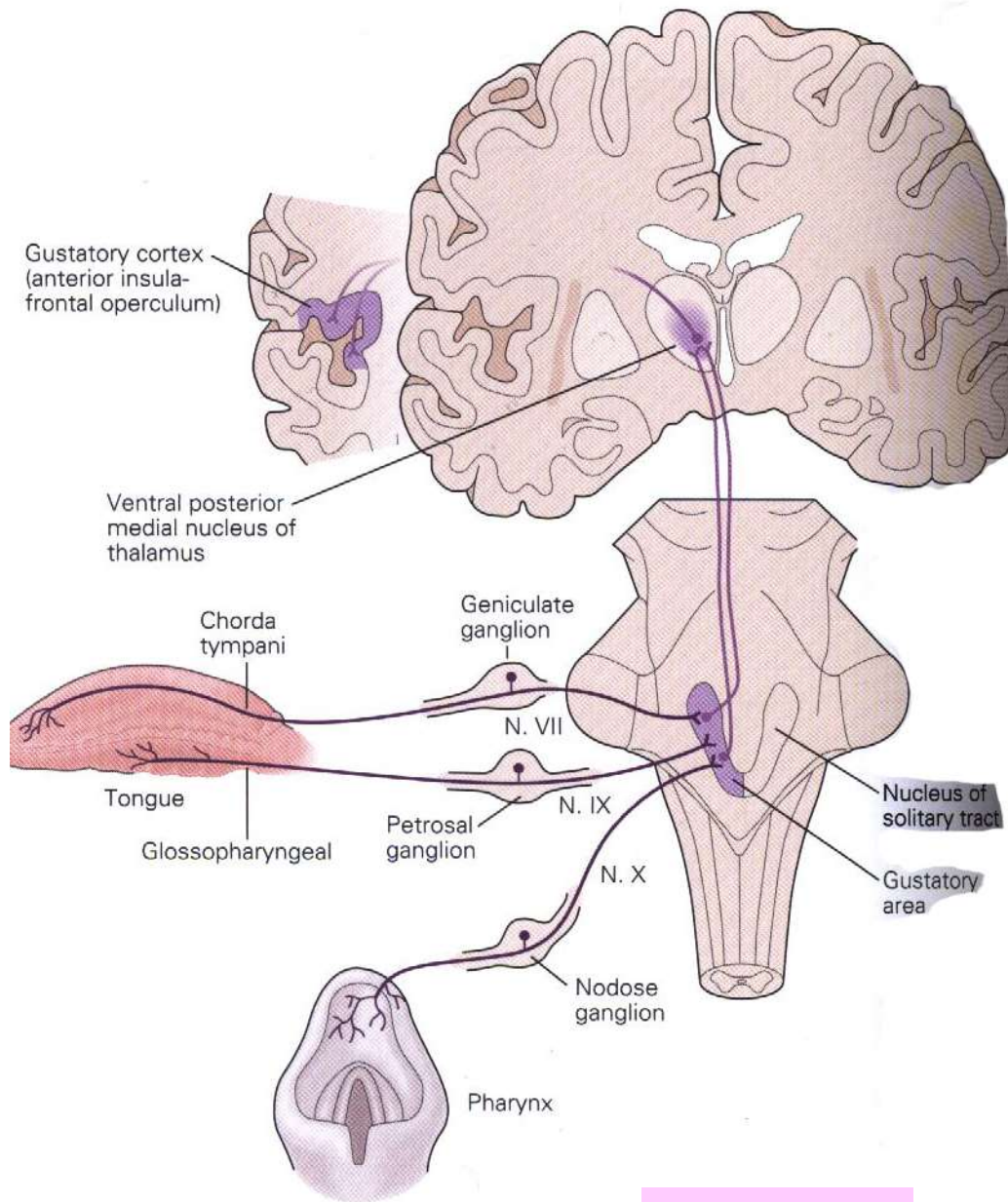
sauer: H⁺ Einstrom durch gleichen Kanal + Blockade eines K⁺ Kanals → Depolarisation

bitter: ca 30 metabotrope Rezeptoren für verschiedene Bitterstoffe (Gifte), Signalkaskade mit intrazellulärer Ca²⁺-Ausschüttung → Depolarisation

süß: metabotroper Rezeptor (ein Typ), gleiche Signalkaskade wie oben

umami: metabotroper Rezeptor (ein Typ), gleiche Signalkaskade wie oben

Zentrale Verarbeitung



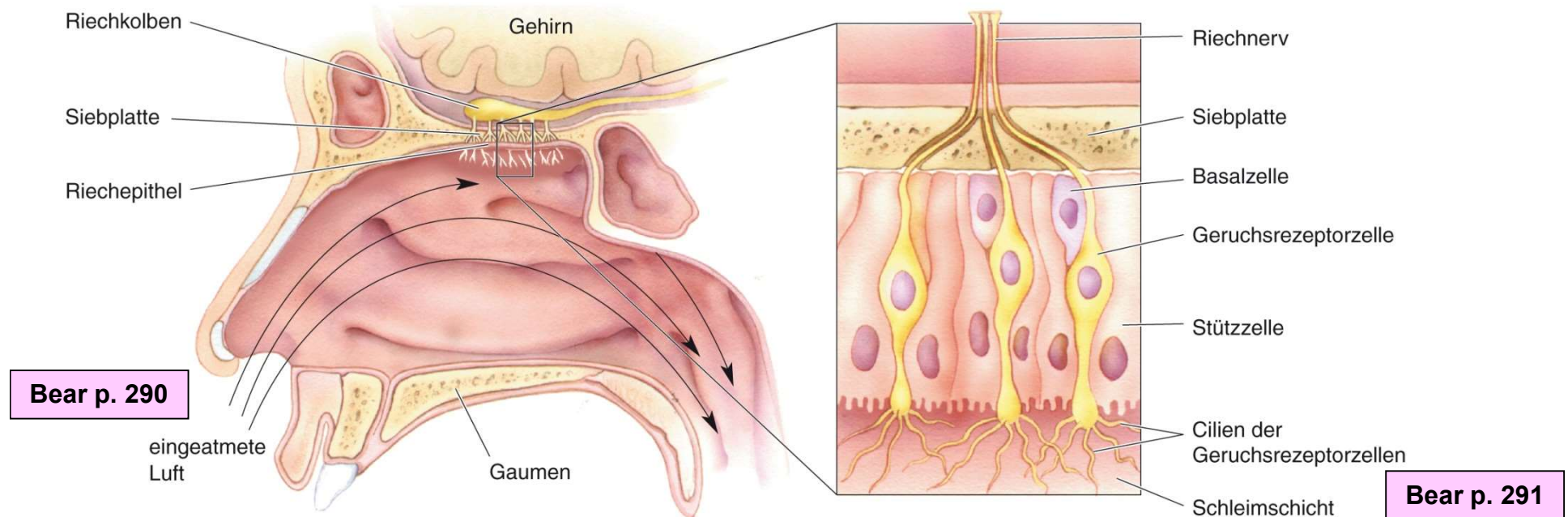
Kandel p. 642

Die afferenten Axone ziehen von den Geschmacksrezeptoren durch drei verschiedene Gehirnnerven ins Nachhirn. Von dort verläuft die Geschmacksbahn über den Thalamus in die Großhirnrinde.

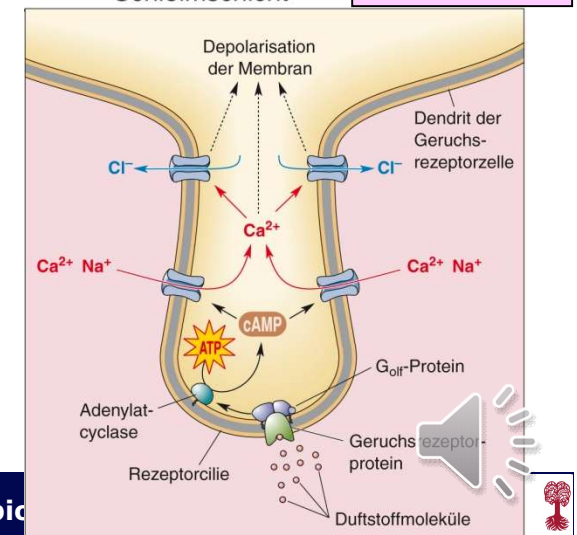
Beteiligt sind weiterhin die Amygdala (*taste aversion learning*) und der Hypothalamus (Appetit).

Der Geschmack dient neben der Vermeidung von Giften (Bitterstoffen) der Regulation des Appetits auf jeweils benötigte Nahrungskomponenten.

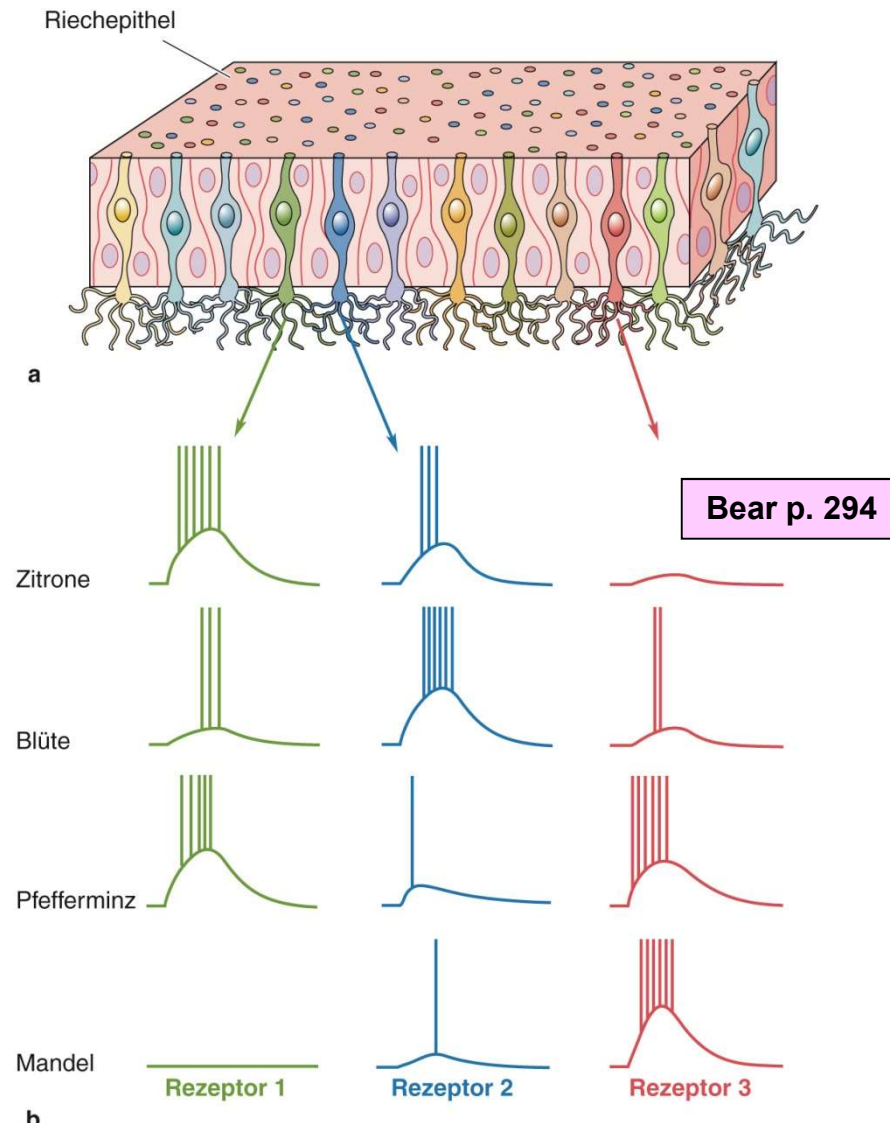
Riechepithel



- Im **Riechepithel** der Nase liegen die Rezeptorzellen des Geruchssinnes.
- Die Rezeptorzellen tragen am distalen Ende Cilien, auf denen **metabotrope** Rezeptormoleküle für bestimmte Duftstoffe sitzen.
- Die Rezeptorzellen haben Axone, die durch das Siebbein in die Schädelkapsel eintreten und im **Bulbus olfactorius** enden.

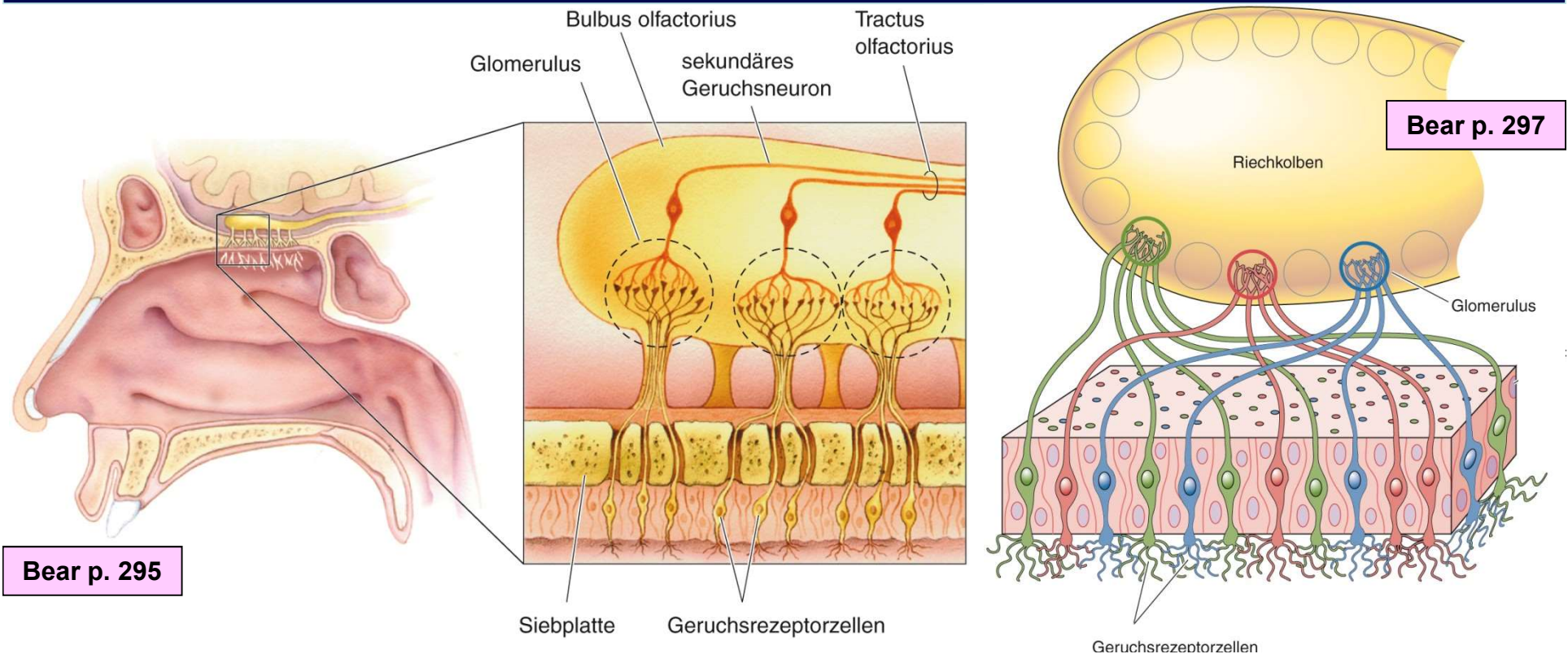


Duftunterscheidung



- Durch spezielle **Gene** wird eine große Zahl (beim Menschen ca. 350) verschiedener Rezeptorproteine generiert.
- Jede Rezeptorzelle exprimiert nur einen Typ **Geruchsrezeptorprotein**.
- Die Rezeptormoleküle haben unterschiedliche, aber **überlappende Spezifitäten** für verschiedene Duftstoffe
- Reale Gerüche (z.B. "Kaffee") bestehen aus vielen Duftstoffen, so dass insgesamt ein **komplexes Aktivitätsmuster** an den Bulbus olfactorius weitergeleitet wird.

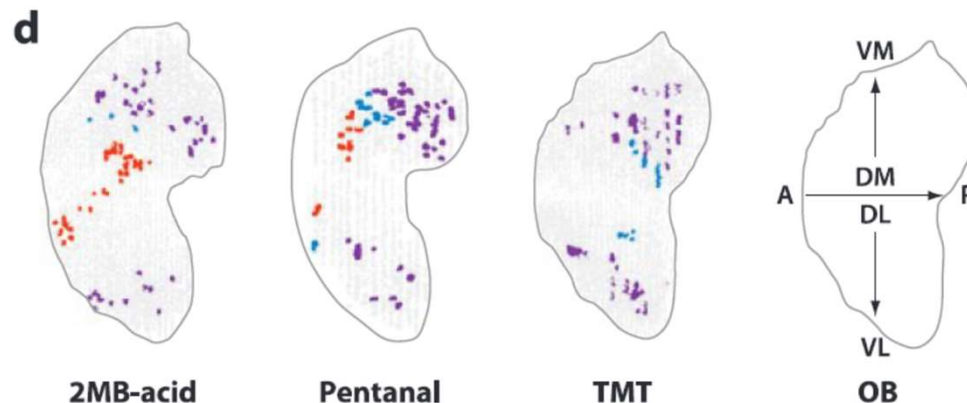
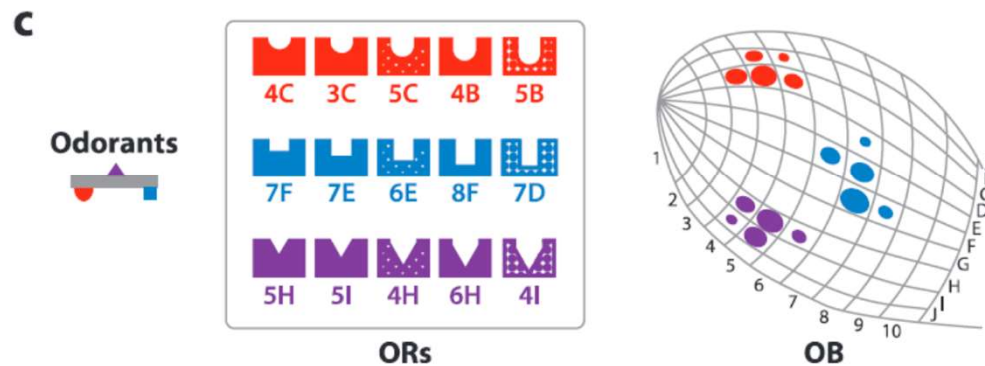
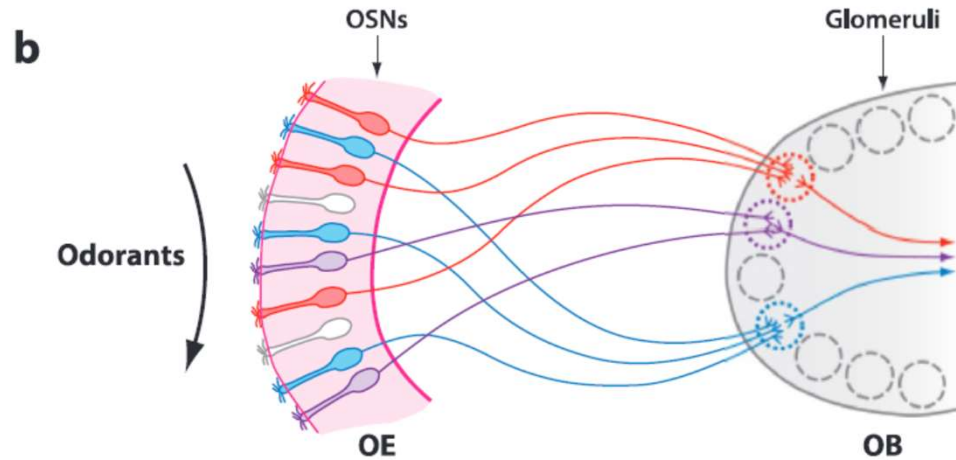
Verarbeitung im Bulbus olfactorius



- Die Rezeptorzellen projizieren auf die **"Mitral-Zellen"** (sekundäres Geruchsneuron) im Bulbus olfactorius
- Diese Projektion ist in etwa 2000 **"Glomeruli"** organisiert, in denen jeweils die Dendriten von ca 100 Mitralzellen zusammenkommen.

- In den Glomeruli konvergieren außerdem Axone von ca 25.000 Rezeptorzellen, die alle **den gleichen Geruchsrezeptor** exprimieren.
- Das **Erregungsmuster** über den Mitralzellen kodiert komplexe Gerüche.

Topographische Organisation



b. Projektion vom Riechepithel in die Glomeruli des olfaktorischen Bulbus

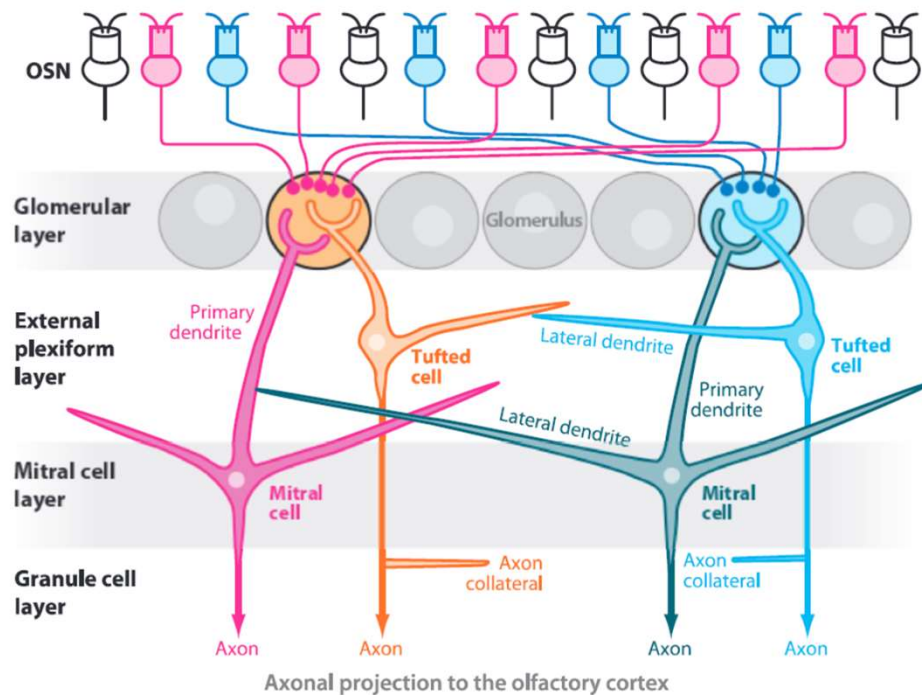
c. Schematische Darstellung verschiedener Rezeptoren, wobei ähnliche in der gleichen Farbe dargestellt sind

d. Anordnung der Glomeruli für drei Duftstoffe auf dem abgerollten olfaktorischen Bulbus. Zellen mit ähnlichen Rezeptoren projizieren auf benachbarte Glomeruli.

Mori & Sakano, *Ann. Rev. Neurosci.* 2011

Laterale Inhibition in Olfaktorischen Karten

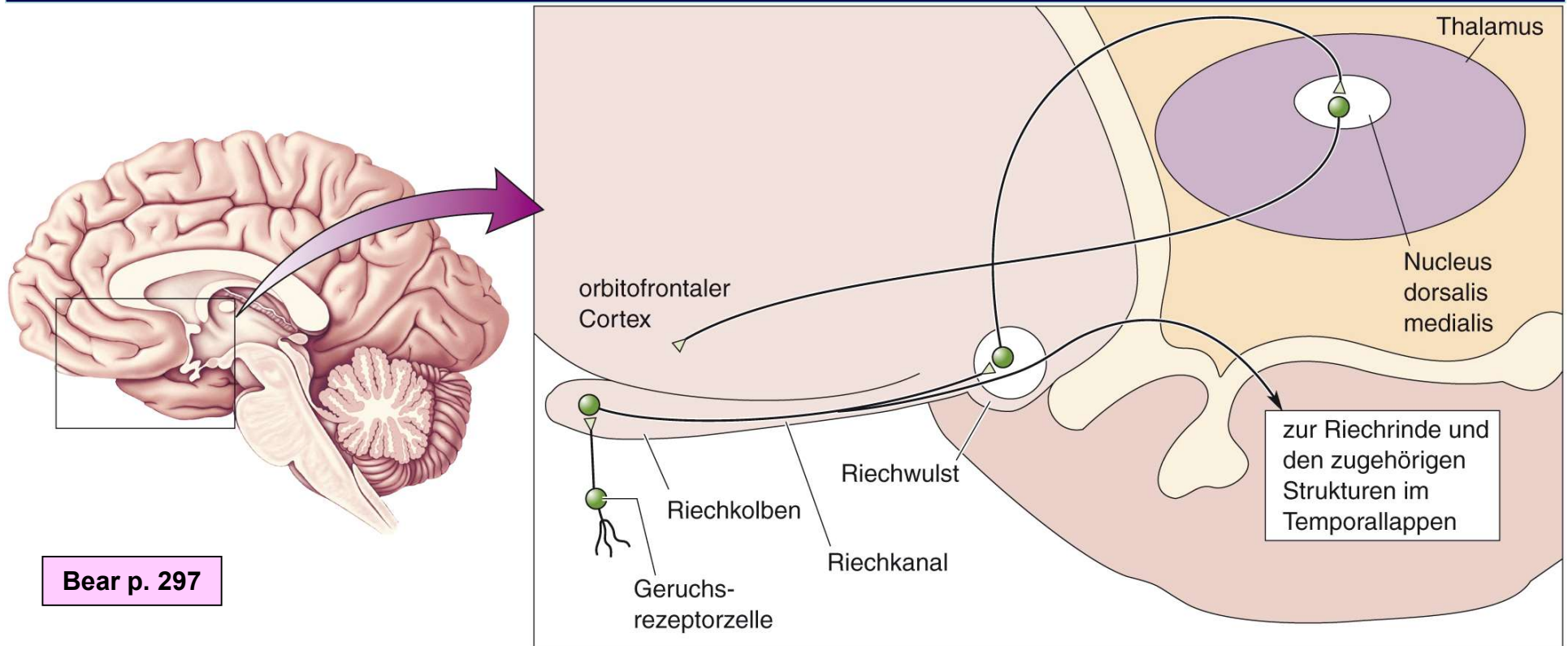
Diese neuere Arbeit zeigt zwei Typen von sekundären Sinnesneuronen im olfaktorischen Bulbus, die schon erwähnten Mitralzellen und die sog. tufted („befiederten“) Zellen.



Interessant ist die **laterale Verschaltung**, die durch die lateralen Dendriten vermittelt wird. Topographische Anordnung von Zellen eines Populationscodes mit nachfolgender lateraler Inhibition ist ein verbreitetes Verschaltungsmuster sensorischer Netzwerke, das uns auch schon in der Retina begegnet ist.

Mori & Sakano, *Ann. Rev. Neurosci.* 2011

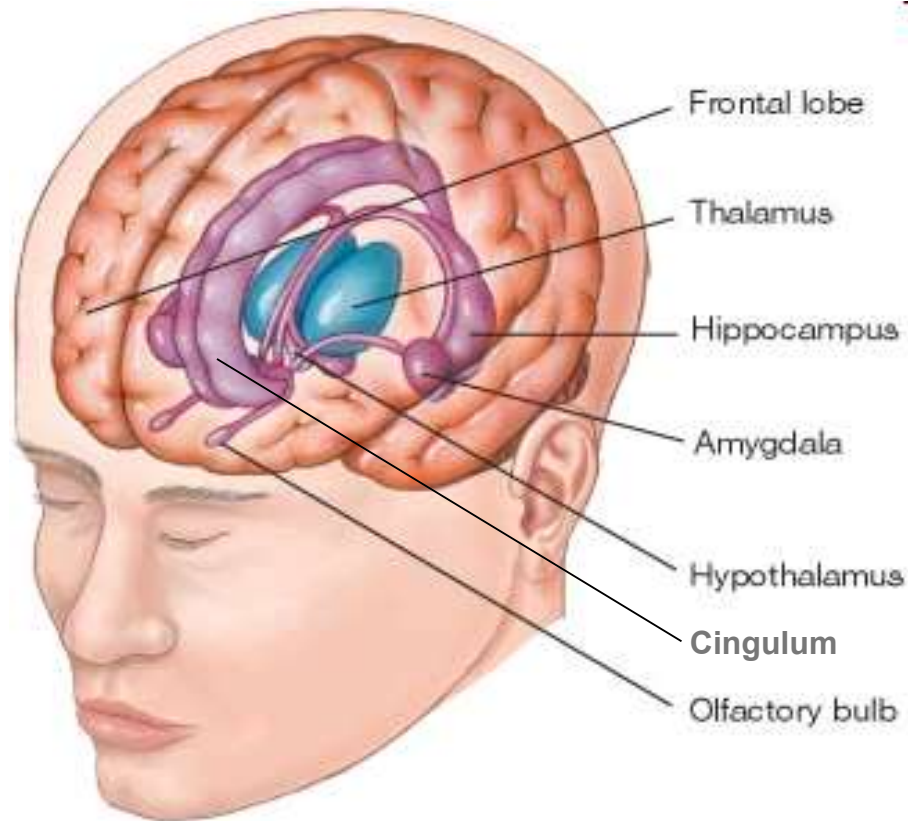
Olfaktorische Bahn(en) und Verhaltenssteuerung



Die Mitralzellen projizieren direkt in den entorhinalen Cortex (Palaeocortex) und stehen damit eng mit dem "limbischen" System in Verbindung, das an der Steuerung der Emotionen und über den Hippocampus am Gedächtnis beteiligt ist.

Eine weitere Bahn verläuft über den Thalamus in den orbitofrontalen Cortex (hinter dem Auge); sie wird für bewusste Geruchswahrnehmungen verantwortlich gemacht.

Das limbische System



Morris, chapter 2

Von der Wortbedeutung der "Saum" (Limbus) der den Hirnstamm umgebenden Rindenareale. Heute allgemeiner

- Bulbus olfactorius
- Hypothalamus
- anteriorer Thalamus
- Hippocampus / Fornix
- Amygdala
- Gyrus cinguli ("Cingulum")

Das limbische System ist verantwortlich für emotionales Erleben und emotionalen Ausdruck. Hippocampus und Amygdala zusätzlich für (emotionales) Lernen.

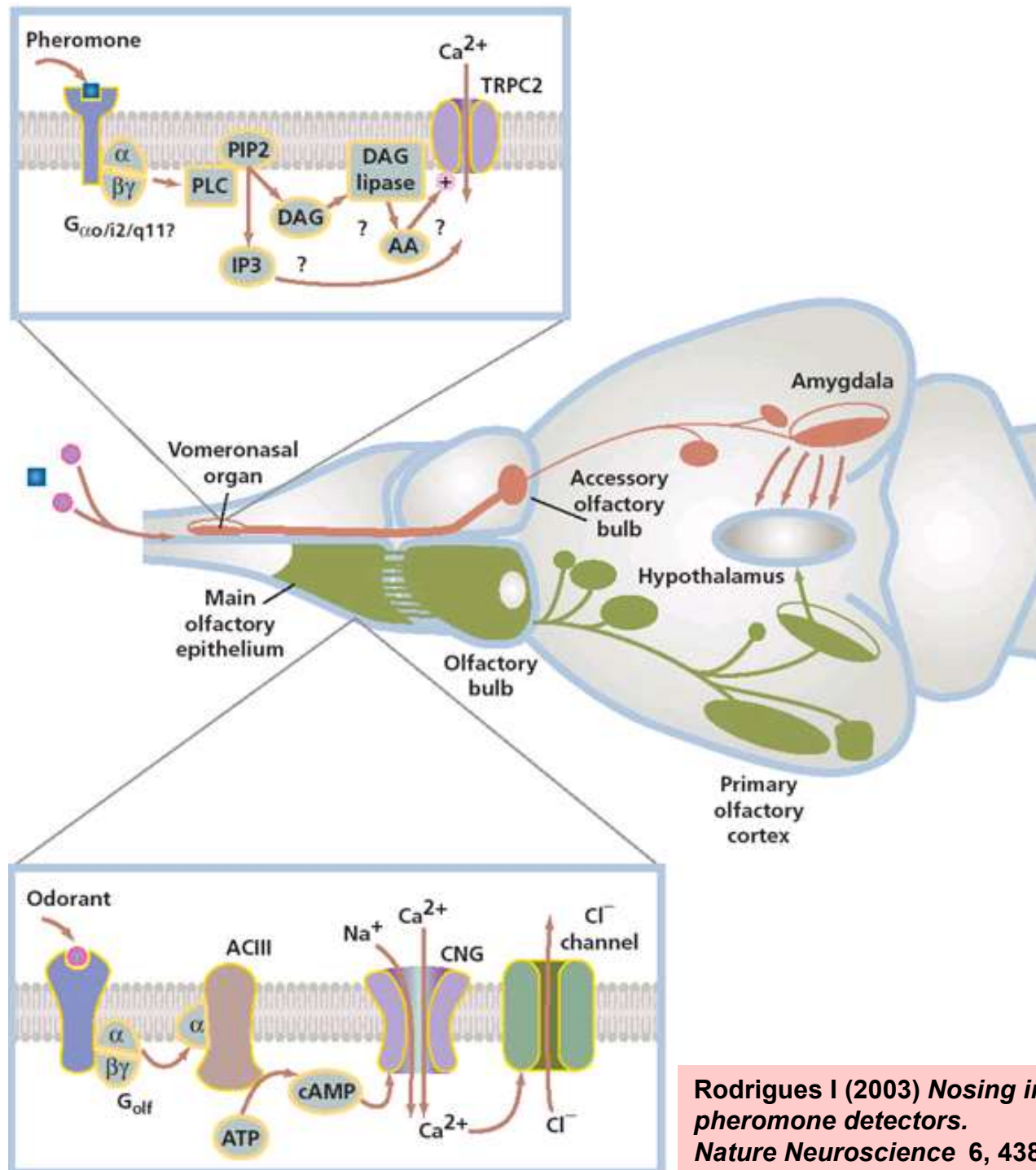
Vomeronasal-organ

Bei vielen Wirbeltieren (hier bei der Ratte) gibt es ein zweites olfaktorisches System, das Vomeronasalorgan, das auf die Wahrnehmung von Pheromonen spezialisiert ist.

Es handelt sich um einen Bereich des Riechepithels mit einem eigenen Typ von Rezeptorzellen und Projektionen in die Amygdala.

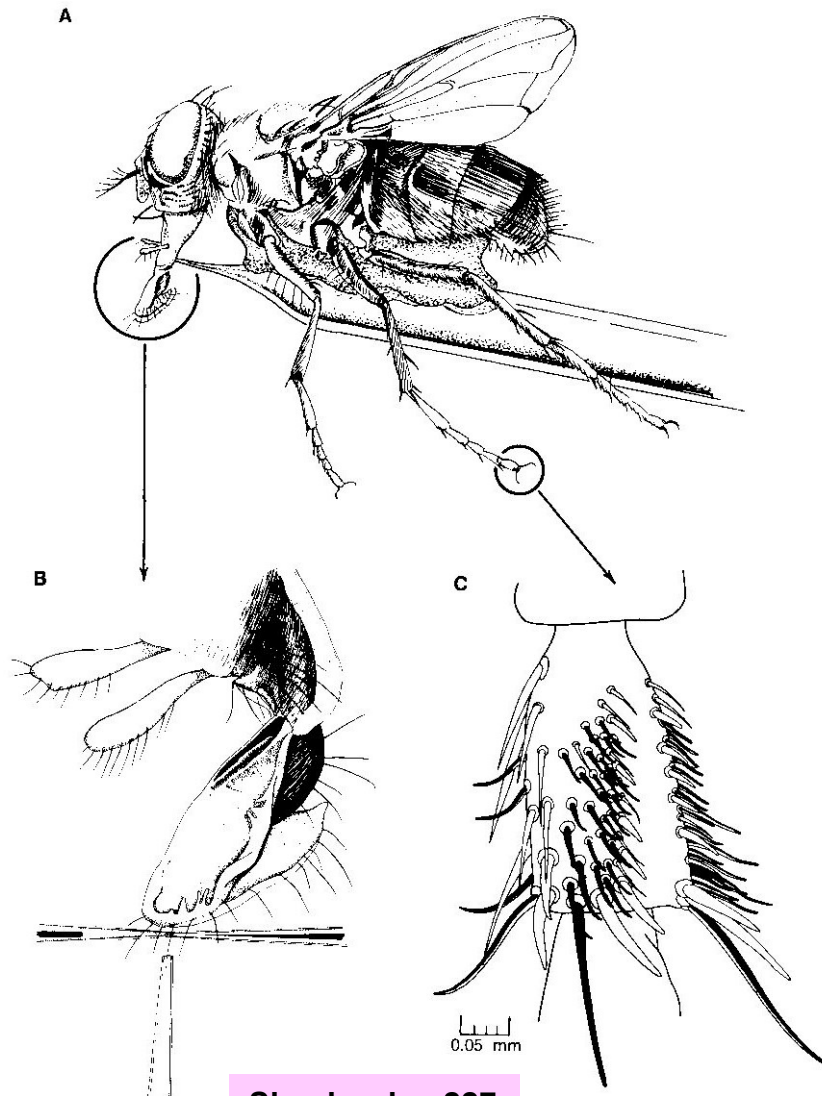
Beim Pferd steht das Vomeronasalorgan mit der Mundhöhle in Verbindung und wird durch "flehmen" ventiliert.

Ob der Mensch ebenfalls ein funktionelles Vomeronasalorgan besitzt, ist unklar.

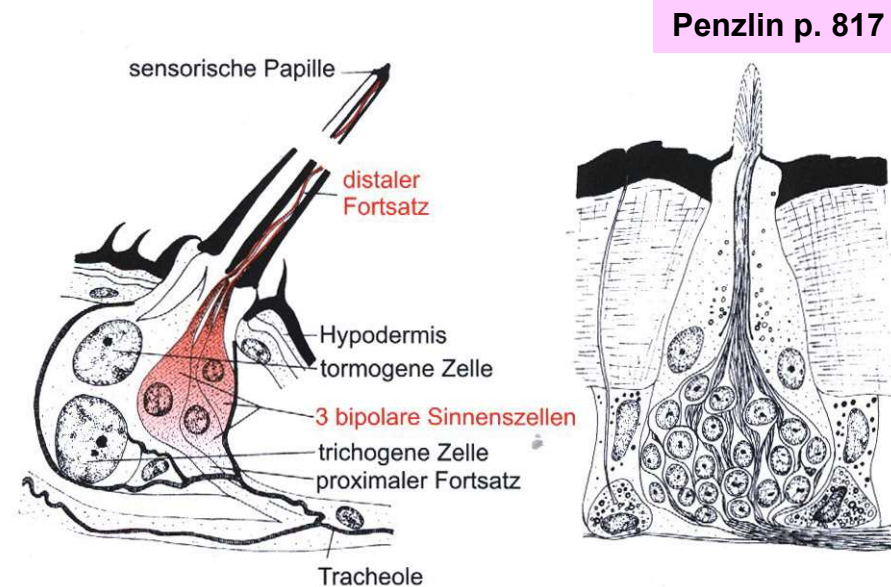


Rodrigues I (2003) *Nosing into pheromone detectors.*
Nature Neuroscience 6, 438 - 440

Chemischer Sinn bei Insekten



Shepherd p. 227



Oben: Sensillum trichodeum (links) und Sensillum basiconicum (rechts)

Links: Sinneshaare am Rüssel und am Tarsus einer Schmeißfliege. B: Ableitung mit einer Glaselektrode

Geruchssinn beim Seidenspinner

Bombyx mori



Bombykol ist ein Beispiel für ein "Pheromon", einen chemischen Botenstoff, der zwischen Individuen wirkt. Gegenbegriff ist das "Hormon", ein chemischer Botenstoff im Körper.

Sensilla basiconica ("Riechkegel") in den Antennen.

Sexuallockstoff

Bombykol wird in sehr niedrigen Konzentrationen über viele Kilometer detektiert (200 Moleküle in 1 cm³).

Männchen fliegen bei Detektion von *Bombykol* gegen den Wind und erreichen so aus großen Entfernungen das Weibchen.

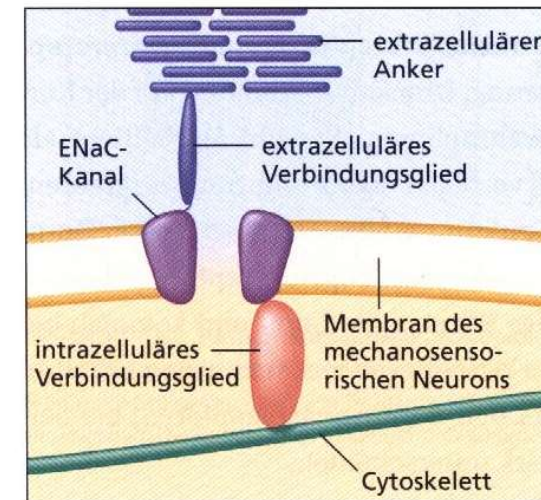
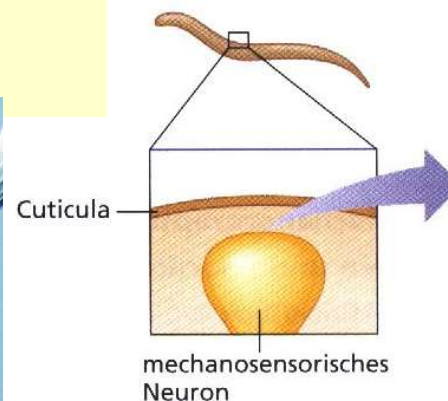
Geschmack, Geruch – ein Vergleich

	Geschmackssinn	Geruchssinn
<i>Rezeptorzellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> sek. Sinneszellen - Zunge Lebensdauer: 10-14 Tage 	<ul style="list-style-type: none"> prim. Sinneszellen - Nase Lebensdauer: 5-7 Wochen
<i>Rezeptorprotein</i>	Ionenkanäle und metabotrope Rezeptoren	metabotrope Rezeptoren
<i>adäqu. Reiz</i>	anorg. / organ. Moleküle	meist flüchtige organ. Moleküle
<i>biologische Funktion</i>	Kontrollfunktion bei der Nahrungsaufnahme: kauen und schlucken <i>oder</i> ausspucken	Nahrungssuche / Nahrungsauswahl, innerartliche Kommunikation (V N O)
<i>Reichweite</i>	Nahsinn	Fern- und Nahsinn
<i>unterscheidbare Qualitäten</i>	(bisher) 5 Geschmacksqualitäten: salzig, süß, umami, sauer, bitter	sehr viele (bis zu 10.000?) unterschiedliche Geruchsqualitäten
<i>Empfindlichkeit</i>	salzig, süß, sauer: relativ niedrig (2-20 mM) bitter: relativ hoch (10 nM)	hoch bis sehr hoch (Pheromone / Vomeronasalsystem: 0.1nM, Bombyx)
<i>Hirnnerven</i>	N. facialis (VII), N. glossopharyngeus (IX), N. vagus (X)	N. olfactorius (I)
<i>Bahn im ZNS</i>	Hirnnerven – Hirnstamm - (Pons) – Thalamus - primärer / sekundärer Cortex	Hirnnerv – Bulbus olfaktorius – Riechcortex Hypothalamus, Amygdala, Neocortex

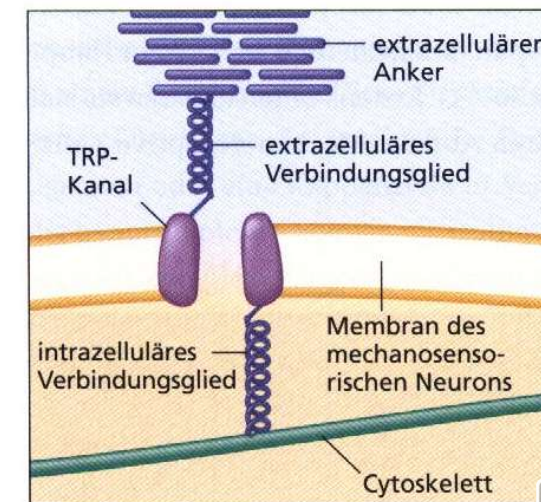
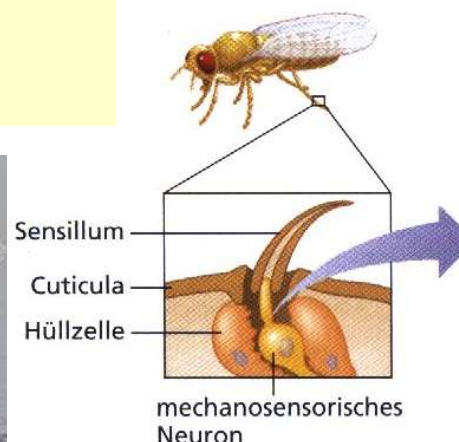
Mechanorezeptive Kanäle

Moyes p 293

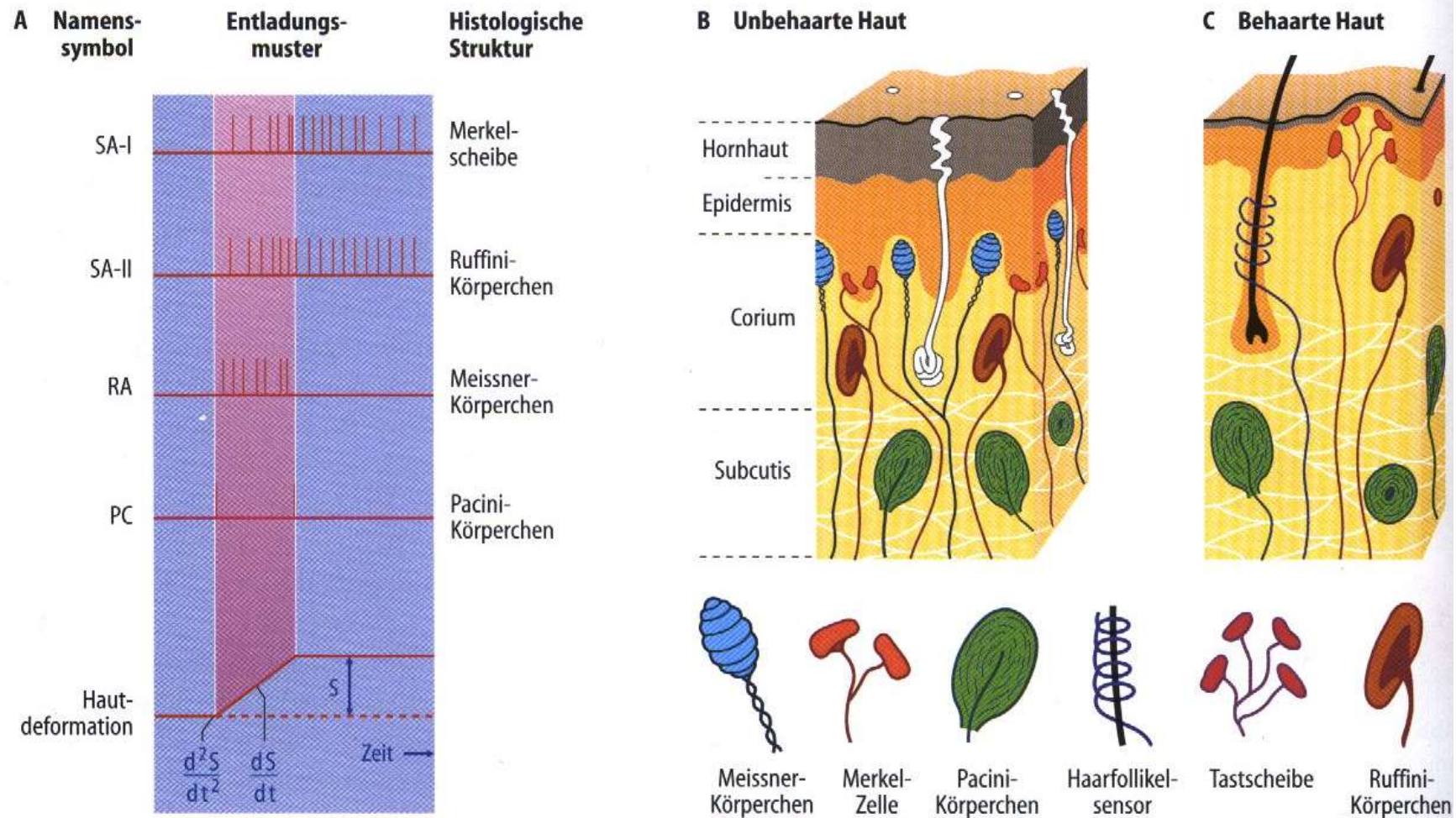
Caenorhabditis elegans:
Epithelialer Natriumkanal
(EnaC)



Drosophila melanogaster:
transient receptor potential
(TRP)-Kanal



Mechanosensoren der Säugetierhaut

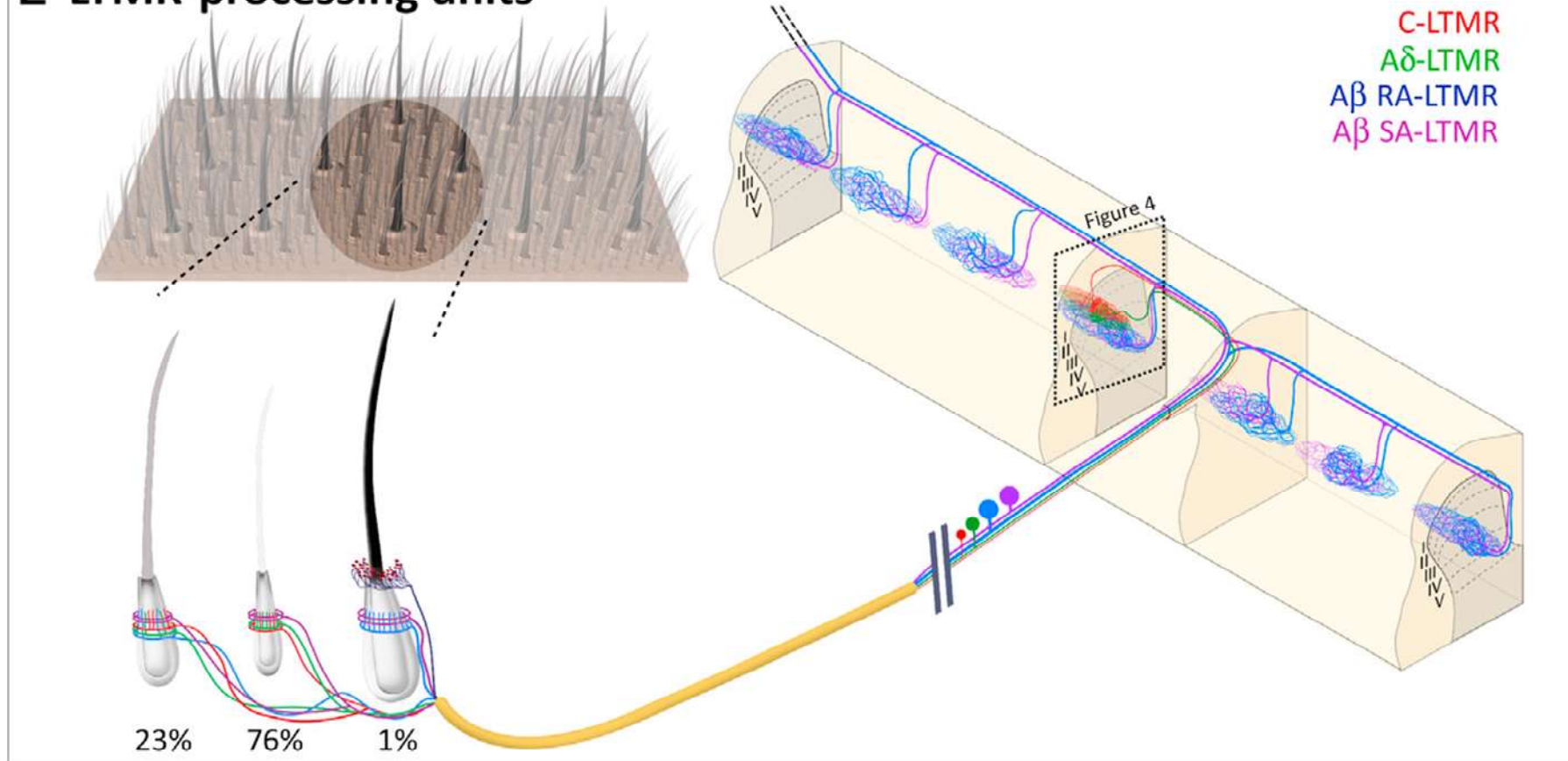


Schmidt
p 300

The Sensory Neurons of Touch

V.E. Abraira, D.D. Ginty. *Neuron* 2013

E LTMR-processing units



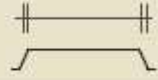
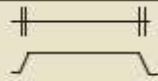





LTMR: low threshold mechanoreceptor

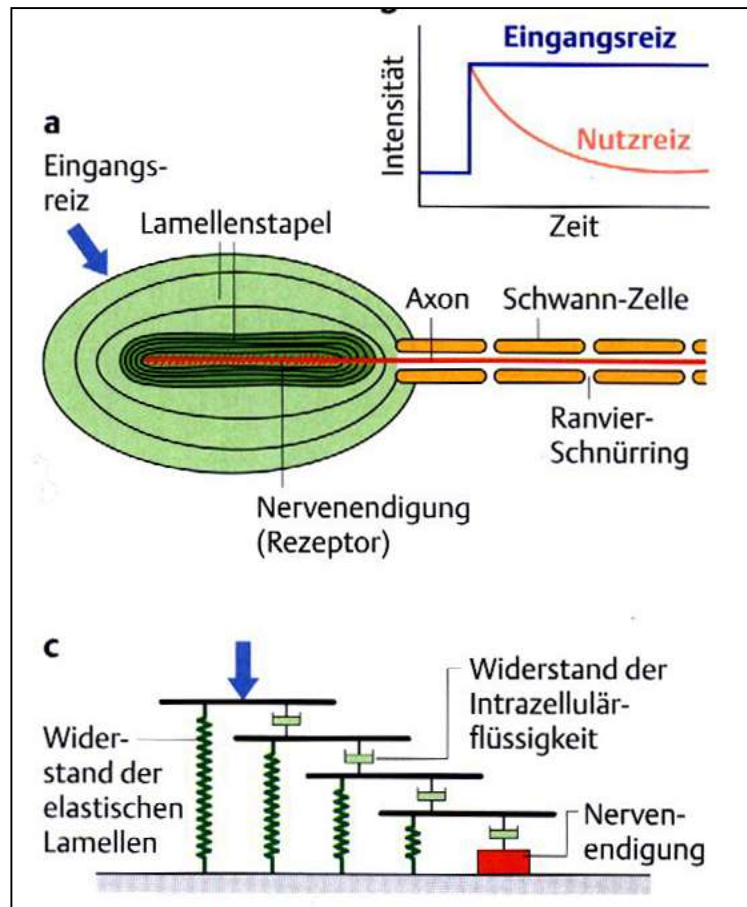
The Sensory Neurons of Touch

V.E. Abraira, D.D. Ginty. *Neuron* 2013

Table 1. A Comparison of Cutaneous Mechanoreceptor Subtypes

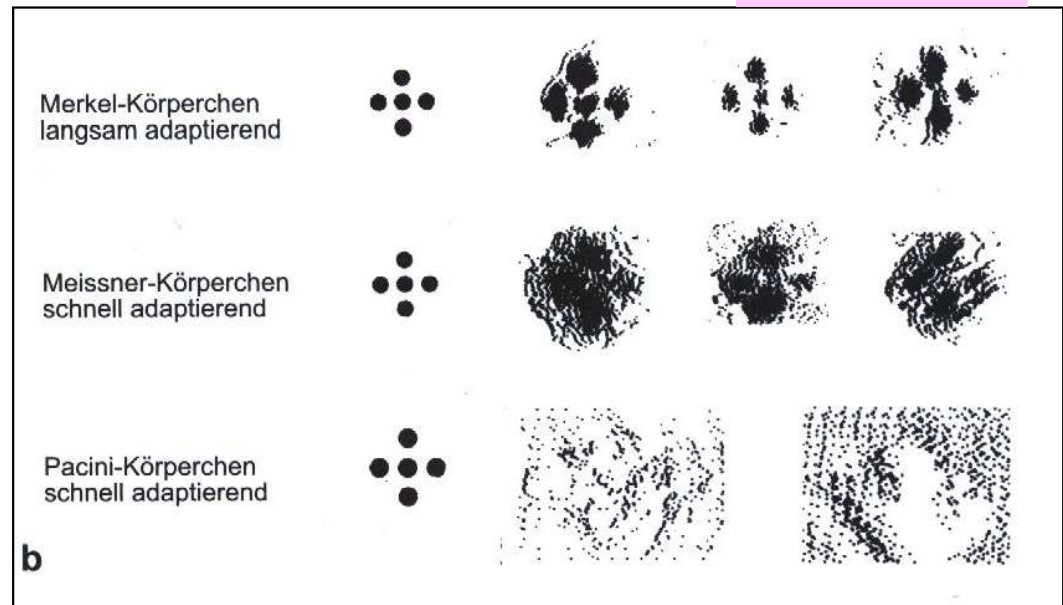
Physiological subtype	Associated fiber (conduction velocity ¹)	Skin type	End organ/ending type	Location	Optimal Stimulus ⁴	Response properties
SAI-LTMR	A β (16-96m/s)	Glabrous	Merkel cell	Basal Layer of epidermis	Indentation	
		Hairy	Merkel cell (touch dome)	Around Guard hair follicles		
SAII-LTMR	A β (20-100m/s)	Glabrous	Ruffini ²	Dermis ³	Stretch	
		Hairy	unclear	unclear		
RAI-LTMR	A β (26-91m/s)	Glabrous	Meissner corpuscle	Dermal papillae	Skin movement	
		Hairy	Longitudinal lanceolate ending	Guard/Awl-Auchene hair follicles	Hair follicle deflection	
RAII-LTMR	A β (30-90m/s)	Glabrous	Pacinian corpuscle	Deep dermis	Vibration	
A δ -LTMR	A δ (5-30m/s)	Hairy	Longitudinal lanceolate ending	Awl-Auchene/ Zigzag hair follicles	Hair follicle deflection	
C-LTMR	C (0.2-2m/s)	Hairy	Longitudinal lanceolate ending	Awl-Auchene/ Zigzag hair follicles	Hair follicle deflection	
HTMR	A β /A δ /C (0.5-100m/s)	Glabrous Hairy	Free nerve ending	Epidermis/Dermis	Noxious mechanical	

Mechanosensoren der Säugerhaut II



Wehner p 433

Heldmeier p 147

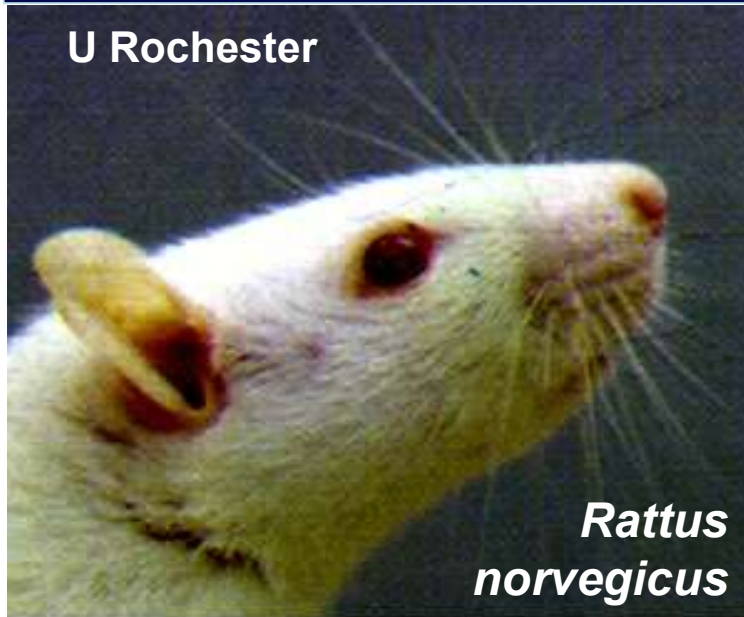


"Abbildung" von Braille-Muster durch verschiedene Sensoren bei Fingerbewegung

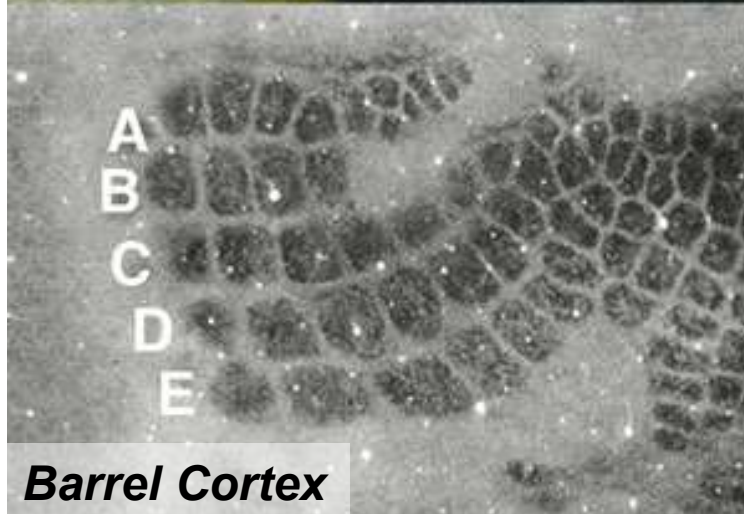
Pacini-Körperchen. Freie Nervenendigung, Hüllzellen, phasisches Antwortverhalten

Vibrissen

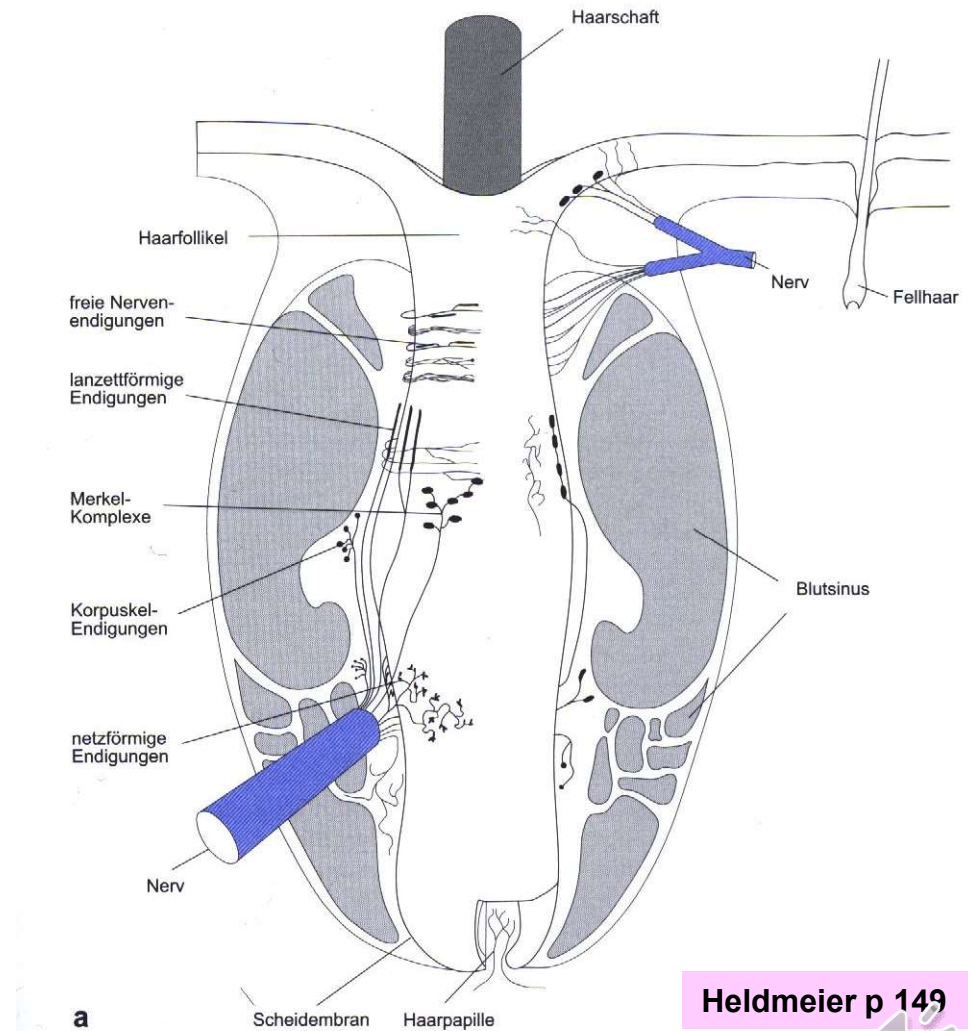
U Rochester



*Rattus
norvegicus*

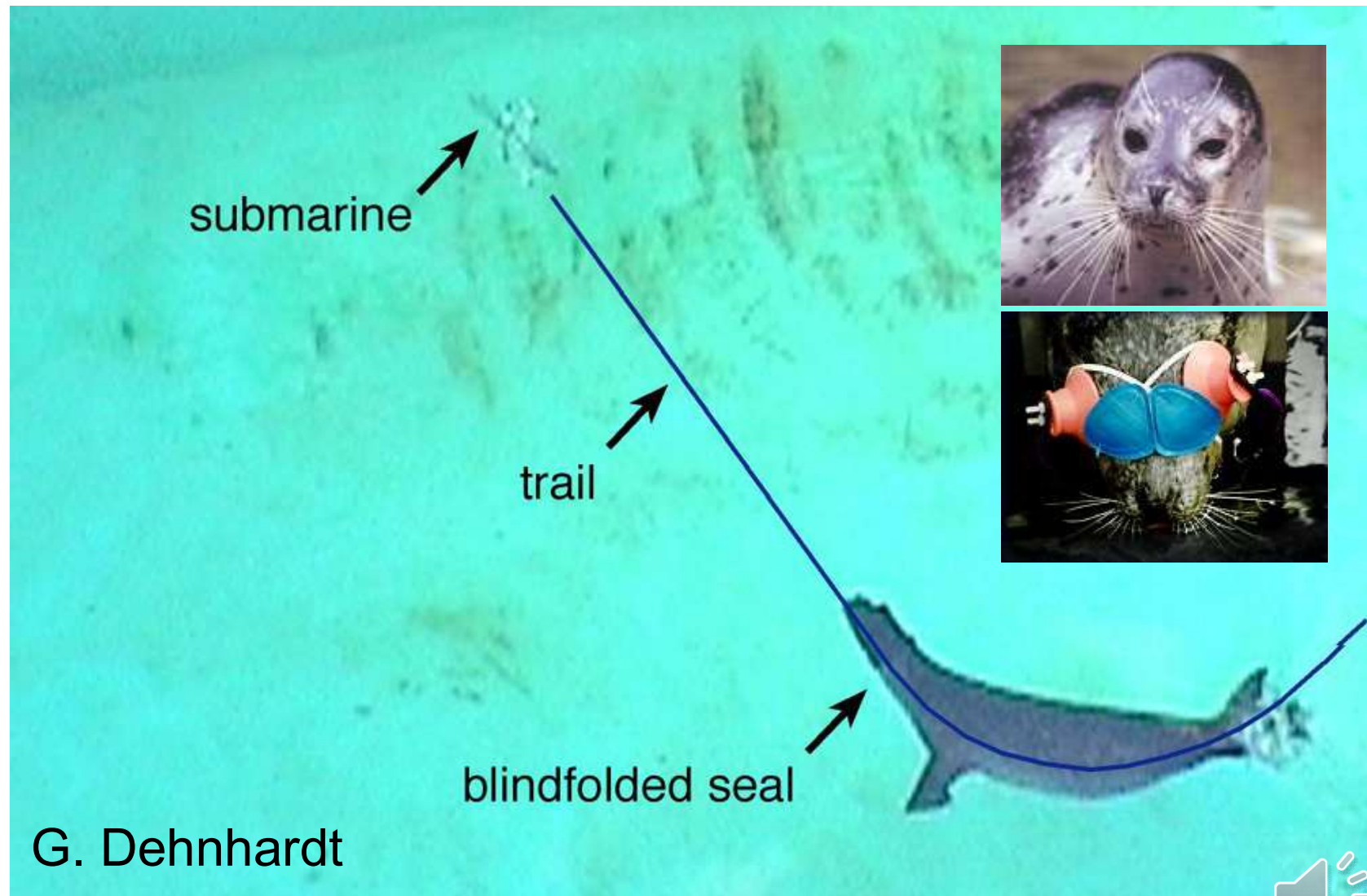


Barrel Cortex

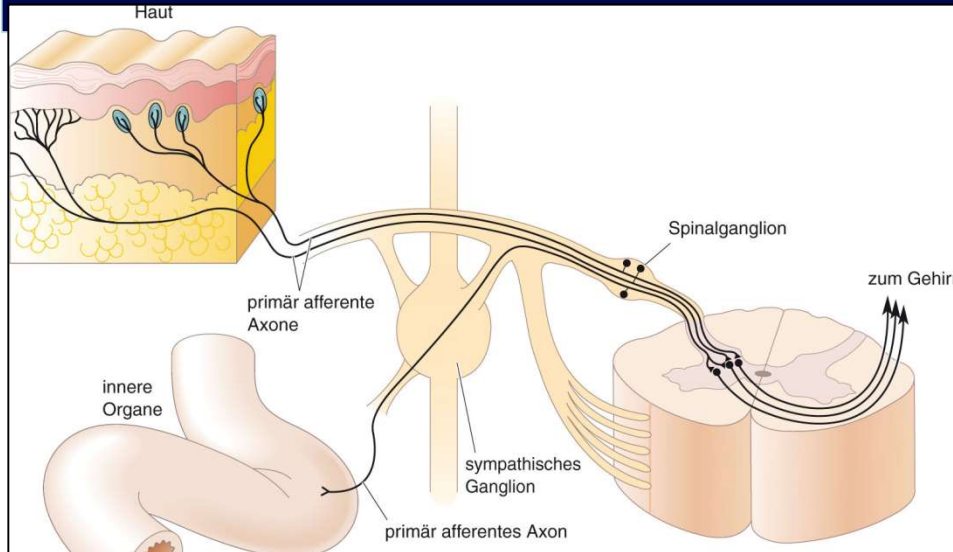


Heldmeier p 149

Seehunde verfolgen Wirbelspur von Fischen (und Modell-Ubooten)



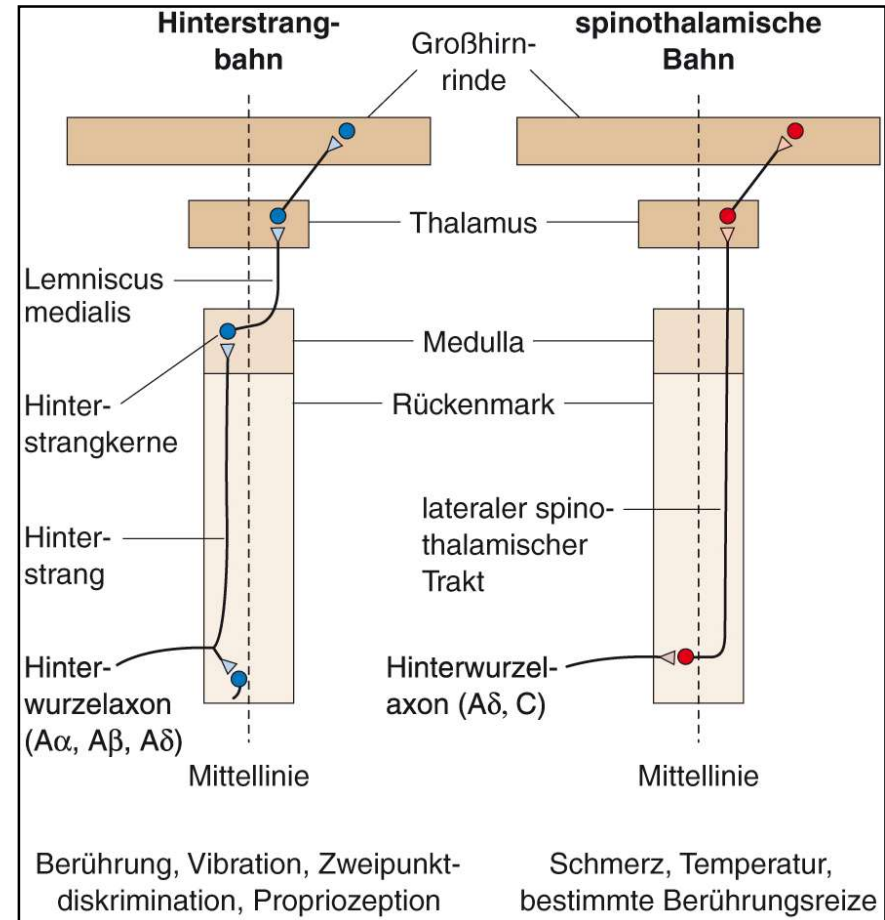
Schmerzwahrnehmung (Nociception)



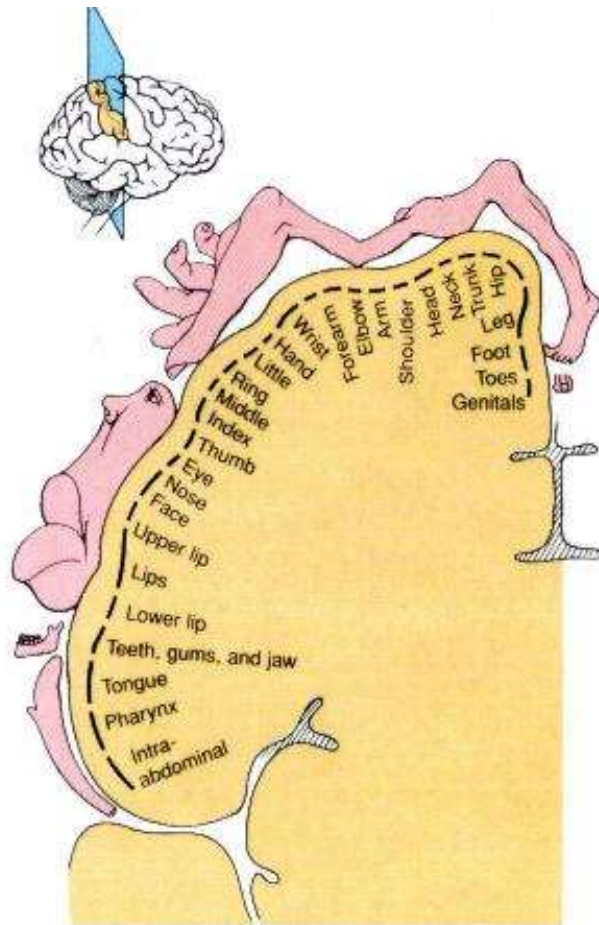
Freie Nervenendigungen von pseudounipolaren Neuronen des Spinalganglions können somatosensorische oder Schmerzdaten vermitteln.

Beide Datentypen werden über verschiedene Bahnen weitergeleitet, konvergieren aber im somatosensorischen Cortex.

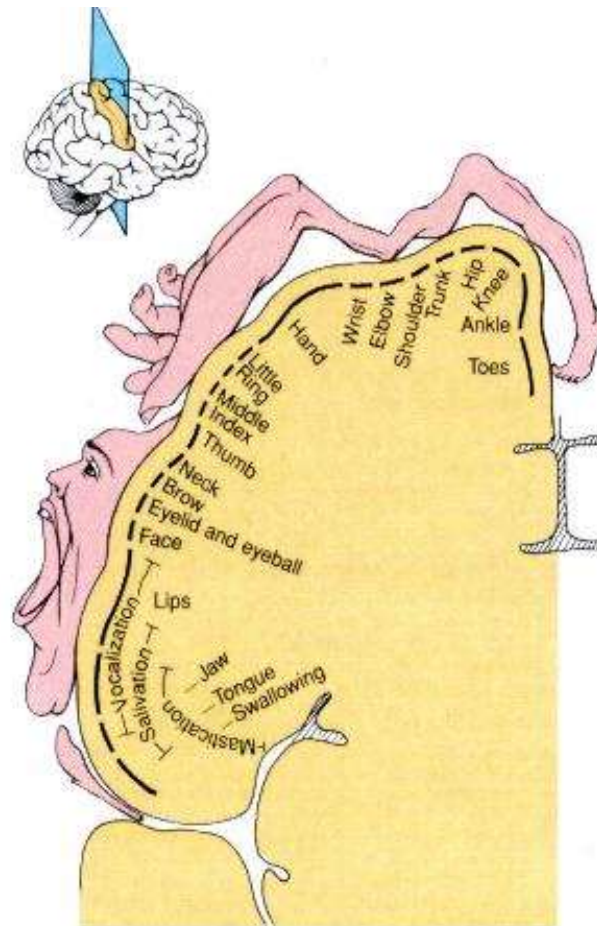
Die eigentliche Schmerzwahrnehmung wird durch die Erregung der Nociceptoren nur teilweise erklärt.



Somatosensorischer und motorischer Cortex



(a) Somatosensory cortex in right cerebral hemisphere



(b) Motor cortex in right cerebral hemisphere



<http://faculty.etsu.edu/currie/images/homunculus1.JPG>

www.turmdersinne.de

Zusammenfassung

- Chemische Sinne treten bei Wirbeltieren als **Geschmack** und **Geruch** auf.
- Die Geschmackszellen sind in **Papillen** auf der Zunge angeordnet. Es sind sekundäre Sinneszellen, die von verschiedenen Hirnnerven (VII, IX, X) innerviert werden.
- **Geschmacksrezeptoren** sind ionotrop (salzig, sauer) oder metabotrop (bitter, süß, umami).
- **Geschmäcke** sind als Muster über viele Rezeptorzellen repräsentiert.
- Die Geruchszellen in der **Riechschleimhaut** sind ciliäre, primäre Sinneszellen, deren Axone durch das Siebbein in den Bulbus olfactorius projizieren (Nervus I).
- **Riechrezeptoren** kommen in vielen verschiedenen Typen vor, jedoch jeweils nur einer pro Zelle.
- Im Bulbus olfactorius werden die Axone von Zellen mit gleichem Rezeptor in **Glomeruli** gesammelt.
- Jeder Geruch ist durch ein **Muster von Erregungen** der Glomeruli charakterisiert.
- Der Bulbus olfactorius projiziert direkt ins **limbische System** und über thalamische Kerne in den **Neocortex**.
- **Mechanorezeptive Kanäle** ändern durch Druck- oder Zugbelastung ihre Leitfähigkeit.
- **Hautsensoren bei Säugern** liegen in unterschiedliche Tiefe und reagieren auf unterschiedliche Reizdynamik.
- Viele Säuger haben Tasthaare (**Vibrissen**) mit fein differenzierter Sensorik.
- Der somatosensorische "**Homunculus**" zeigt die relative Größe der zentralen Körperrepräsentationen somatosensorischer Cortex).

lesen Sie zu diesem Kapitel...



MF Bear, BW Connors, MA Paradiso.
*Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für
Biologie, Medizin und Psychologie.*
Spektrum Verlag, 3. Auflage 2009

Kapitel 8: Die chemischen Sinne
Kapitel 12: Das somatosensorische System
(pp 428-434)

Weitere verwendete Literatur

- Heldmaier G, Neuweiler G, Vergleichende Tierphysiologie. Band 1, Berlin etc.: Springer 2003
- Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. *Principles of neural science*. 4. Auflage. McGraw-Hill 2000
- Morris CG, Maisto AA. *Psychology: An Introduction*. 11th Ed. Prentice Hall. Online study guide at <http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/morris5/>
- Moyes: Moyes CD, Schulte PM, Tierphysiologie. München etc: Pearson Education 2008
- Shepherd GM. *The synaptic organization of the brain*. Oxford University Press 1990
- Penzlin H, *Lehrbuch der Tierphysiologie*. 7. Auflage, München: Elsevier 2005.
- Schmidt RF, Lang F, Thews G, Physiologie des Menschen. 29. Auflage, Heidelberg: Springer 2005
- Wehner R, Gehring W, Zoologie. 27. Auflage, Stuttgart: Thieme, 2007