

## 4 Sinnessysteme

In *primäre Sinneszellen* findet die Umwandlung eines Sensorpotential in ein Aktionspotential in der Sinneszelle selbst statt. (Stäbchen, Zapfen, Retina)

Bei *sekundären Sinneszellen* wird das Sensorpotential in synaptisch nachgeschalteten Neuronen in Aktionspotentiale umgewandelt. (Photorezeptoren, Haarzellen, Geschmackssinneszellen)

*Spezielle Sinne* verfügen über ein eigenes Organ (Auge, Ohr, olfaktorische Membran der Nase). Der jeweils adäquate Reiz führt zum entsprechenden Sinneseindruck (Licht führt zum Sehen, aber nicht zum Hören)-

Einteilung der Sinne nach „Entfernung“:

<b>Sinne</b>	spezielle Sinne	- <i>Telezeptor</i> : Sinneszellen der Fernsinne - <i>Interozeptor</i> : Sinnesempfindung findet im Körper statt
	Hautsinne	- <i>Exterozeptoren</i> : Wahrnehmung von Reizen, welche die Haut direkt betreffen
	Viszerale Sinne	- <i>Propriozeptoren</i> : Empfindung der Körperhaltung - <i>Interozeptoren/ Viscerozeptoren</i> : Ableitung der Gefäßzustände, sowie bestimmter chemischer Zustände

Empfindung eines physikalisch/ chemisch definierbaren Reizes wird von der Wahrnehmung des Reizes - welche von Verarbeitungs-/ Bewertungsmechanismen bestimmt wird - unterschieden.

### 4.1 Sehen

Adäquater Reiz: Licht als Strahlungsenergie des Wellenlängenbereichs zwischen 380-760nm.

- Farbe wird durch Wellenlänge bestimmt
- Helligkeit wird durch Intensität bestimmt

Alle farbigen Objekte reflektieren eine andere Verteilung der Wellenlänge als die auftreffende.

- Licht = Illuminanz (Beleuchtungsstärke) in lumen/m<sup>2</sup> oder lux
- Lichtintensität = Luminanz (Leuchtdichte) in candela/m<sup>2</sup>

#### 4.1.1 Auge, Stäbchen, Zapfen

<b>Augapfelinhalt</b>	Glaskörper	- gallertartige Masse, >98% aus Wasser - kugelige Gestalt wird durch Innendruck des Auges erreicht
	Linse	- bikonvexe, verformbare Struktur - aufgehängt durch Fasern am Ziliarkörper

## Aufbau der Augenwand

- äussere Augenhaut	Sklera	Lederhaut
	Cornea	Hornhaut (transparent)
- mittlere Augenhaut	Ziliarkörper	enthält Muskeln zur Linsenakkommodation
	Iris	Regenbogenhaut; enthält Muskelfasern zur Veränderung der Pupillengröße
	Chorioidea	Aderhaut
- innere Augenhaut	Retina	hinterer Lichtempfindlicher Teil = Pars Optica0

## Augenmuskelapparat

6 Augenmuskeln zur Bewegung des Augapfels		- waagrechte Bewegungen, oben & unten, Rotation - Versorgung durch Nerven
ringförmiger Ziliarmuskel	M. dilatator pupillae	Erweiterung der Pupillenöffnung
	M. sphincter pupillae	Verengung der Pupillenöffnung

## Augennerven

Nervus oculomotorius  
Nervus trochlearis  
Nervus abducens

## Augenbewegungen

Sakkaden	Bewegung von einem Fixpunkt zum nächsten (z.B. beim Lesen)
Nystagmus	unkontrollierbare, rhythmische Bewegungen
optokinetischer Nystagmus	Folgebewegungen wechseln mit Sakkaden ab
Konvergenz	Augen bewegen sich von auseinander zu
Divergenz	Augen entfernen sich voneinander

<b>Pupillenreaktionen</b>	Miosis	Verengung der Pupille
	Mydriasis	Erweiterung der Pupille
	Fernakkomodation	Abflachung der Linse (Ziliarmuskel entspannt)
	Nahakkomodation	Wölbung der Linse (Ziliarmuskel kontrahiert)

<b>Retinafunktionen</b>	Sehschärfe	abhängig von der Dichte der Photorezeptoren; Sehgrube als Ort des schärfsten Sehens (ausschliesslich Zapfen)
	Farbsehen/ photopisches Sehen	Zapfen --> Iodopsin - Blauzapfen bei 440 nm - Grünzapfen bei 535 nm - Rotzapfen bei 565
	Hell-Dunkelsehen/ skotopisches Sehen	Stäbchen --> Rhodopsin
	Blinder Fleck	Ort wo der Sehnerv das Auge verlässt (Papille)

Die 3 Zapfentypen haben unterschiedliche Empfindlichkeitsmaxima für die verschiedenen Wellenlängen. Die Photorezeptoren geben über Bipolarzellen ihre Information an die Ganglienzellen weiter. Horizontalzellen und amakrine Zellen verbinden die Photorezeptoren/ Bipolarzellen untereinander. Bei Lichteinfall werden die eingelagerten Photopigmente umgewandelt und es erfolgt eine Hyperpolarisation

#### 4.1.2 Reizweiterleitung und Reizverarbeitung

Jede Ganglienzelle (GZ) fasst Informationen aus verschiedenen Sinneszellen zusammen, die über ein bestimmtes Netzhautareal - *rezeptive Felder* - verteilt sind. Diese Felder überlappen sich. Die Ausdehnung der Felder ist in der Sehgrube am geringsten, nach aussen hin nimmt sie zu.

Formen des rezeptiven Feldes	On-Zentrum	Lichtpunkt fällt ins Zentrum des rezeptiven Feldes: führt zu Erregung der GZ
	Off-Zentrum	Lichtpunkt fällt ins Umfeld des rez. Feldes: Hemmung der GZ

Ganglienzellen	M-Zelle	großer Zellkörper, große rezeptive Felder, kontrast-/bewegungsempfindlich
	P-Zelle	räumliche Auflösung/ Formwahrnehmung/ Farbwahrnehmung
	koniozellulärer Typ	blauempfindlich, leiten Infos in höhere Hirnregionen

Die Sehschärfe wird durch den *Visus* bestimmt, also den Kehrwert des minimalen Winkels in dem das Auge zwei Lichtpunkte voneinander diskriminieren kann. Die größte Sehschärfe wird in der Fovea erzielt und nimmt rapide ab, je weiter ausserhalb der Fovea ein Reiz dargeboten wird.

Das Farbsehen wird durch retinale Vernetzung ermöglicht, durch die 3 Zapfen werden 3 Farbbereiche repräsentiert.

Farbsehen	trichomatische Theorie	durch die Mischung von 3 Grundfarben lassen sich alle möglichen Farben herstellen
	Gegenfarbtheorie	schwarz-weiß, rot-grün, gelb-blau Die Farben eines Paares werden im Zentrum/ Umfeld des rezeptiven Feldes einer On-/ Off- Ganglienzelle abgebildet --> Verrechnung der Informationen aus den verschiedenen GZ
	Kries-Zonentheorie	Zentraler Sehbereich (Sehgrube): gegenfarblich organisiert Peripherie: trichomatisches Sehen

### Sehbahn:

*Retina*: einfache Verarbeitungsschritte --> *Nervus opticus* tritt an der Papille aus -->

*Chiasma opticum*: 50% der Nervenfasern kreuzen auf die andere Seite (jeweils die Fasern, die von der der Nase zugewandten Hälfte der Retina stammen) -->

*Tractus opticus*

*Nucleus suprachiasmaticus* des Hypothalamus --> Verbindung mit Epiphyse

*Coliculli superiores* im Mittelhirn --> Abstimmung der Visuellen Signale mit Somatosensorischen und akustischen Signalen --> Einfluss auf die Blickmotorik (Reflexe/ Sakkaden...)

*Corpus geniculatum* laterale im Thalamus: synaptische Schaltstelle zwischen Retina und visuellem Kortex. Projektion von Retina ins Corpus g. l. erfolgt retinotop.  
Aufgabe: Verstärkung der komplexen retinalen Reize

Über die Sehstrahlung werden Informationen vom *Corpus geniculatum* laterale zum visuellen Kortex gebracht

## Visueller Kortex

### Okzipitallappen --> primärer visueller Kortex

--> reagiert auf komplexe Muster oder bestimmte Anordnungen:

- Orientierung eines visuellen Reizes im Raum, auf die orientierungsspezifische Kortexneurone reagieren.
- Bewegungs-/ Richtungsspezifische Neuronen werden bei Bewegungen jeweils spezifischer Richtung aktiv.
- Längenspezifische Neuronen erlauben Identifikation von Ecken und Konturen.

Der p-v Kortex besteht aus 6 übereinanderliegenden Schichten:

Schichten des primären visuellen Kortex	okulare Dominanzsäule	werden durch 1 Auge aktiviert (rechts oder links)
	Orientierungssäulen	Innerhalb der Dominanzsäule; enthalten orientierungsspezifische Neuronen
	farbempfindliche Blobs	Zwischen je 2 Dominanzsäulen
	Hypersäulen	Die beiden okularen Dominanzsäulen der beiden Augen

Die Dominanzsäulen, Orientierungssäulen und Blobs lassen sich zu einem kortikalen Modul zusammenfassen.

In diesem Kortex erfolgt eine Verarbeitung von Form, Farbe, Tiefe und Bewegung. Im inferotemporalen „Was-System“ werden eben genannte analysiert.

Mechanismen	Farbkonstanz	die Farbe eines Objekts wird immer identisch wahrgenommen
	räumliches Sehen	Informationen aus beiden Augen werden miteinander verglichen
	Querdisparation	Verschiedenheit der Bildlage auf den beiden Augen; ermöglicht Tiefenwahrnehmung
	Perspektive	Hilfsmittel zur räumlichen Wahrnehmung
	Farbton	Einschätzung der Entfernung
	Bewegungsparallaxe	Rückschluss durch Eigenbewegung auf die Entfernung

## 4.2 Hören

Adäquater Reiz: Schall --> Beschreibung in Amplitude & Frequenz

Hörbare Frequenz für den Mensch: 20-16.000 Hertz. Ein Schall mit nur einer Frequenz wird als Ton bezeichnet. Als weißes Rauschen werden Geräusche bezeichnet, bei denen viele Töne & Klänge mit jeweils gleichem Anteil gleichzeitig vorkommen.

**Schalldruckpegel:** ein gegebener Schalldruck wird logarithmiert und auf einen festgelegten Bezugsschalldruck bezogen --> Dezibel

<b>Aussenohr</b>	Ohrmuschel	Bündelung von Schallwellen
	äußerer Gehörgang	
	Trommelfell	

<b>Mittelohr</b>	Hammer	setzt auf Trommelfell auf, Gelenkartig mit Amboss verbunden
	Amboss	gelenkartig mit Steigbügel verbunden
	Steigbügel	setzt auf <i>ovalem Fenster</i> auf

--> Gehörknöchelchen verstärken die Schallwellen und leiten an das Innenohr weiter

<b>Innenohr</b>		
Vestibularorgan		Gleichgewichtsorgan
Kochlea	Scala tympani (rundes) + Scala vestibuli (ovales Fenster)	- angefüllt mit <i>Perilymphe</i> umschliessen Scala media
	Helikotrema	- äusserstes Ende des Innenohrs - Verbindung S.tympani + S.vestibuli
	Scala media	befindet sich in der Trennwand, ist mit <i>Endolymphe</i> gefüllt
	Basilarmembran	trennt Scala media von Scala tympani
	Tektorialmembran	deckt das Corti-Organ ab
	Corti-Organ	reizaufnehmendes Organ

Das Corti-Organ besteht aus Haarzellen, an deren Spitze sich Stereozilien befinden. Diese Haarzellen sind sekundäre Sinneszellen, welche mit dem Hörnerv Synapsen bilden.

### Weg des Schalls:

Der Druck des Schalls trifft auf die Ohrmuschel --> *Trommelfell* --> *Gehörknöchelchen* leiten Druck weiter auf das *ovale Fenster* (Scala vestibuli) --> *Perilymphe* kommt in Bewegung --> Auslenkung der kochleären Trennwand --> Verschiebung der Tektorialmembran gegenüber der Basiliarmembran --> Auslenkung der *Stereozilien* --> elektrisches Potential der Haarzellen wird verändert --> Auslösung von *Aktionspotentialen*

### 4.2.2 Reizweiterleitung und Reizverarbeitung

<b>Stationen des akustischen Signals</b>	Kochlea	
	Nervus cochlearis	Hörnerv; erste Informationsverarbeitung
	Medulla oblongata	<i>Nuclei cochlearis</i> : erste synaptische Umschaltung; Info: Reizbeginn/-ende, Frequenzänderung, Periodizitätsanalyse
	Mittelhirn	über Lemnicus laterales und Colliculi inferiores (zeitliche Merkmale, Periodizitätsanalyse) ins ....
	Thalamus	<i>Corpus geniculatum</i>
<b>primäre Hörrinde</b> --> räumliche Organisation	Temporallappen	Nervenbahnen heissen ab jetzt Hörstrahlung
<b>sekundär auditiv</b> --> assoziativ	Wernicke-Zentrum	Spracherkennung
	Broca-Zentrum	Sprachproduktion

Es sind auch Kollaterale zum Kleinhirn und Formatio reticularis ausgebildet, dort können akustische Signale & Aktivierungen verknüpft werden.

*Räumliche Ortung* der Schallquelle: Unterschiede in den Empfindungen der beiden Ohren werden analysiert --> Analyse der Laufzeitunterschiede & Intensitätsunterschiede

Ortsprinzip der Frequenzkodierung: Hohe Frequenzen haben große Schwinungen. Die Basiliarmembran gerät je nach Frequenz des Schalls unterschiedlich in Schwingung

- hohe Frequenzen: Schwinung der mittelohrnahen Bereiche
- tiefe Frequenzen: Schwinung der Bereiche am Helikotrema

Periodizitätsanalyse: die verschiedenen Fasern werden von derselben (wandernden) Welle erregt. Aufgrund der räumliche Anordnung der Sinneszellen in der Kochlea nacheinander --> Die Tohnhöhe kann somit unterschieden werden, je nach dem welche Faser wann erregt wird.

**Prinzip der Reizweiterleitung:** Identifikation wichtiger Information aus Schalldruckmustern, Weiterleitung und Filtern unwichtiger Infos.

Ausgeprägteste Form der Schallmuster-Erkennung findet auf Kortex-Ebene statt --> Wahrnehmung und Interpretation von auditiven Reizen, gegebenenfalls Reaktion darauf.

### 4.3 Riechen

adäquater Reiz: Geruchsmoleküle (müssen gaslöslich sein und mit Nasenschleimhautsekret in Lösung gehen)

Während der normalen Atmung geht der Luftstrom größtenteils direkt in die Lunge zum Sauerstoffaustausch. Erst durch „schnüffeln“ wird der Luftstrom zum Riechepithel umgelenkt und die verschiedenen Gerüche können nun differenziert analysiert und wahrgenommen werden.

<b>Riechepithel</b>	Bowman-Drüsen	bilden Sekret, welches die verschiedenen Zellen überzieht
	Stützzellen	stützen die Riechzellen
	Basalzellen	Vorstufe der Riechzellen
	Riechsinneszellen	olfaktorische Sensoren; Nachbildung durch Basalzellen
	Zilien	Riechhärchen

Riechsinneszellen sind primäre Sinneszellen, deren Dendriten zu Riechhärchen (Zilien) verdickt sind. Auf diesen Zilien sitzen Rezeptorprotein.

#### Weitere Geruchsrezeptoren

**Vomeronasales Organ:** Organ zur Aufnahme von Pheromonen (Funktion beim Mensch nicht nachgewiesen)

Freie Endigung des **Nervus Trigemimus** in der Riechschleimhaut: Reaktion auf Schmerzreize (stechend-beißender oder brennend-scharfer Geruch)

#### 4.3.2 Reizverarbeitung und Reizweiterleitung

<b>Riechbahn</b>	Filia olfactoria	Axone der Riechzellen
	Nervus olfactorius	
	Glomeruli im Bulbus olfactorius	Umschaltstation; Ein Glomeruli ist jeweils spezifisch für einen Rezeptortyp/Duftstoff
	Mitralzelle	in den Glomeruli wurden mehrere Fasern zu einer Mitralzelle konvergiert



	Tractus olfactorius	Axone der Mitralzellen
<b>Riechhirn/ primärer olfaktorischer Kortex</b>	Tuberculum olfactorium	
	Areale der Amygdala	
	präpiriformer Kortex	Verbindung zur Formatio reticularis --> Gerüche führen zu Aktivierung
<b>limbisches System</b>		emotionale Bewertung
<b>Hypothalamus</b>		Anregung des Appetits
<b>Hippocampus</b>		Verbindung zum Gedächtnis
<b>Thalamus</b>		
<b>Neokortex</b>	orbifrontaler Kortex & Insel	bewusste Wahrnehmung & Bewertung eines Geruchs

#### 4.4 Schmecken

adäquater Reiz: wasserlösliche Moleküle (werden im Speichel gelöst)

4 unterscheidbare Geschmacksqualitäten: süß, salzig, sauer, bitter (lt. Japaner auch „umami“ --> eiweißartiger Geschmack)

Die Konzentration der Geschmacksmoleküle bestimmt die Intensität des Geschmacks.

Geschmacksknospen - als sekundäre Sinneszellen - befinden sich innerhalb von Papillen die auf der Zunge, am weichen Gaumen oder aber am Speiseröhreneingang sitzen.

<b>Geschmacks knospen</b>	gustatorische Sensoren	nehmen Geschmackseindrücke auf
	Porus	Öffnung an der Oberseite --> Speichel erreicht die Sinneszellen
	Mikrovilli	am oberen Ende der Knospe, ragen in den Porus hinein --> hier befinden sich Geschmacksrezeptormoleküle

#### 4.4.2 Reizverarbeitung und Reizweiterleitung

Mehrere Sinneszellen (meist mehrere Geschmacksknospen) werden von einem afferenten Nerv versorgt. Ein ableitendes Neuron weist ein Geschmacksprofil mit einer jeweiligen Empfindlichkeit für die 4 Geschmacksqualitäten aus.

Die Zusammenführung der Information aus den verschiedenen Nervenfasern, erlaubt eine Beurteilung und Interpretation des Geschmacks.

<b>Geschmacksbahn</b>	Nervus glossopharyngeus	versorgt das hintere drittel
	Nervus facialis	versorgt die Zungenspitze
	Nervus vagus	Schlundbereich
<b>Medulla oblongata</b>	Nucleus tractus solitarii	Umschaltung auf das 2. Neuron der Geschmacksbahn; Weiterleitung an viszeromotorische/ sekretorische Kerne
<b>Hypothalamus, Thalamus, limbisches System</b>		die gleichen Bereiche wie die der olfaktorischen Afferenzen

Über den Thalamus erreichen die gustatorischen Informationen die primäre Geschmacksrinde --> befindet sich neben den Projektionsfeldern der Mundhöhle im sensorischen Kortex --> ausdifferenzierte Wahrnehmung von Geschmacksnuancen.

## 4.5 Gleichgewicht und Bewegung

adäquater Reiz: Schwerkraft und Drehmoment

### 4.5.1 Vestibularorgan und Haarzellen

<b>Aufbau</b>	2 Makulaorgane	mit Endolymphe gefüllt; Sacculus & Utriculus Erfassen Infos über Lage und Lageveränderung
	3 Bogengänge	mit Perilymphe gefüllt; Reaktion auf Drehbeschleunigung

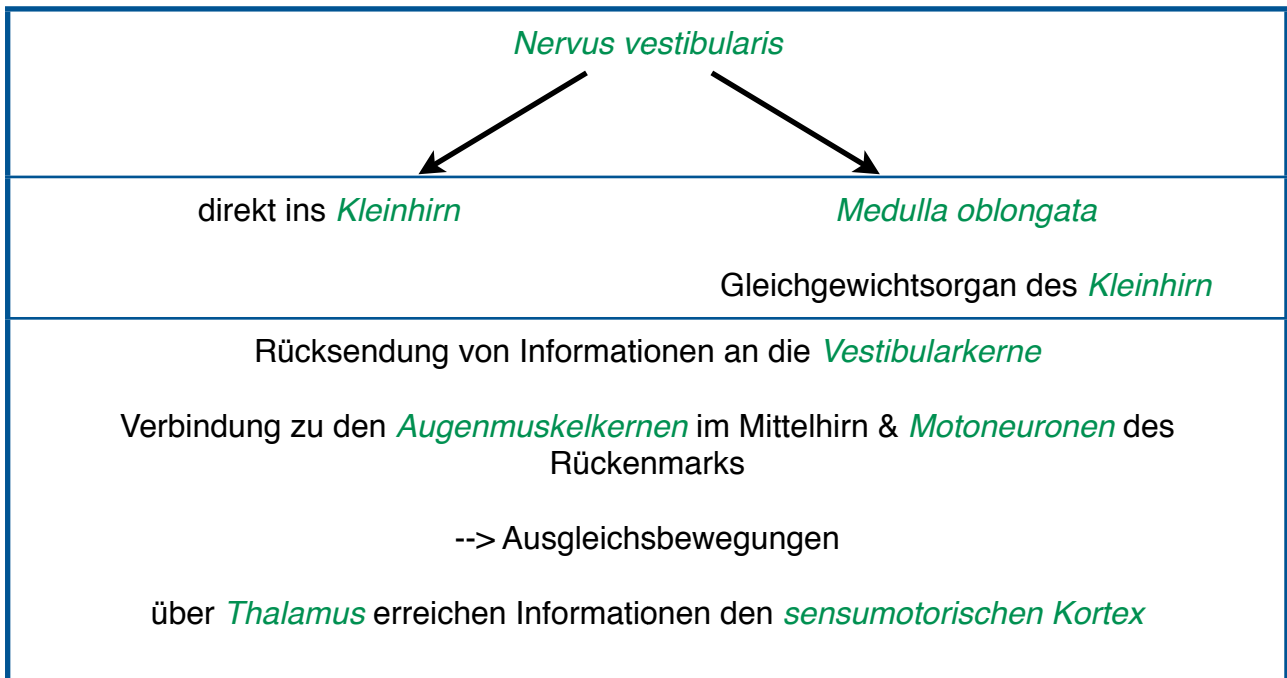
<b>Makulaorgane</b>	Stereozilien	60-100 Sinneshärchen
	Kinozilium	längstes Sinneshärchen
	Otolithenmembran	gallertartige Masse, wird durch Kalkkristalle beschwert
bei aufrechter Kopfhaltung	Sacculus	ungefähr senkrechte Stellung --> ständige Reizung der Haarzellen
	Utriculus	nahezug waagrecht

<b>Bogengänge</b>	Stereozilien	ragen in gallertartige Masse hinein
	Cupula	Masse der Bogengänge; unbeschwert
	vorder, hinterer und seitlicher Bogengang	

Durch Lageveränderung bzw. Drehbeschleunigung bewegen sich die jeweiligen Stereozilien mit, die jeweilige Flüssigkeit ist jedoch träger und bleibt zurück und „bremst“ die Stereozilien aus. Über die so entstandene Lage wird das Hirn informiert.

#### 4.5.2 Reizweiterleitung und Reizverarbeitung

Die Stereozilien sind sekundäre Sinneszellen, die eine Aktivierung des Nervus vestibularis erzeugen.



#### 4.6 Hautsinne

<b>Hautarten</b>	behaarte Haut	bedeckt den größten Teil des Körpers mit zum Teil sehr dünnen Haaren
	unbehaarte Haut	Handflächen, Fingerspitzen, Fußsohlen, Genitalien

<b>Funktionen</b>	Mechanorezeptoren	nehmen verschiedene Arten taktiler Reize auf, primäre Sinneszelle
	Thermorezeptoren	Temperaturänderung
	Schmerzrezeptoren/ Nozizeptoren	noxische, potentiell gewebsschädigende Reize; freie Nervenendigung

<b>Mechanosensoren</b>	Freie Nervenendigung	dünne, unmyelinisierten Enden von afferenten myelinisierten Nervenfasern. Ragen in die Haut hinein. Können Schaft der Haarwurzeln umwickeln. --> <i>Berührungssensor</i>
	Merkel Tastzellen	Ende des Nervis oval, hohe Druckempfindlichkeit (langsam)
	Meissner Tastkörperchen	lamellenförmiger Aufbau, Reaktion auf Geschwindigkeit der Verformung. Schnelle Adaption
	Vater-Pacini-Lammellenkörperchen	lamellenförmige Struktur; Druck-/Vibrationsempfindlichkeit
	Ruffini-Körperchen	spindelförmig, Dehnungsempfindlich (langsam, Spontanaktivität auch ohne Reizung)

Meissner Tastkörperchen und Merkel Tastzellen weisen recht kleine rezeptive Felder auf --> in großer Zahl an den Fingerspitzen.  
--> Größe des rezeptiven Feldes wird durch die Zweipunktschwelle erfasst.

<b>Thermosensoren</b>	Kaltsensoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- großteils unmyelinisiert</li> <li>- Langsame Spontanaktivität steigt schnell an bei Abkühlung</li> <li>- Schnelle Adaption</li> <li>- Empfindlichkeit bis 25°C</li> <li>- 3-5mal mehr als Warmsensoren</li> </ul>
	Warmsensoren	-Empfindlichkeit bis 50°C

Je schneller sich die Temperatur ändert, desto eher wird die Temperaturveränderung wahrgenommen.

<b>Nozizeptoren</b>	für mechanische Reize	Reaktion auf starken/ schmerzhaften Druck
	Thermonozizeptoren	Hitze ab 45°C
	chemosensible Nz.	bestimmte chem. Substanzen
	polymodale Nz.	sind die meisten Nz., d.h. sie reagieren auf alle 3 oben genannten Arten von Schmerz
	mechanoinsensitive Nz.	reagieren weder auf mechanische, noch auf thermische Reize

**Hyperalgesie:** gesteigerte Schmerzempfindlichkeit, die bei Entzündungen entsteht (durch Anreicherung schmerzauslösender Substanzen). Bei Schmerzen werden auch weitere Gebiete des Kortex einbezogen zur gedächtnismäßigen Verarbeitung und Auslösung komplexer Verhaltensmuster.

<b>Fasern</b>	C-Fasern	langsamleitende & unmyelinisierte Fasern --> zweiter dumpfer, langer Schmerz
	Aδ - Fasern	langsame, schwach myelinisierte Fasern --> erster heller Schmerz

#### 4.6.2 Reizweiterleitung und Reizverarbeitung

