

## 2 – Überblick – Sinnesphysiologie

Die Wahrnehmung unserer Umgebung durch die verschiedenen Sinne ist essentiell um unseren Körper zu steuern und mit unserer Umwelt zu interagieren. In diesem Kapitel lernen Sie, wie sich unsere Wahrnehmung manchmal von den Sinneseindrücken unterscheidet, welche Sinnesmodalitäten wir besitzen und wie diese dann sensorische Informationen aufnehmen und weiter zum Gehirn leiten.

**Lernziele**

Sie kennen...

- ... den Unterschied zwischen Sinneseindrücken und der Wahrnehmung und wissen diese Begriffe anzuwenden und zu erklären
- ... den Grund, weshalb wir visuelle Illusionen erleben können
- ... die Konsequenzen einer gestörten Wahrnehmung und können ein Beispiel erläutern
- ... die verschiedenen Sinnesmodalitäten
- ... den Ablauf der sensorischen Informationsvermittlung
- ... den Begriff ‘Sensoren’, wissen um deren Eigenschaften (z.B. Codierung der Reizstärke, Arbeitsbereich, Schwellen, rezeptive Felder, laterale Hemmung) und können dieses Wissen auf die verschiedenen Sinnesmodalitäten anwenden
- ... die Funktionen des Thalamus

### 2.1 – Sinneseindrücke & Wahrnehmung

#### 2.1.1 – Sinneseindrücke ≠ Wahrnehmung

Was unsere Sinne aufnehmen entspricht nicht exakt dem, was wir wahrnehmen. Der Vorgang, welcher sowohl die Verarbeitung der Reize durch unsere Sinnesorgane und dem ZNS wie auch die Integration dieser Empfindungen mit dem Kontext und unseren Erfahrungen umfasst, wird **Perzeption** genannt. [Abbildung 2.1](#) beschreibt die verschiedenen Schritte, welche die Perzeption beinhaltet.

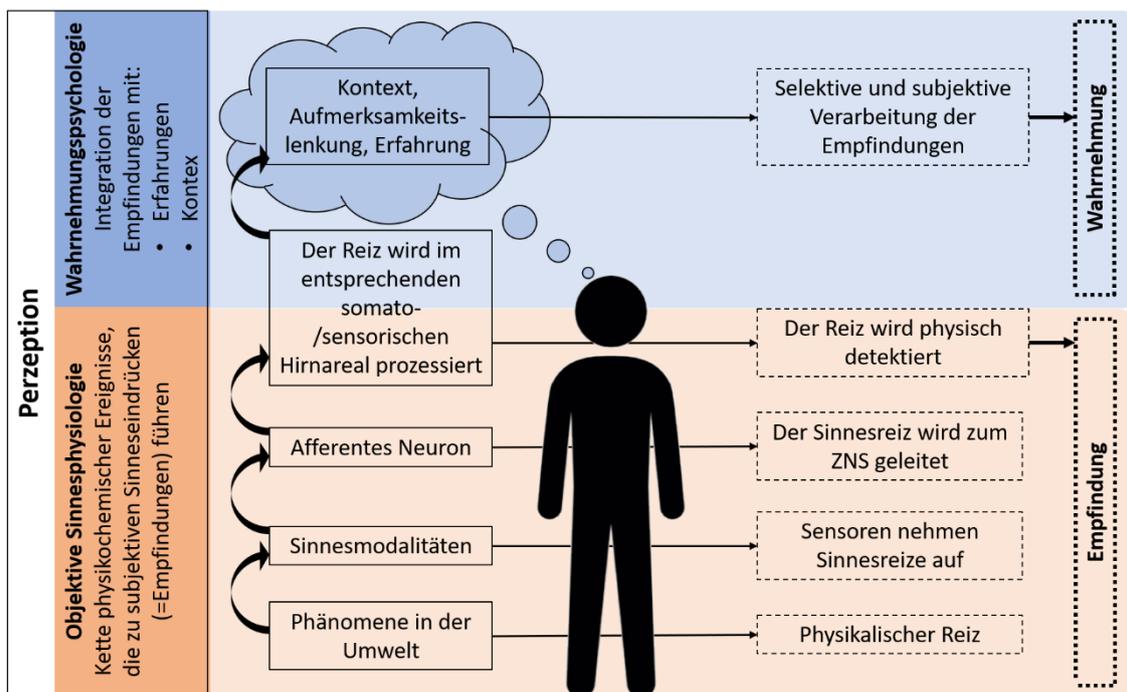


Abbildung 2.1 – Die Perzeption. *Quelle: Eigene Darstellung, 18.11.2018*

2.1.2 – Visuelle Illusionen

Aus [Abbildung 2.1](#) ist ersichtlich, dass unsere Wahrnehmungen subjektiv sind. Visuelle Illusionen veranschaulichen die Wahrnehmungspsychologie auf eine eindrückliche Art.

Aufgrund unserer Erfahrung können wir die dritte Dimension (Tiefe) auch in einem zweidimensionalen Bild wahrnehmen, worauf im folgenden Bild das hintere Smiley grösser wahrgenommen wird als das Vordere, nicht?

⇒ Ziehen Sie den Schieber auf der linken Bildrandseite nach rechts.



Quelle: Eigene Darstellung mit Bildern von: [https://de.wikipedia.org/wiki/Great\\_Northern\\_Highway](https://de.wikipedia.org/wiki/Great_Northern_Highway), 18.11.2018; <https://www.amazon.de/Autoaufkleber-Sticker-Smile-Smiley-Aufkleber/dp/B002I68C4A>, 18.11.2018

Aus Erfahrung wissen wir, dass weiter entfernte Objekte kleiner erscheinen. Entfernt man nun aber die Umgebungsinformationen, auf welchen unsere Interpretation basiert, wird ersichtlich, dass beide Smileys gleich gross sind.

2.1.3 – Was, wenn die Wahrnehmung gestört ist?

Bei einer Schädigung oder Läsion des Cortex, z.B. durch einen Schlaganfall, kann es zu einer gestörten Wahrnehmung kommen ([Abbildung 2.2](#)).

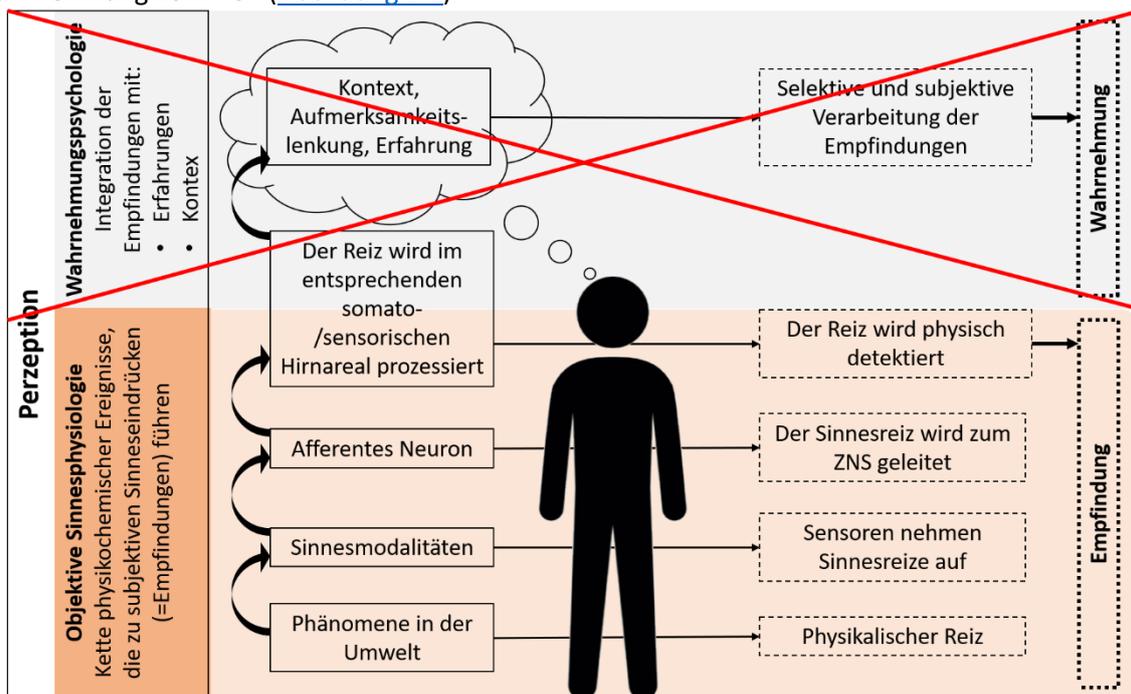


Abbildung 2.2 – Störung der Wahrnehmung. Quelle: Eigene Darstellung, 18.11.2018

## Agnosie

Agnosie beschreibt eine gestörte Wahrnehmung, trotz intakter Sinneseindrücke. Dabei gibt es verschiedene Arten von Agnosie, je nach betroffenem Hirnareal.

## Prosopagnosie

Personen, welche keine Gesichter erkennen können, leiden unter Gesichtsblindheit oder 'Prosopagnosie'. Dies ist der Fall, wenn die Gebiete der Grosshirnrinde beschädigt sind, welche dafür zuständig sind, Gesichter zu erkennen und sich zu merken.

Leute mit dieser neurophysiologischen Störung nehmen sich andere Erkennungsmerkmale zu Hilfe, um Personen zu erkennen.

Wie man sich ein Leben mit Prosopagnosie vorstellen kann und wie Betroffene damit umgehen, wird in der folgenden Kurz-Dokumentation gezeigt. Schauen Sie sich es bei Interesse an, es ist jedoch nicht Prüfunsrelevant.

<https://youtu.be/bDGTKQAKHKY>

## 2.2 – Die Sinnesmodalitäten

Aufgrund der aktiven Sinnesempfindungen können wir die Sinne gruppieren. In jeder Sinnesmodalität (z.B. Sehen) können verschiedenen Qualitäten unterschieden werden (z.B. Rot- oder Grünsehen). Sehen Sie sich dazu auch nochmals die Begriffe Sensorik, Somatosensorik und Sensomotorik an (Kapitel: [Definitionen](#)).

### 2.2.1 – Die klassischen Sinne

Fünf klassische Sinne können definiert werden:

1. Sehen
2. Hören
3. Schmecken
4. Riechen
5. Fühlen (Tastsinn)

### 2.2.2 – Somatosensorik

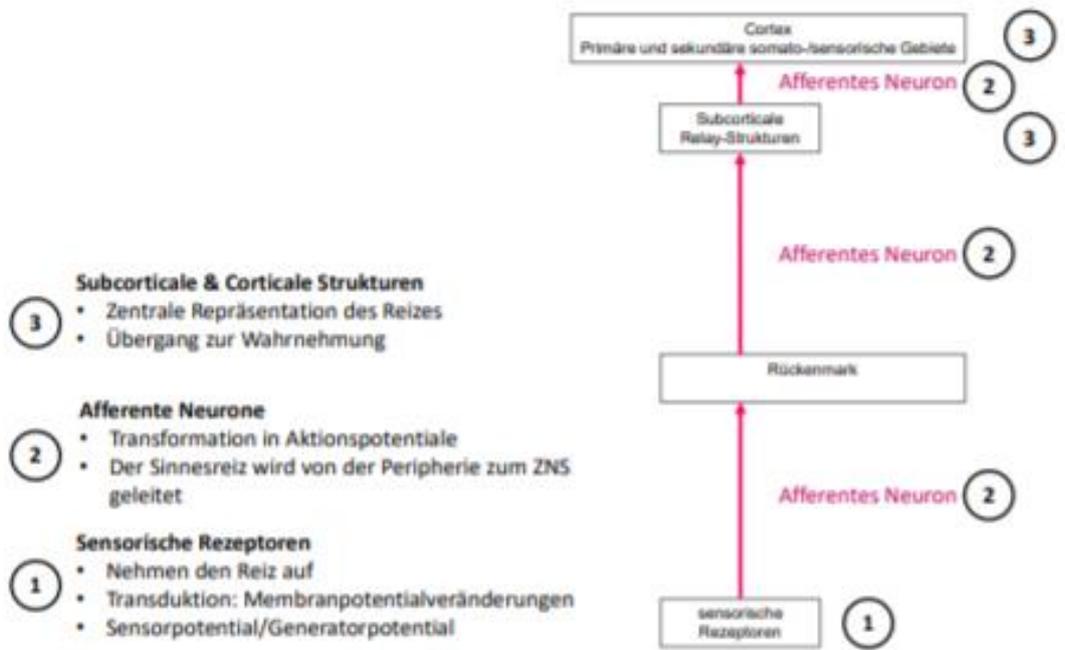
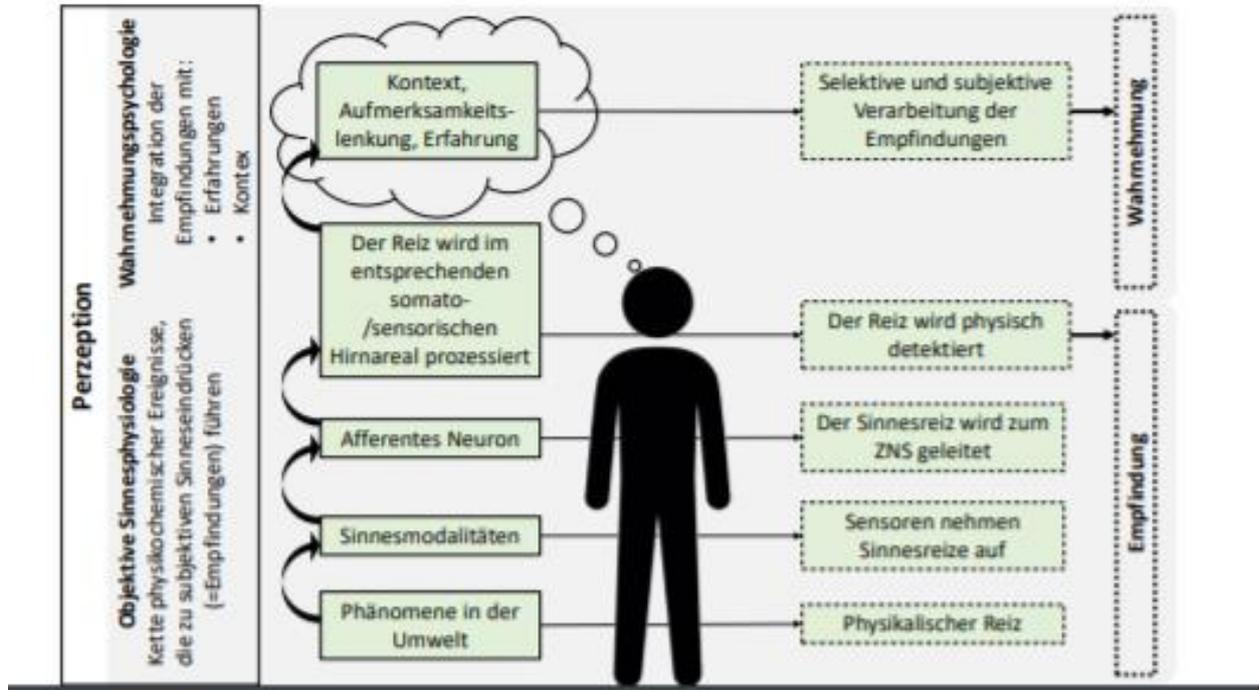
Die Somatosensorik bezieht sich auf die Körperwahrnehmung. Dabei werden folgende weitere Sinne hinzugezogen:

1. Propriozeption (=Wahrnehmung von Körperlage und -bewegung)
2. Mechanozeption (= Wahrnehmung der taktilen Empfindungen)
3. Thermozeption (= Wahrnehmung von Temperatur)
4. Nozizeption (= Wahrnehmung von Schmerz)
5. Viszerozeption (= Wahrnehmung der Eingeweide)

### 2.3 – Sensorische Informationsvermittlung

Die sensorische Informationsvermittlung umfasst alle nötigen Elemente zur Perzeption eines Reizes (Synonym: ‘Stimulus’). Sie startet beim sensorischen Rezeptor und endet im Cortex. Dabei werden die Reize der contralateralen Seite in einer Hälfte des Cortex erfasst, d.h. die rechte Cortexseite nimmt Reize der linken Körperhälfte wahr und umgekehrt.

⇒ *Schauen Sie sich das folgende interaktive Video an*

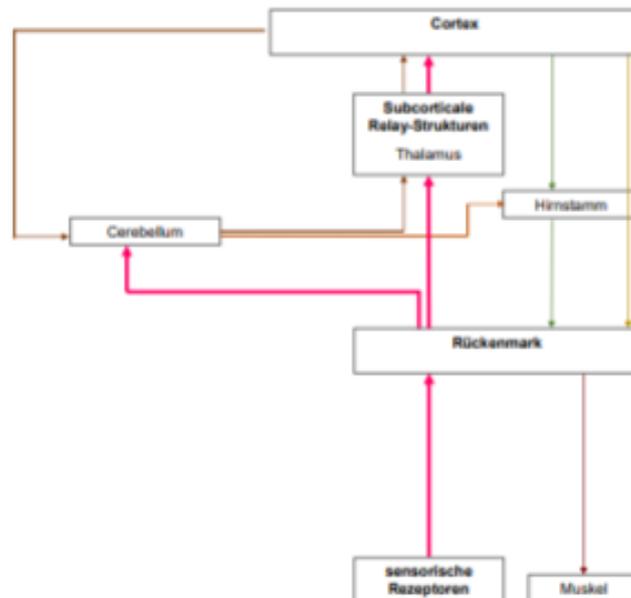


**Zusammenspiel von Sensorik und Motorik**  
Es wichtig zu wissen, dass die Sensorik und Motorik einander ergänzen, damit wir optimal mit unserer Umgebung interagieren können.

Dabei wirkt der Thalamus als Relay-Station für die Sensorik wie auch Motorik.

Mit dieser Darstellung werden wir in der Motorik häufig arbeiten. Die einzelnen Systeme werden Sie dort detaillierter kennenlernen.

Wichtig ist zu sehen, dass die Sensorik die Motorik beeinflusst, wie auch umgekehrt.



Hier können Sie die wichtigsten Informationen als PDF herunterladen:

[Sensorische Informationsvermittlung\\_download](#)

### 2.3.1 – Was sind ‘Sensoren’?

Sensorische Rezeptoren sind spezialisierte Zellen, welche die physikalische Reize aus der Umgebung aufnehmen und diese in physiologische Signale umwandeln können (Transduktion), welche schlussendlich in der Form von Aktionspotentialen zum ZNS transportiert werden können.

#### Sensorische Rezeptoren

Verschiedene Begriffe werden in der Literatur für sensorische Rezeptoren verwendet. In der Sinnesphysiologie wurde traditionellerweise der Begriff ‘Rezeptor’ verwendet. Doch da dieser Begriff zunehmend auch in der Molekularbiologie verwendet wird für Molekülkomplexe und Proteine an der Zelloberfläche, ist der Begriff ‘Sensor’ immer häufiger in der Sinnesphysiologie anzutreffen.

Folgende Begriffe sind somit (zumindest in diesem Skript) als Synonyme anzusehen:

- (sensorischer) Rezeptor
- Sensor
- Sinneszelle

Es können verschiedene Typen von Sinneszellen unterschieden werden ([Abbildung 2.3](#)):

#### Die primären Sinneszellen

Diese Sinneszellen sind zugleich Sensor und Neuron, d.h. die Sinneszelle selbst besitzt ein Axon und kann durch Transformation Aktionspotentiale generieren. Dazu gehören auch die in der [Abbildung 2.3](#) genannten ‘Sinnesnervenzellen’.

#### Die sekundären Sinneszellen

Die sekundären Sinneszellen generieren selbst keine Aktionspotentiale. Sie haben eine Synapse mit dem ersten afferenten Neuron, welches den Reiz weiterleitet.

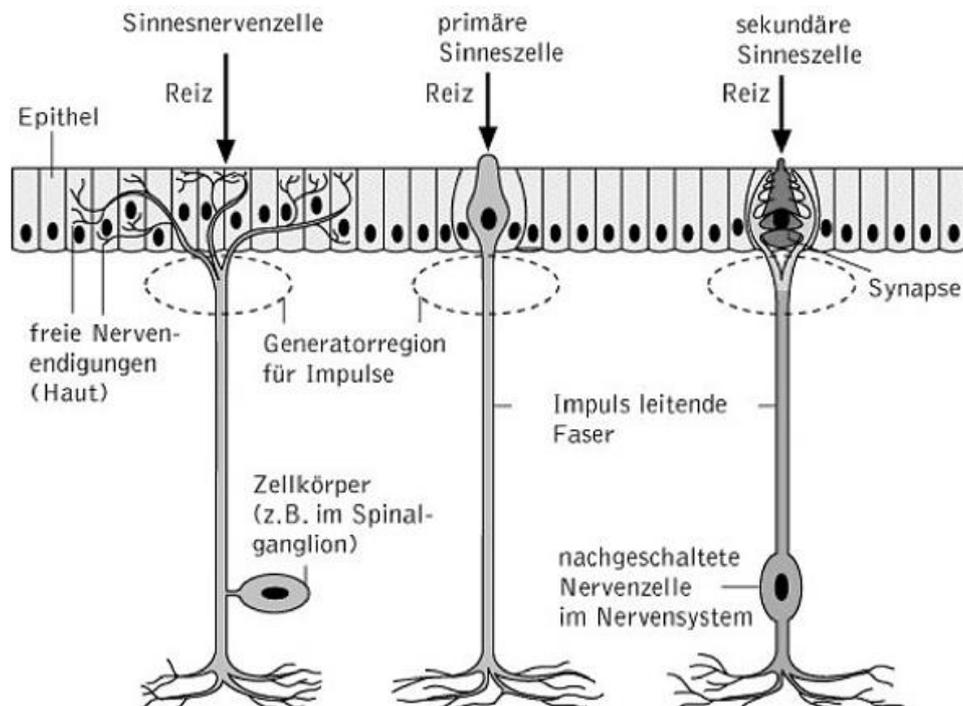


Abbildung 2.3 – Die verschiedenen Arten von Sinneszellen.

Quelle: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/sinneszellen/10840>, 26.11.2018

### 2.3.2 – Eigenschaften von Sensoren

Sensorische Rezeptoren aller Sinne haben einige Gemeinsamkeiten, auch wenn die Rezeptoren und Reize sehr spezifisch für jedes Sinnesorgan sind.

#### Adäquater Reiz

Sensoren sind sehr spezifisch für einen Reiz. Ein adäquater Reiz, ist ein Reiz, welcher minimale Energie benötigt um die Rezeptoren eines bestimmten Sinnesorgans zu erregen. Folgende interaktive Aufgabe sollte dies am Besten erklären:

Ziehen Sie die Sinne von der linken Seite zum entsprechenden adäquaten Reiz

Hören

Sehen

Licht-  
veränderung

Schallwellen

✓ Check

### 2.3.2.1 – Codierung der Reizstärke

Damit ein physikalischer Reiz wahrgenommen wird, muss seine Reizstärke, d.h. die Energie des Stimulus, genügend gross sein, damit das Membranpotential der Rezeptorzelle die Erregungsschwelle überschreitet und ein Aktionspotential ausgelöst wird ([Abbildung 2.4](#)).

Dabei wird die Grösse des Reizes in der Sinneszelle anders codiert als bei der Reizweiterleitung. In der Sinneszelle entspricht das Generatorpotential (Synonym: Sensorpotential) der Reizgrösse. Dieses widerspiegelt die Membran-Depolarisation. Je grösser der Reiz, desto grösser ist auch die Depolarisation.

Bei der afferenten Weiterleitung ist die Reizgrösse durch die Entladungsfrequenz des Neurons gegeben. Je grösser der Reiz, desto höher ist die Frequenz der Aktionspotentiale.

In [Abbildung 2.4](#) sind drei unterschiedlich starke Reize dargestellt:

1. Die Energie des ersten Reizes ist zu klein und das Membranpotential überschreitet die Erregungsschwelle nicht. Somit wird kein Signal zum ZNS gesendet.
2. Der zweite Reiz ist gerade stark genug, um eine Empfindung auszulösen.
3. Die Intensität des dritten Reizes ist gross und der Reiz löst mehrere Aktionspotentiale mit hoher Frequenz aus. Dies führt zu einer starken Empfindung des Reizes.

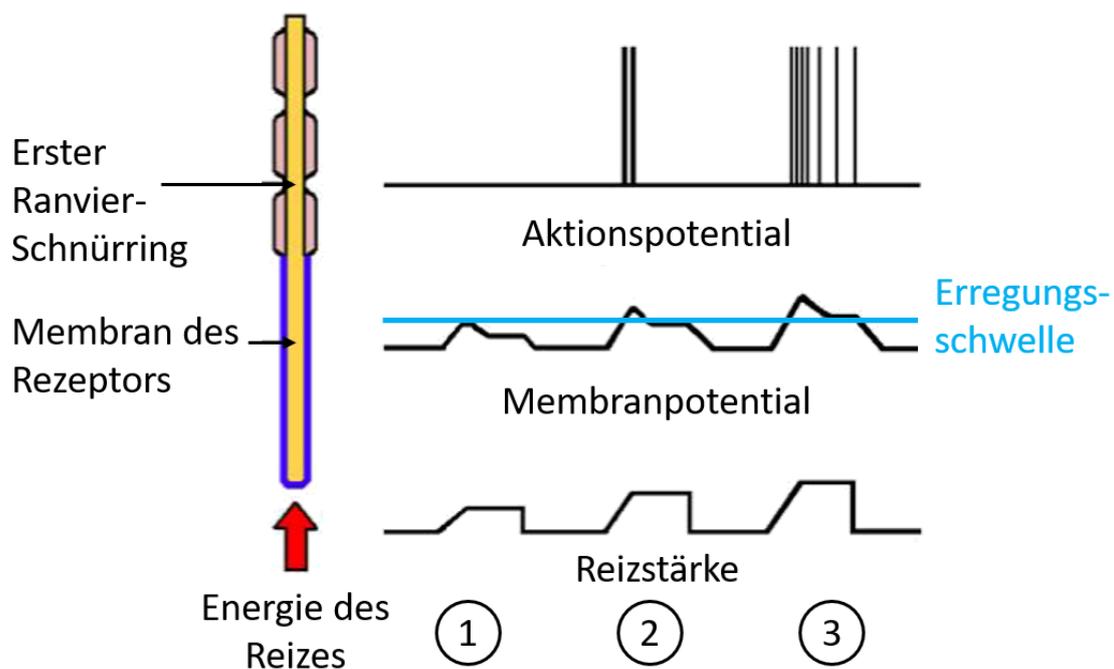


Abbildung 2.4 – Einfluss der Reizstärke auf einen sensorischen Rezeptor. *Quelle: Adaptiert von <http://www.d.umn.edu/~jfitzake/Lectures/DMED/SensoryPhysiology/GeneralPrinciples/ReceptorPotential.html>, 20.11.2018*

### 2.3.2.2 – Empfindlichkeits-/Arbeitsbereich von Sinneszellen

Jede Sinneszelle besitzt einen spezifischen Empfindlichkeits- resp. Arbeitsbereich, in welchem der Sensor optimal arbeitet ([Abbildung 2.5](#)). D.h. ist der Reiz zu klein, wird die Erregungsschwelle nicht überschritten und es werden keine Aktionspotentiale ausgelöst. Ist der Reiz jedoch extrem gross, so wird die Frequenz der Aktionspotentiale nicht grösser sein, als bei einem 'nur' grossen Reiz. Ist die Feuerfrequenz maximal, so kann sie auch bei grösserem Reiz nicht mehr zunehmen.

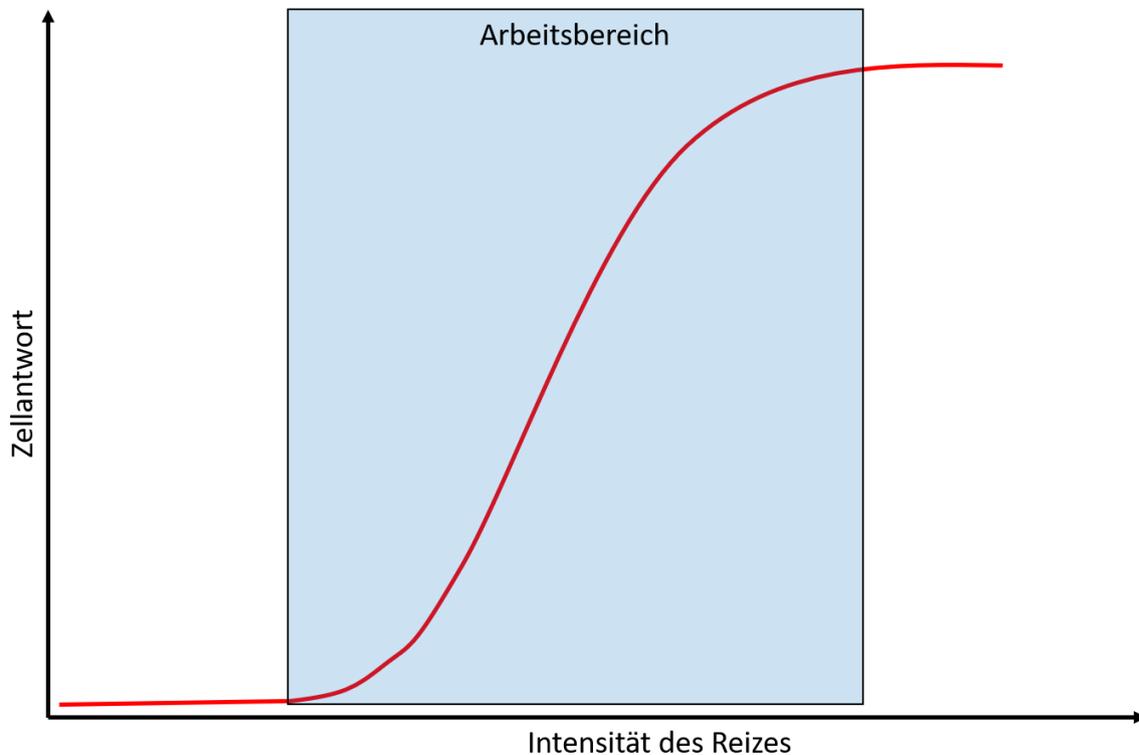


Abbildung 2.5 – Der Arbeitsbereich einer Sinneszelle. *Quelle: Eigene Darstellung, 26.11.2018*

### 2.3.2.3 – Psychophysik

Die Psychophysik ist ein Forschungsgebiet, welches die gesetzmässigen Wechselbeziehungen zwischen subjektiver Wahrnehmung und quantitativ messbaren physischen Grössen untersucht. Dabei werden verschiedene sensorische Schwellen unterschieden:

#### Reiz-/Absolutschwelle

Die Reiz- oder Absolutschwelle beschreibt die minimale Reizintensität, welche gerade noch eine Empfindung auslöst.

## Unterschiedsschwelle

Die Unterschiedsschwelle beschreibt den Reizzuwachs, welcher nötig ist, um eine merklich stärkere Empfindung auszulösen.

### Webersches Gesetz (Englisch: 'Webers Law')

Der Zusammenhang zwischen der Reizgrösse und der Unterschiedsschwelle wird mit dem Weberschen Gesetz beschrieben:

Das Webersche Gesetz sagt aus, dass der kleinste wahrnehmbare Unterschied zwischen zwei Reizen proportional zu der Grösse des Reizes ist. Dieses Verhältnis wird mit dem Weber-Quotienten "c" ausgedrückt, welcher auch zum Testen der Empfindlichkeit eines Sinnes genutzt wird:

$$c = \Delta\varphi / \varphi$$

wobei:

$c$  = Weber-Quotient

$\Delta\varphi$  = Unterschied in der Reizgrösse

$\varphi$  = kleinere Reizgrösse

Für Reize oberhalb der Reizschwelle ist der Weber-Quotient bei gesunden Menschen eine Konstante von 3% (d.h. 0.03 in der Formel). Dies bedeutet, dass 3% Unterschied vorliegen muss zwischen dem Referenzgewicht und dem Vergleichsgewicht, damit ein Unterschied spürbar ist.

⇒ Ziehen Sie für jede Situation das entsprechende Symbol (Gutzeichen oder Kreuz) hin, je nachdem, ob gemäss Weberschem Gesetz der Reizunterschied wahrnehmbar ist, oder nicht.

1.0 kg      1.03 kg       $\Delta=0.03$  kg

10.0 kg      10.03 kg       $\Delta=0.03$  kg

10.0 kg      10.3 kg       $\Delta=0.3$  kg

✓

✗

↔

Check

⇒ *Beantworten Sie die folgende Multiple-Choice Frage, um zu überprüfen, ob Sie die Absolut- von der Unterschiedsschwelle unterscheiden können*

Welches sind Beispiele für eine Absolutschwelle?

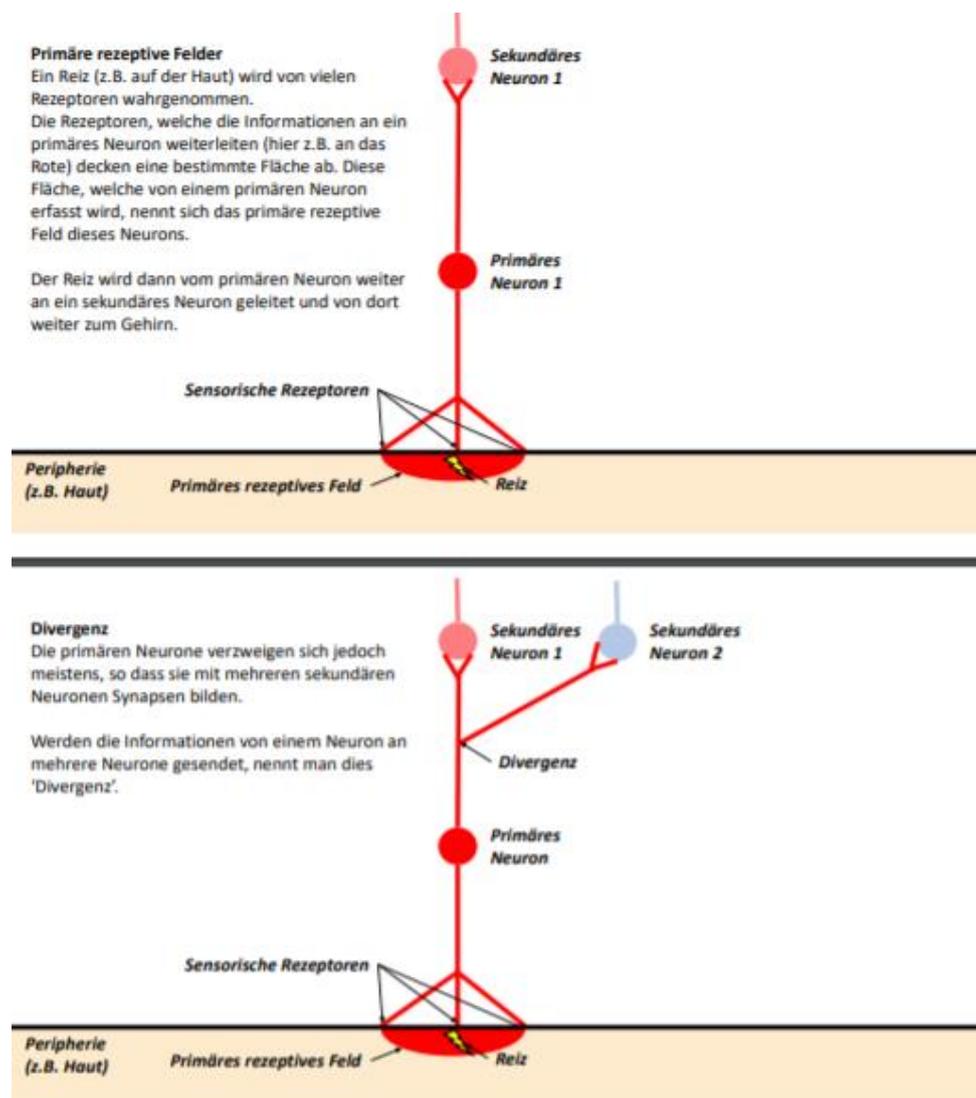
- Beim Tee trinken - es stehen zwei Tassen auf dem Tisch:  
"Ich habe vergessen, in welche ich mehr Honig getan habe. Was meinen Sie?"
- Beim Ohrenarzt:  
"Heben Sie die Hand, sobald sie den Ton hören"
- Im Krafttraining - Sie haben in jeder Hand eine Hantel:  
"Sind beide Gewichte gleich schwer?"
- In der Natur:  
"Es riecht nach Rauch, finden Sie nicht auch?"

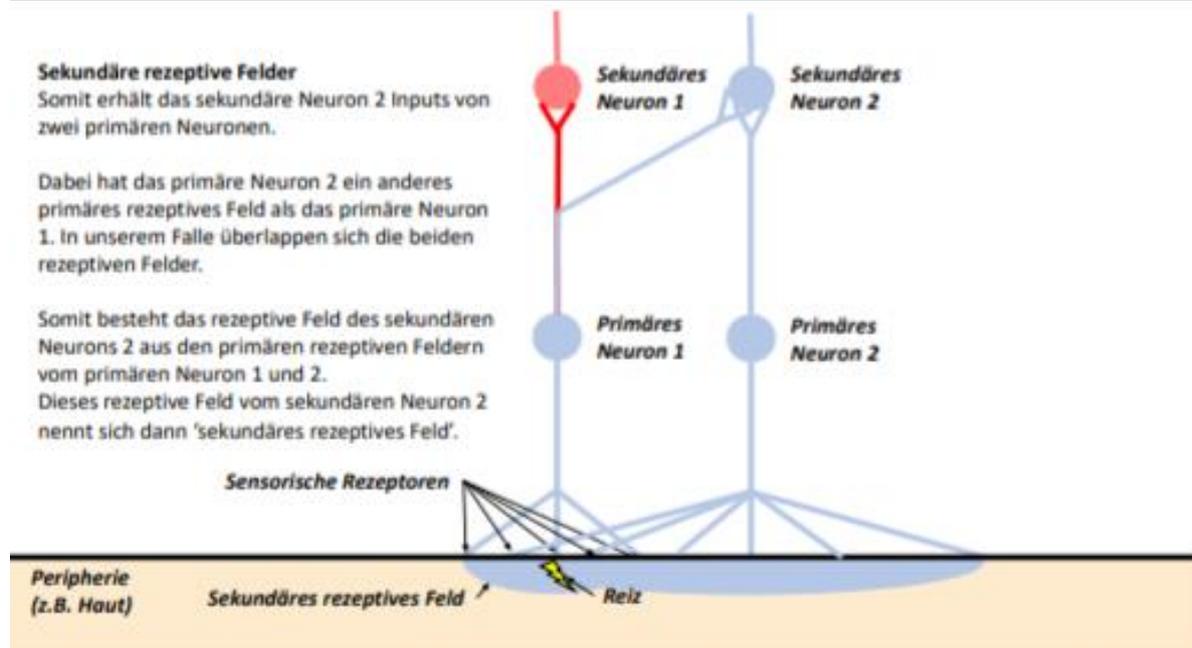
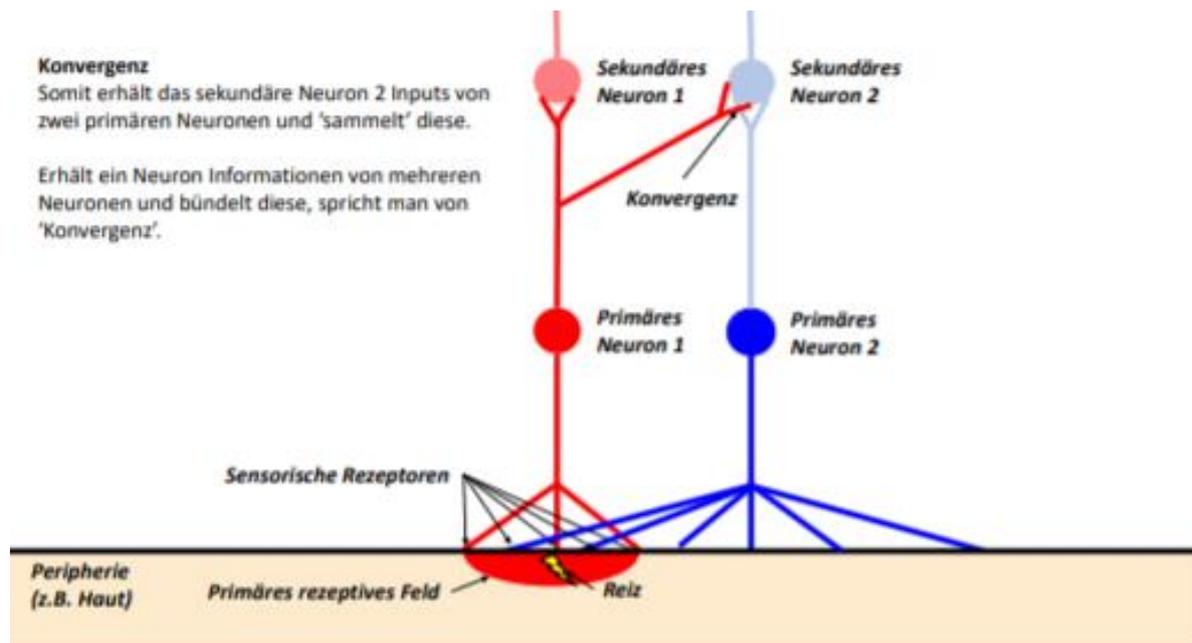
Check

### 2.3.2.4 – Rezeptive Felder von Sensoren

Jede Sinneszelle besitzt ein rezeptives Feld, d.h. ein Gebiet, in welchem Reize an ein einziges nachgeschaltetes Neuron weitergeleitet werden.

⇒ *Schauen Sie das folgende interaktive Video, um mehr über die rezeptiven Felder von Sensoren zu erfahren*





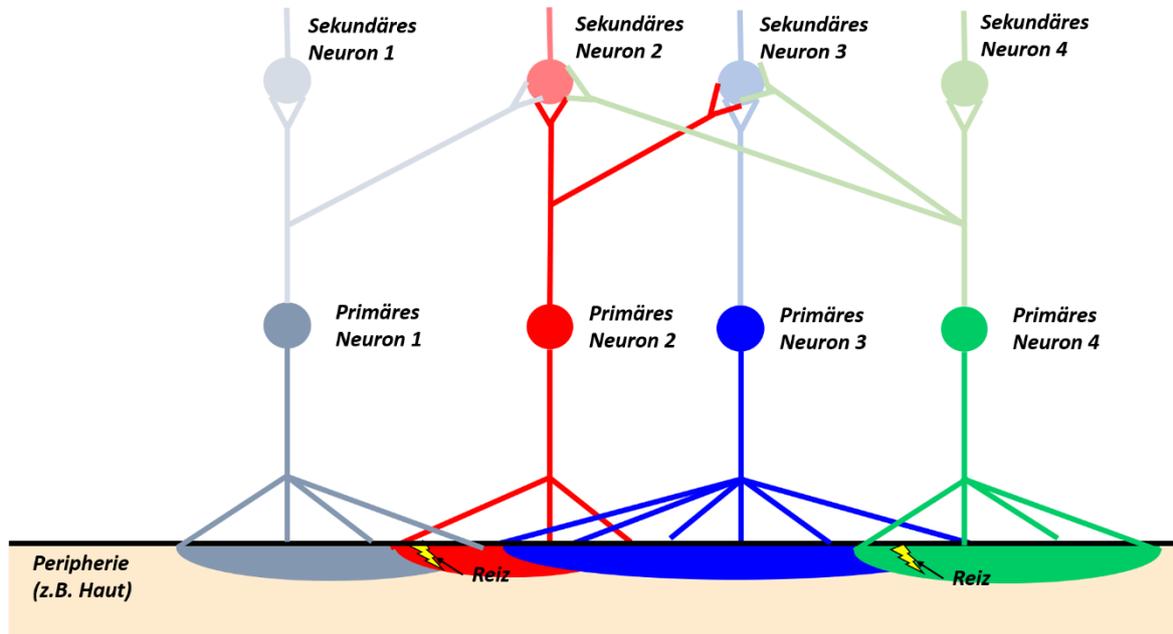
Hier können Sie die wichtigsten Punkte als PDF herunterladen:

[interaktivesVideo\\_RezeptiveFelder\\_download](#)

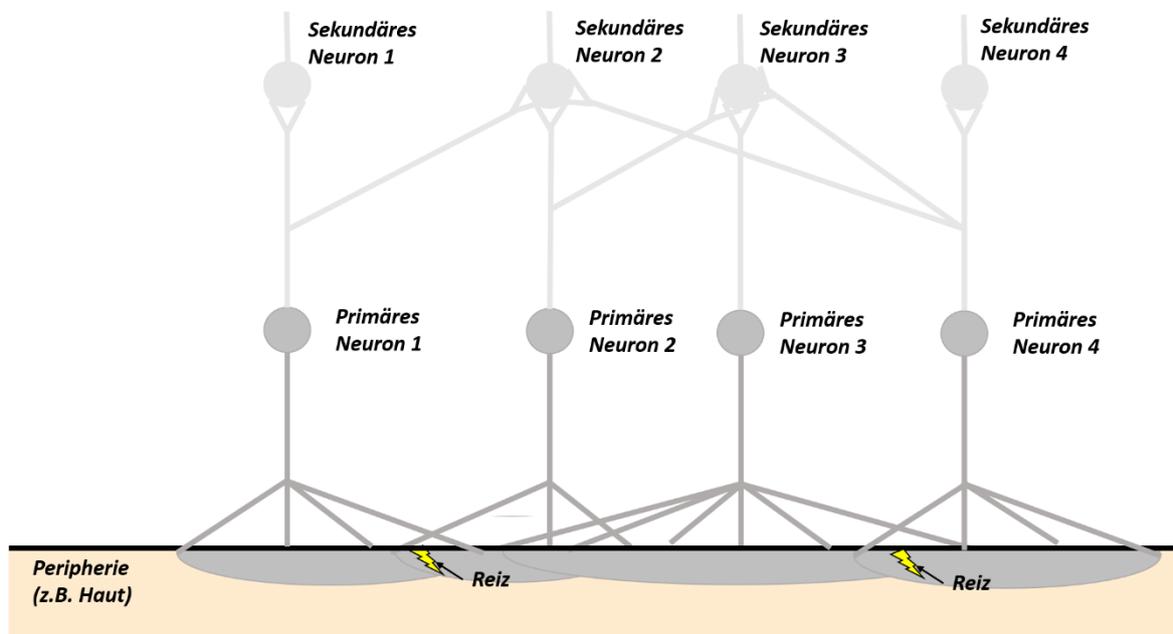
### 2.3.2.5 – Laterale Hemmung

Ein wichtiges Prinzip bei der Empfindung von Reizen ist die laterale Hemmung.

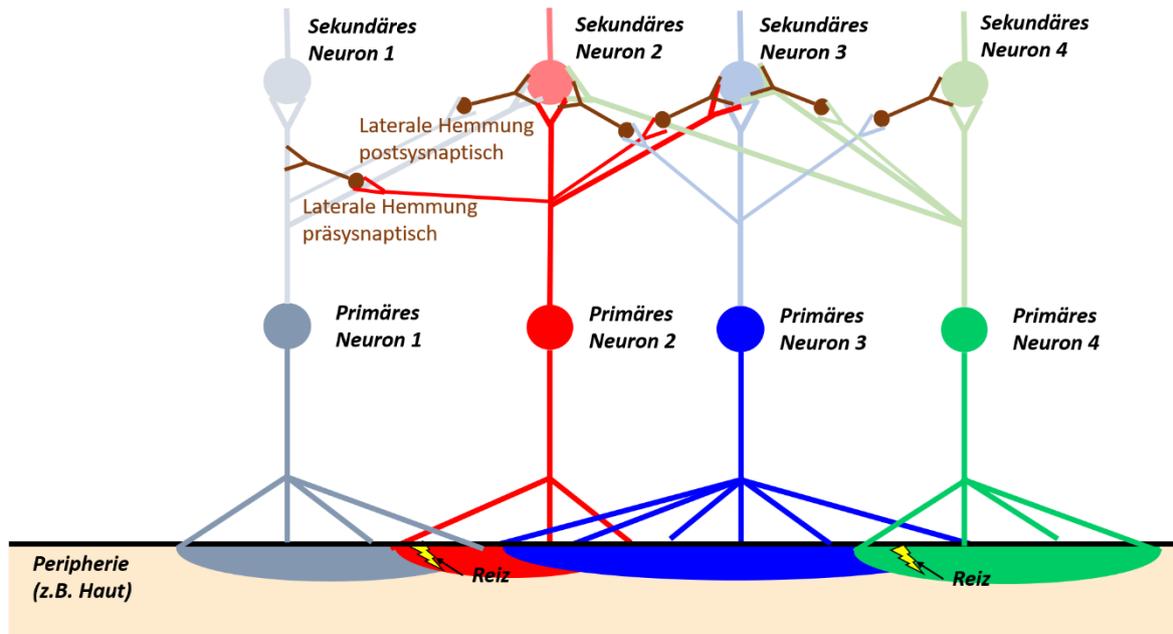
⇒ *Schieben Sie den Regler unten nach rechts um zwischen den verschiedenen Bildern zu wechseln. Lesen Sie dazu den dazugehörigen Text.*



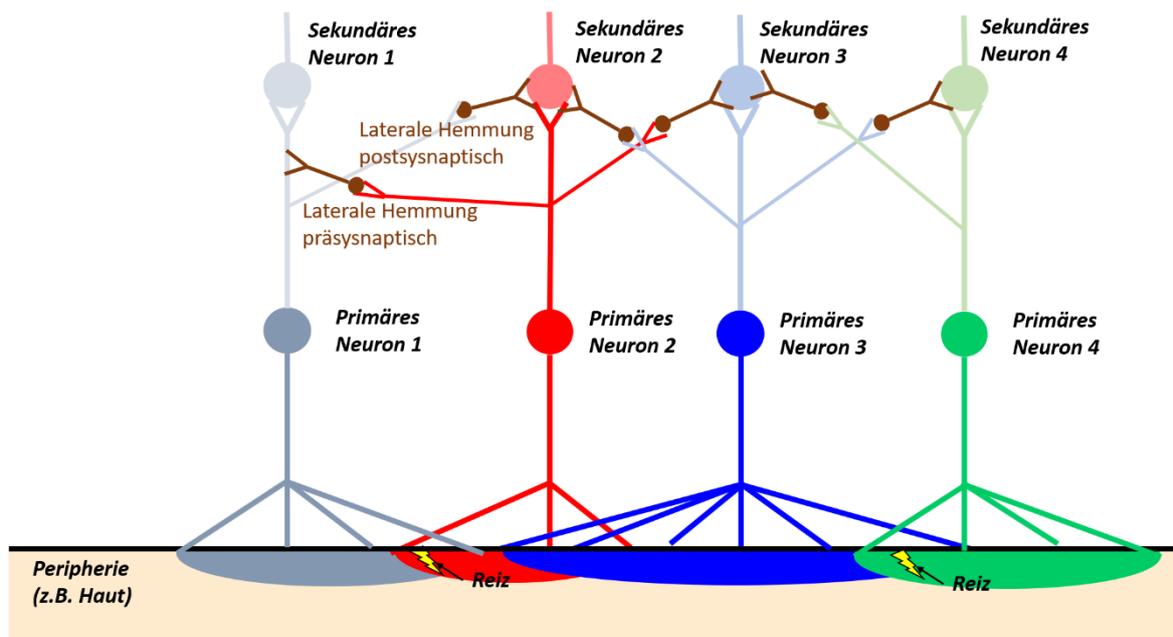
Zwei Reize werden appliziert. Die Reize werden von den sensorischen Rezeptoren aufgenommen und an das primäre Neuron weitergeleitet.



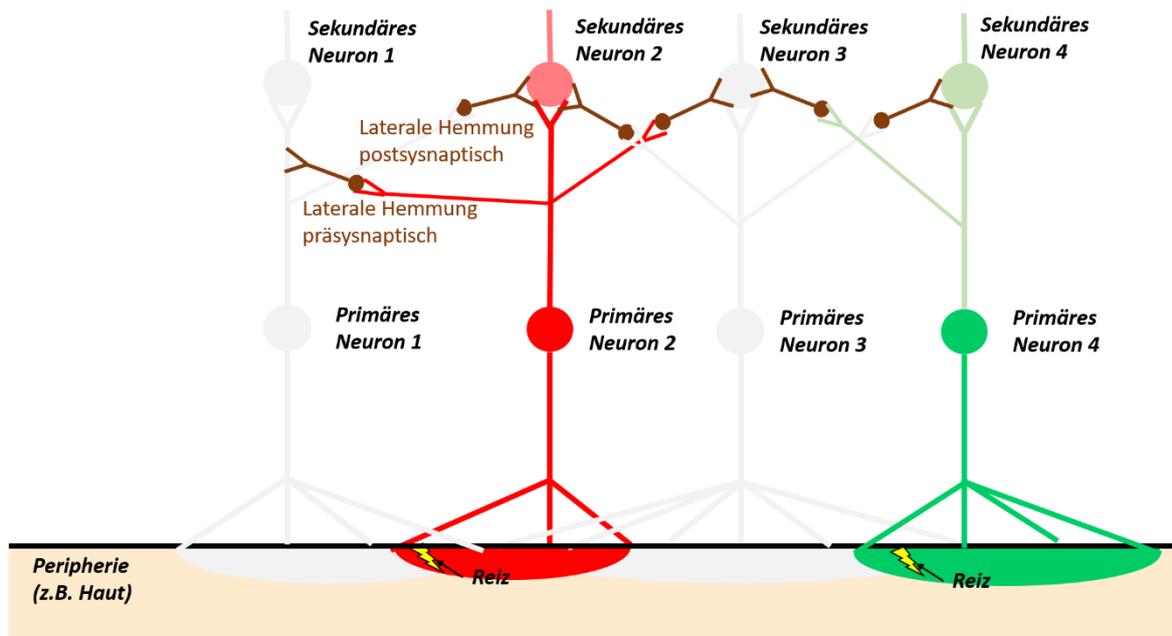
Durch die Überlappung der primären rezeptiven Felder sowie der Konvergenz, werden alle vier primären rezeptiven Felder als ein grosses sekundäres rezeptives Feld empfunden. Somit werden beide Reize als ein Reiz wahrgenommen, obwohl es eigentlich zwei Reize sind.



Hier kommt die laterale Hemmung ins Spiel.



Sowohl bei den primären wie auch bei den sekundären Neuronen (hier nur bei den sekundären Neuronen gezeigt) , gibt es inhibierende Interneurone. Dies führt dazu, dass jedes primäre/sekundäre Neuron seine Nachbars-Neurone hemmt. Dies nennt man laterale Hemmung.



Die Divergenz bleibt natürlich bestehen - aber zur Übersicht, werden sie hier ausgeblendet. Die laterale Hemmung erlaubt, dass die beiden Reize einzeln wahrgenommen werden.

Hier können Sie die wichtigsten Punkte (jedoch ohne Text) downloaden:

[laterale Hemmung\\_download](#)

In allen Sinnesmodalitäten spielt die laterale Hemmung eine wichtige Rolle – welche ist diese?

Wozu dient die laterale Hemmung in der Sinnesphysiologie?



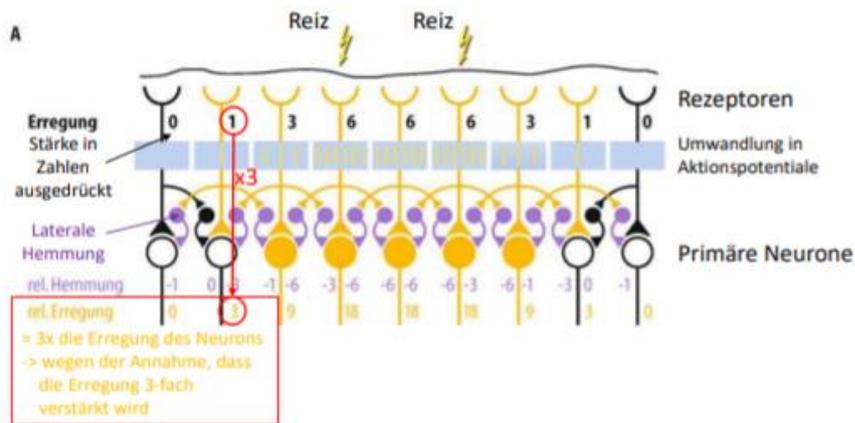
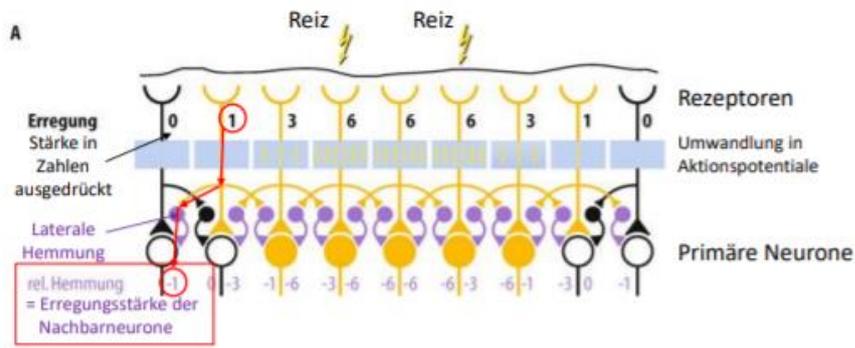
Zum Ausgleichen der Divergenz

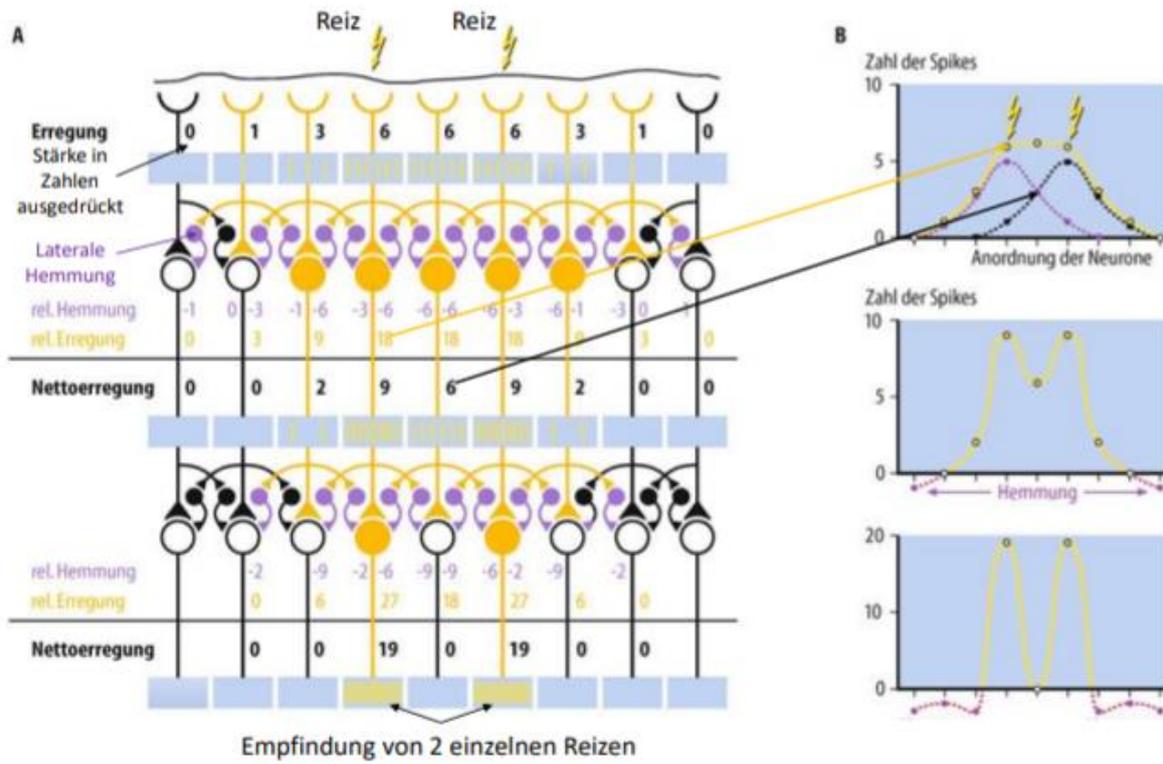
Zur Vergrößerung der primären rezeptiven Felder

Zur Unterstützung der Konvergenz

Zur Verbesserung des Kontrasts.

Ein etwas komplexeres Beispiel, wie man sich die laterale Hemmung auch mathematisch begründen kann, finden Sie im folgenden interaktiven Video. Dabei geht man davon aus, dass auf jeder Stufe die Erregungen dreifach verstärkt werden, während Hemmungen nicht verstärkt werden (ansonsten würden wir ja keine Erregung mehr wahrnehmen, weil sie total gehemmt würden).





Hier können Sie die wichtigsten Punkte als PDF herunterladen:

[interaktivesVideo](#) [lateraleHemmung](#) [download](#)

## 2.4 – Die Rolle des Thalamus

Der Thalamus ([Abbildung 2.6](#)) spielt sowohl in der Sensorik wie auch in der Motorik eine wichtige Rolle als 'Relay Station', d.h. als 'Verschaltungsort' von sensorischen und motorischen Informationen zur Grosshirnrinde.



Abbildung 2.6 – Die Lokalisation des Thalamus (orange) im menschlichen Gehirn. *Quelle:* <https://www.aerzteblatt.de/nachrichten/83592/Thalamus-fuer-das-Lernen-vielleicht-wichtiger-als-gedacht>, 10.12.2018

Ausser einer Sinnesmodalität werden Alle über den Thalamus an das jeweilige Gebiet im Cortex geleitet. Auch wenn Sie das Kapitel bisher noch nicht hatten – raten Sie mal, welche Sinnesmodalität die Ausnahme ist:

Welche Sinnesmodalität wird NICHT über den Thalamus zur Grosshirnrinde geleitet?

Sehen

Tastsinn

Geschmack

Geruch

Nebst den spezifischen Projektionen des Thalamus (z.B. motorisch, visuell, auditorisch, somatosensorisch) zu den spezifischen Gebieten der Grosshirnrinde, gibt es auch viele unspezifische Projektionen, welche vom Thalamus ausgehen. Diese scheinen Einfluss auf den Schlaf-Wach-Zustand, Stimmungswechsel oder Verhaltenserregungen zu haben.

## 2.5 – Die sensorischen und somatosensorischen Gebiete des Cortex

Sensorische und somatosensorische Informationen werden an die jeweiligen Gebiete im Cortex weitergeleitet. Der primäre somatosensorische Cortex ist dabei somatotopisch aufgebaut ([Abbildung 2.7](#)).

### Somatotopie

Liegen benachbarte Körperteile auch in einem Hirnareal nebeneinander, dann nennt man dies eine somatotopische Organisation.

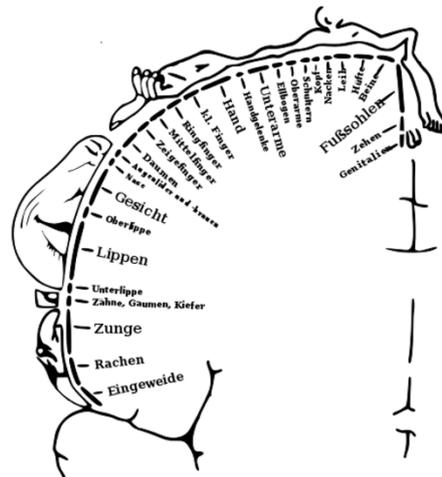


Abbildung 2.7 – Die somatotopische Anordnung im primären somatosensorischen Cortex. *Quelle: <https://scilogs.spektrum.de/graue-substanz/der-homunculus-ein-daumenlutscher/>, 22.12.2018*

Aber nicht nur liegen benachbarte Körperregionen nebeneinander, sie sind auch unterschiedlich stark repräsentiert. Körperteile, welche mehr Informationen erhalten und somit empfindlicher sind, nehmen eine grössere Region im somatosensorischen Cortex ein. Dies ergibt schlussendlich einen sogenannten sensorischen Homunculus (= "kleiner Mensch"), welcher uns ein visuelles Bild gibt, wie der primäre somatosensorische Cortex unseren Körper sieht ([Abbildung 2.8](#)). Wie sie später lernen werden ([Abschnitt 9.1.2.2](#)), gibt es auch einen Homunculus für den primären motorischen Cortex, im Gegensatz zum motorischen ist der sensorische Cortex hingegen präzise in der Repräsentation der Körperteile.



Abbildung 2.8 – Der sensorische Homunculus. *Quelle: Purves et al., Neuroscience (2004), S. 205*