

The background of the slide features a series of horizontal, wavy black lines on a white background, resembling a stylized representation of brain activity or neural patterns. A central white rectangular box with a black border contains the title text.

# Seminar Funktionelle Neuroanatomie

## **Referat:** Schmerz

## **Vortrag:**

- Exkurs: Out-of-Body Experiences
- Phantomschmerzen
- Wiederholung:
  - Spinalnerven & -ganglien
  - somatosensorischer Homunculus
  - Schmerzgedächtnis

## **Gruppenarbeit:**

Ursachen von Phantomschmerzen

## **Propriozeption: Wahrnehmung des eigenen Körpers**

- *Wahrnehmung von Position des Körpers im Raum, Schwere, Spannung, Kraft, Geschwindigkeit*
- *Informationen aus der Haut, dem Vestibularorgan im Ohr und von Propriozeptoren (= Mechanorezeptoren, die Zustand & Zustandsänderungen von Muskeln, Sehnen und Gelenken messen)*

## **Ekterozeption: Wahrnehmung der Umwelt**

- *z.B. Informationen aus der Haut (Temperatur, Vibrationen, Druck, Schmerz), visuelle, auditorische, gustatorische oder olfaktorische Informationen*

## **Interozeption: Wahrnehmung von internen Prozessen**

- *z.B. Messung des Blutdrucks, Level von Sauerstoff, CO<sub>2</sub> und Zucker im Blut sowie Flüssigkeitsbedarf*

## **Propriozeption: Wahrnehmung des eigenen Körpers**

- Wahrnehmung von Position des Körpers im Raum, Schwere, Spannung, Kraft, Geschwindigkeit
- Informationen aus der Haut, dem Vestibularorgan im Ohr und von Propriozeptoren (= Mechanorezeptoren, die Zustand & Zustandsänderungen von Muskeln, Sehnen und Gelenken messen)

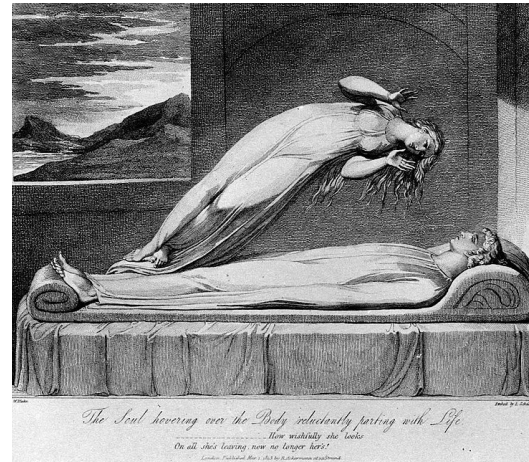
## **Ekterozeption: Wahrnehmung der Umwelt**

- z.B. Informationen aus der Haut (Temperatur, Vibrationen, Druck, Schmerz), visuelle, auditorische, gustatorische oder olfaktorische Informationen

## **Interozeption: Wahrnehmung von internen Prozessen**

- z.B. Messung des Blutdrucks, Level von Sauerstoff, CO<sub>2</sub> und Zucker im Blut sowie Flüssigkeitsbedarf

**Abbildung 1**  
*Illustration eines Gedichts von Robert Blair*



Schiavonetti, 1808

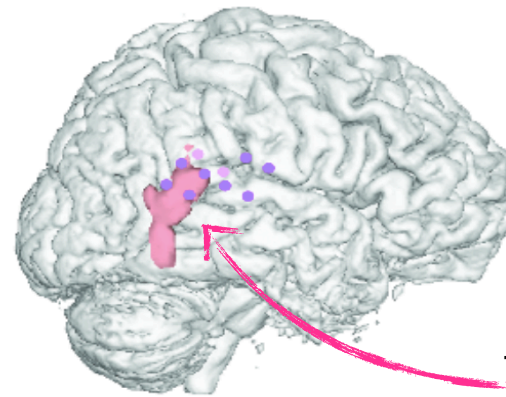
- zeitlich begrenzter **dissoziativer Zustand**
- tritt bei **10% der Menschen mind. 1x** im Leben auf
- 3 Charakteristika:
  1. **Disembodiment:** Eindruck als befände man sich außerhalb des eigenen Körpers
  2. **Vogelperspektive:** Eindruck, als sähe man die Welt von einem erhöhten, entfernten Standpunkt aus
  3. **Autoskopie:** Eindruck, als sähe man den eigenen Körper aus dieser Perspektive

Wird von etwa 10% der Menschen mind. 1x im Leben erlebt

Dissoziativer Zustand, dauert meist nicht lang

Von Esoteriker\*innen häufig als Astral-Projektion oder Seelenwanderung verklärt, hat aber neurologische Ursachen.

**Abbildung 2**  
rechte temporoparietale Junction



Blanke & Arzy, 2005

- in „natürlichen“ Situationen **bei besonders niedrigem oder hohem Arousal**:
  - z.B. beim Einschlafen oder bei sens. Deprivation
  - z.B. sens. Overload, große phys. Anstrengung, Drogeneinfluss, Nahtoderfahrung
- in Studien z.B. **bei elektrischer Stimulation der rechten temporoparietalen Junction**
  - rTPJ: Repräsentation der Position des eigenen Körpers im Raum
  - gestützt durch Studien mit Läsionspatient\*innen

Häufig wenn man nicht vollkommen wach ist, also z.B. wenn man gerade einschläft, bei Nahtoderfahrungen (z.B. bei Autounfall, wenn man fast ertrinkt oder während einer OP wach wird)

Bei extremer physischer Anstrengung, z.B. wenn man auf einem sehr hohen Berg steigt oder einen Marathon läuft

Wenn man Drogen nimmt, bei sensorischer Deprivation oder sensorischem Overload, Elektrischer Stimulation des Areals zwischen Temporal- und Parietallappen

Annahme: Tritt auf, wenn es zu einer kurzen Unterbrechung der Kommunikation zwischen Arealen im Temporal- und Parietallappen kommt

—> Erstis fragen, ob sie das kennen, die meisten berichten dann von Out-of-Body-Experiences bei sehr stressigen Prüfungen ^^

## **Propriozeption: Wahrnehmung des eigenen Körpers**

- Wahrnehmung von Position des Körpers im Raum, Schwere, Spannung, Kraft, Geschwindigkeit
- Informationen aus der Haut, dem Vestibularorgan im Ohr und von Propriozeptoren (= Mechanorezeptoren, die Zustand & Zustandsänderungen von Muskeln, Sehnen und Gelenken messen)

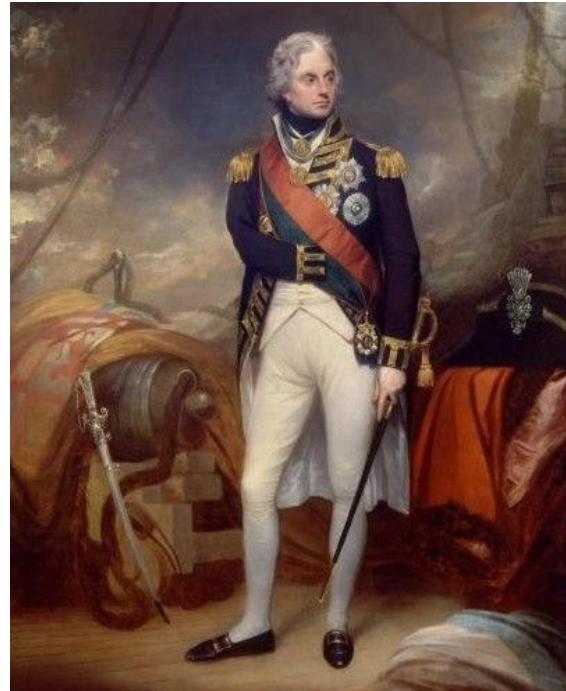
## **Ekterozeption: Wahrnehmung der Umwelt**

- z.B. Informationen aus der Haut (Temperatur, Vibrationen, Druck, Schmerz), visuelle, auditorische, gustatorische oder olfaktorische Informationen

## **Interozeption: Wahrnehmung von internen Prozessen**

- z.B. Messung des Blutdrucks, Level von Sauerstoff, CO<sub>2</sub> und Zucker im Blut sowie Flüssigkeitsbedarf

**Abbildung 3**  
*Ölgemälde vom britischen Admiral Horatio Nelson*



Beechey, 1801

- erstmalige Beschreibung:  
1552 von Ambroise Paré (franz. Arzt)
- erster Bericht aus 1. Hand:  
William Porterfield (ca. 1696 - 1771)
- berühmtester Fall:  
Admiral Nelson (1758 - 1805)

erstmalige Beschreibung 1552 vom franz. Arzt Ambroise Paré: verwundete Soldaten beklagen sich über Schmerzen in bereits amputierten aka nicht mehr vorhandenen Körperteilen, Ursache unklar

erster Bericht aus 1. Hand: Arzt William Porterfield (ca. 1696-1771) beschreibt eigene Phantomschmerzen nach Amputation seines Beins  
Vermutung: Störung der sensorischen Wahrnehmung als Ursache

erster berühmter Fall: Admiral Nelson, der 1797 in einer Seeschlacht vor Teneriffa seinen Arm verlor  
Vermutung: Schmerzen im amputierten Arm Beweis für die Unsterblichkeit der menschlichen Seele



## Abbildung 4

*Yukako Fukushima fertigt u.a. Fingerprothesen für ehemalige Mitglieder der Yakuza an.*



McCurry, 2016

## Phantomwahrnehmungen treten auf als Folge...

### ... von Deaffärenzierung:

- durch Verletzung
- durch Erkrankung (Schlaganfall)

### ... vom Verlust eines Körperteils:

- durch Verletzung
- durch gezielte Amputation
  - > häufigste Gründe:
    - Nekrosen
    - Infektionen / Entzündungen
    - Tumore

Phantomschmerzen entstehen, wenn ein Körperteil entweder amputiert oder aus sonst einem Grund verloren wird, oder wenn ein Körperteil keine Affärenzen mehr entsenden kann, z.B. weil die Nervenverbindung zum Gehirn gekappt ist (z.B. bei Lähmungen durch Schlaganfälle)

Deaffärenzierung: Körperteil noch vorhanden, aber Affärenzen werden nicht ins Gehirn weitergeleitet

Verlust eines Körperteils

—> durch Verletzung

—> durch gezielte Amputation;

häufigste Gründe:

Nekrosen aufgrund von Durchblutungsstörungen (z.B. arterieller Gefäßverschluss bei „Raucherbein“)

Infektionen / Entzündungen (z.B. bei Diabetes Mellitus)

Tumore

In Saudi Arabien gibt es als Strafe für Diebstahl immer noch sogenannte Kreuzamputationen, bei denen die rechte Hand und der linke Fuß abgetrennt werden. In der japanischen Mafia (Yakuza) gibt es auch die Selbst-Amputation vom kleinen Finger, wodurch man einen Fehltritt wiedergutmachen kann.

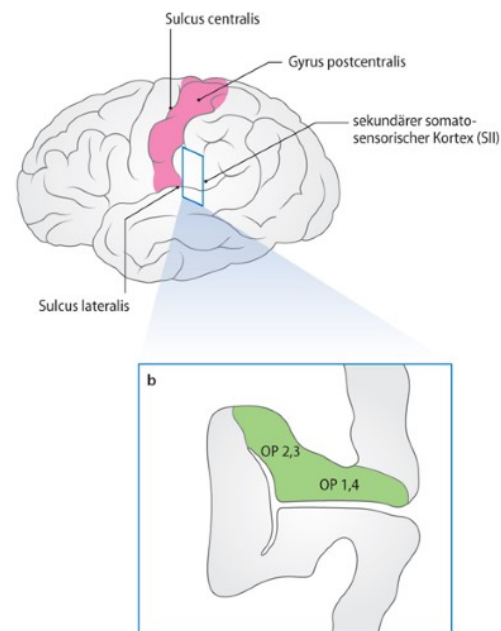
Die Frau auf dem Foto heißt Yukako Fukushima und hat sich auf die Herstellung von Prothesen spezialisiert und stellt v.a. Fingerprothesen für ehemalige Mitglieder der japanischen Mafia her.

Interessanterweise wird von vielen Betroffenen berichtet, dass ihre Phantomschmerzen weniger schlimm sind, wenn sie eine Prothese tragen, also ihr entferntes Körperteil wieder sehen können. Ein Ex-Yakuza-Mitglied könnte also z.B. mit so einer Fingerprothese weniger Phantomschmerzen im kleinen Finger haben. :-)

—> Ansatz für psych. Behandlung: VR-Brille, über die man das Körperteil simulieren kann

—> ca. 50–80% der Amputierten von Phantomschmerzen betroffen, daher großer Bedarf an Behandlungsmöglichkeit

**Abbildung 5**  
*Somatosensorische Kortexareale*



Treede & Baumgärtner, 2019

## Häufige unangenehme Symptome:

- Wahrnehmung des verlorenen Körperteils als existent, aber **verkürzt** („**Telescoping**“) oder **an falscher Stelle am Körper**
- **Phantomschmerzen** (Achtung, nicht zu verwechseln mit Schmerzen im Stumpf!)
- **Phantomempfindungen**, z.B.
  - Kribbeln oder Zuckungen im fehlenden Körperteil
  - bei Arm- oder Hand-Amputation: Gefühl, als würde man gestikulieren
  - visuelle Halluzinationen (beim *Phantom Eye Syndrome*)

Interessante Fragen, die sich daraus ergeben:

Bei Menschen mit fortgeschrittener schwerer Diabetes müssen teilweise Körperteile amputiert werden (Haut wird rissig, entzündet sich, Extremitäten müssen amputiert werden), außerdem führt Diabetes teilweise dazu, dass man erblindet. Die visuelle Wahrnehmung des fehlenden Körperteils (durch Prothesen oder VR) kann Linderung schaffen. Insofern frage ich mich: Wie nehmen Blinde Phantomschmerzen wahr? Wie behandelt man Phantomschmerzen bei blinden Menschen?

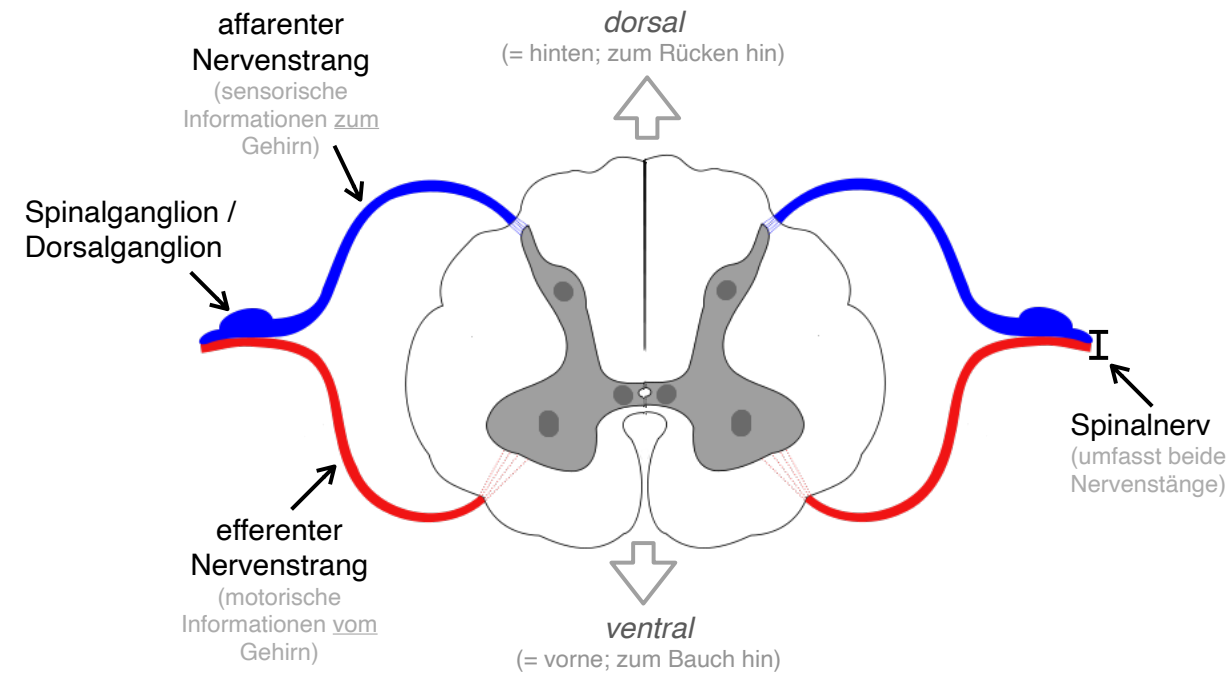
Weitere Frage: Das Gefühl zu gestikulieren ist erklärbar durch die starke neuronale Verknüpfung vom sensorischen und motorischen Kortex mit den Spracharealen. Was passiert also bei Menschen, die durch Gesten sprechen (Taubstumme Menschen z.B.), wenn diese z.B. einen Arm verlieren? Verändert sich die Repräsentation von Sprache?

(Das sind meine Fragen, keine rhetorischen. Ich hab keine Ahnung, ob es dazu Forschung gibt.)

## **Wiederholung als Vorbereitung auf die Gruppenarbeit:**

- 1. Spinalnerven & Spinalganglien**
- 2. somatosensorischer Homunculus**
- 3. Schmerzgedächtnis**

Abbildung 6  
Spinalnerven



Medulla spinalis - Querschnitt - German and Latin, 2006

Zwischen den Wirbeln der Wirbelsäule treten immer 2 Spinalnerven aus, insgesamt hat ein Mensch 31 von diesen Spinalnervenpaaren.

Ein einzelner Spinalnerv besteht dabei immer aus 2 Nervensträngen, einem efferenten, der Infos vom Gehirn an die Muskeln leitet und der aus dem Vorderhorn des Rückenmarks austritt, und einem afferenten, der ins Hinterhorn des Rückenmarks eintritt und Infos aus den Sinneszellen ans Gehirn weiterleitet. Die beiden Nervenstränge vereinen sich außerhalb der Wirbelsäule zu einem Spinalnerv.

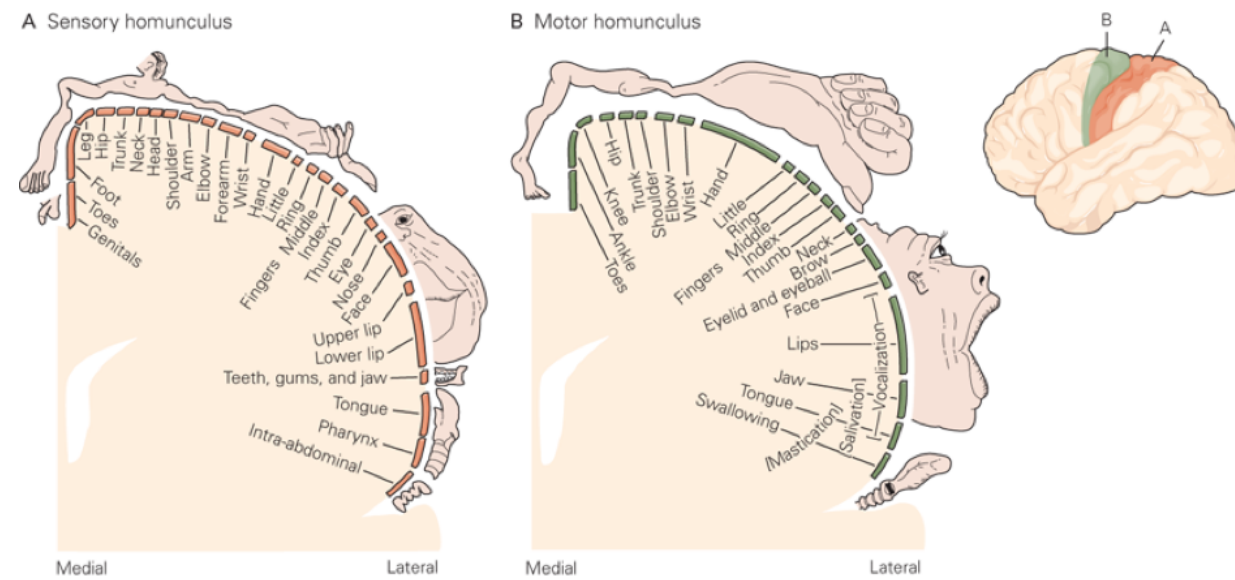
Das Besondere bei den afferenten Teilen der Spinalnerven ist, dass ihre Zellkörper als Bündel vorliegen, sowas nennt man dann Spinalganglien, und ihre Axone von dort aus ins Rückenmark ziehen. Spinalganglien kann man auch Dorsalganglien nennen, weil sie ja hinten liegen, also dorsal. Vorne gibt es bei den efferenten Neuronen solche Ganglien nicht, weil sie ja nicht in der Peripherie entspringen sondern im Gehirn.

# Wiederholung: somatosensorischer Homunculus

C | A | U

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Abbildung 7  
Homunculus



Kandel, 2012

- bei langfristiger noxischer Reizung (= Schmerz) **Potenzierung der Übertragungsstärke** zwischen schmerzleitenden C-Fasern und den affarenten Hinterhorn-Neuronen des RMs
- zusätzlich teilweise **Zelltod von GABAergen Interneuronen** im Hinterhorn des RMs, die normalerweise hemmend auf die schmerzleitenden Fasern wirken würden
  - Folge: man reagiert übermäßig sensibel auf Schmerzreize (= **Hyperalgesie**)
  - vorhandene Hyperalgesie kann nicht gelöscht werden
  - Prävention: Schmerzmittel auch wirklich nehmen, wenn man Schmerzen hat

Phantomschmerz ähnelt manchmal zu früherem Zeitpunkt erlebtem Schmerz  
chronischer Schmerz in später amputiertem Körperteil ist positiver Prädiktor für Phantomschmerzen nach der Amputation

—> Wieso ist das so?

# Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity?

*Herta Flor<sup>\*</sup>, Lone Nikolajsen<sup>†</sup> and Troels Staehelin Jensen<sup>§</sup>*

**Abstract** | Phantom pain refers to pain in a body part that has been amputated or deafferented. It has often been viewed as a type of mental disorder or has been assumed to stem from pathological alterations in the region of the amputation stump. In the past decade, evidence has accumulated that phantom pain might be a phenomenon of the CNS that is related to plastic changes at several levels of the neuraxis and especially the cortex. Here, we discuss the evidence for putative pathophysiological mechanisms with an emphasis on central, and in particular cortical, changes. We cite both animal and human studies and derive suggestions for innovative interventions aimed at alleviating phantom pain.

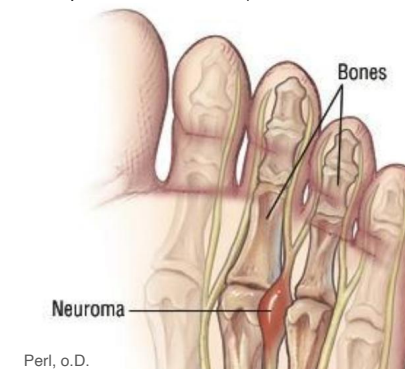
## Aufgabe 1 (Gruppe 1 & 2)

Bitte schaut euch die **Veränderungen im PNS und am Rückenmark** an!

(S. 874-875, Abschnitt „Peripheral Changes“, den Abschnitt „Central changes: the spinal cord“ nicht mehr!)

- a) Welche peripheren Veränderungen zeigen sich nach einer physischen Verletzung?
- Was sind Neurome?
  - Wie tragen sie zu Phantomschmerz bei?
  - Welche Beobachtungen sprechen gegen eine alleinige Verursachung des Phantomschmerzes durch Neurome?
- b) Welche Veränderungen am Rückenmark zeigen sich?
- Was ist das „Dorsal Root Ganglion“?
  - Welche Rolle spielen beieinander liegende Neurone?

**Abbildung 8**  
Beispiel für ein Neurom (Morton's Neuroma)



**Vokabelhilfe:**

etopic = da lokalisiert, wo es normalerweise nicht sein sollte

paraesthesias = Parästhesie, unangenehme Hautempfindung, z.B. Stechen oder Kribbeln

dorsal root ganglion = Spinalganglion



Bitte schaut euch die **Veränderungen im ZNS** (Hirnstamm, Thalamus und Kortex) an!

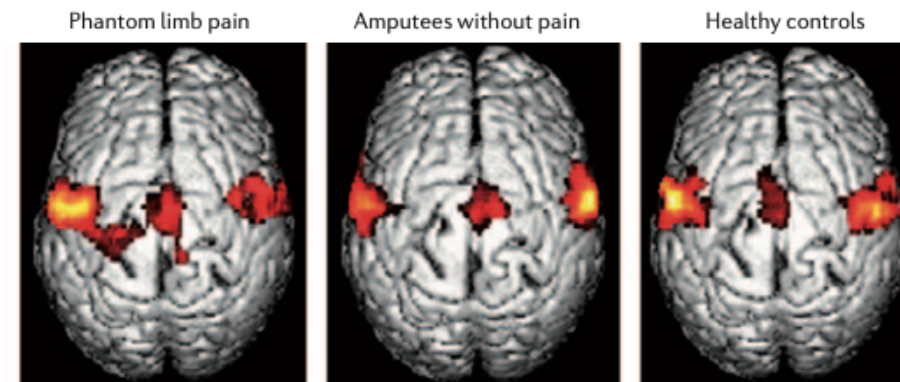
(S. 875-876, Abschnitt „Central changes: brainstem, thalamus, cortex“, den Abschnitt „Alterations in sensory and motor feedback“ nicht mehr!)

a) Welche Befunde sprechen für eine Beteiligung der höher liegenden Strukturen des ZNS?

b) Welche zentralen Veränderungen zeigen sich nach einer physischen Verletzung?

- Was bedeutet „Invasion“ in diesem Zusammenhang?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen „Map Reorganization“ und Phantomschmerz (s. Abb. 2)?
- Welche unterschiedlichen Stadien der Reorganisation lassen sich unterscheiden?

**Abbildung 9**  
*Map Expansion*



**Figure 2 | Cortical changes related to phantom limb pain.** Functional MRI data from seven patients with phantom limb pain, seven amputees without pain and seven healthy controls during a lip pursing task. Activation in primary somatosensory and motor cortices is unaltered in amputees without pain and is similar to that of healthy controls. In the amputees with phantom limb pain the cortical representation of the mouth extends into the region of the hand and arm. Reproduced, with permission, from REF. 64 © (2001) Oxford Univ. Press.

Flor, Nikolajsen & Jensen, 2006, S. 877

**Referat:** Multisensorische Wahrnehmung (Goldstein, Kap. 22)

### Vorbereitung auf die nächste Sitzung

Paper:

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756. doi: 10.1038/35784

## Vorbereitung auf die nächste Sitzung

### Paper:

Botvinick, M., & Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see. *Nature*, 391(6669), 756–756. doi: 10.1038/35784

### Aufgaben (*diesmal beide Aufgaben für alle*):

Rubber Hand Illusion:

- Wie sieht der Aufbau von Experiment 1 und Experiment 2 aus?
- Worin besteht die Illusion? Welche Sinne sind beteiligt?
- Könnt ihr die Illusion nachempfinden?

Ergebnisse:

- Welche Befunde zeigten sich in Bezug auf die Wahrnehmung in Experiment 1?
- Wie hat sich die Lokalisierung der Hand in Experiment 2 verändert?

- Andreotti, A. M., Goiato, M. C., Pellizzer, E. P., Pesqueira, A. A., Guiotti, A. M., Gennari-Filho, H., & dos Santos, D. M. (2014). Phantom eye syndrome: a review of the literature. *The Scientific World Journal* 2014, 686493. doi: 10.1155/2014/686493
- Blanke, O., & Arzy, S. (2005). The Out-of-Body Experience: Disturbed Self-Processing at the Temporo-Parietal Junction, *The Neuroscientist*, 11(1), 16-24.
- Bünning, S. & Blanke, O. (2005). The out-of body experience: precipitating factors and neural correlates. *Progress in Brain Research*, 331–606. [https://doi.org/10.1016/s0079-6123\(05\)50024-4](https://doi.org/10.1016/s0079-6123(05)50024-4)
- Flor, H., Nikolajsen, L., & Staehelin Jensen, T. (2006). Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(11), 873–881. doi: 10.1038/nrn1991
- Schandry, R. (2016). Aufbau und Funktion des Nervensystems. In Biologische Psychologie (4. überarbeitete Auflage). Weinheim, Deutschland: Beltz Verlag

- Beechey, W. (1801). *Horatio, Viscount Nelson* [Öl auf Leinwand]. Abgerufen von <https://i.pinimg.com/originals/ef/36/49/ef36494432fcdc08d29bad7aaaf387f8.jpg>
- Flor, H., Nikolajsen, L., & Staehelin Jensen, T. (2006). Phantom limb pain: a case of maladaptive CNS plasticity? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(11), 873–881. doi: 10.1038/nrn1991
- [Illustration]. (2006). *Medulla spinalis - Querschnitt - German and Latin*. Abgerufen von [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medulla\\_spinalis\\_-\\_Querschnitt\\_-\\_German\\_and\\_Latin.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Medulla_spinalis_-_Querschnitt_-_German_and_Latin.svg)
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H. Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A. & Hudspeth, A. J. (Hrsg.). (2013). *Principles of Neural Science* (5. Ausgabe). New York: McGraw-Hill.
- McCurry, J. (2016). *Yukako Fukushima, who makes prosthetic small fingers for reformed Japanese gangsters, at her workshop in Osaka, Japan* [Fotografie]. Abgerufen von <https://www.theguardian.com/world/2016/apr/18/woman-makes-fake-fingers-yakuza-japan-reformed-gangsters>
- Perl, R. B. (o. D.). *Neuroma* [Illustration]. Abgerufen von <https://www.westislipfootdoctor.com/blog/neuroma>
- Schiavonetti, L. (1808). The soul leaving the body [Druck]. Abgerufen von [https://en.wikipedia.org/wiki/Out-of-body\\_experience#/media/File:Schiavonetti\\_Soul\\_leaving\\_body\\_1808.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Out-of-body_experience#/media/File:Schiavonetti_Soul_leaving_body_1808.jpg)
- Treede, R. D., & Baumgärtner, U. (2019). Das somatosensorische System. In: Brandes, R., Lang, F., Schmidt, R. F. (eds) *Physiologie des Menschen*. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-662-56468-4\_50