

Aufsteigende Bahnen:
epikritische und protopathische Sensibilität.
Neuroanatomie des Schmerzens.

Dr. Tamás Ruttkay

Anatomisches, Histologisches und Embryologisches Institut
2019.

Grundsätzliche Definitionen

- Kern oder Kerngebiet – *Nucleus*:** Ansammlung von Nervenzellkörpern (Perykarien) im zentralen Nervensystem (ZNS)
→ ist von weißer Substanz umgeben und bildet mit der Klein- und Großhirnrinde die graue Substanz (Substantia grisea)
- im Gehirn: von einander gut abgrenzbar
im Rückenmark: die funktionell zusammengehörenden zellkörper sind miteinander verschmolzen und über längere Rückenmarkabschnitte erstrecken können (Kernsäulen)
- Ganglion:** Ansammlung von Nervenzellkörpern außerhalb des zentralen Nervensystems
→ nicht identisch mit den Basalganglien (subkortikale Kerne)
- Nervenbahn:** Leitungssystem gebündelter Nervenfasern
- im peripheren Nervensystem: **Nerv – *Nervus***
im zentralen Nervensystem: **Bahn – *Tractus, Fasciculus, Stria, Funiculus, Lemniscus, Decussatio***
→ bildet die weiße Substanz (Substantia alba)

Sensorische Systeme

Sinnesorgane
(Zellkörper immer peripher)
Rezeptor

peripherer Axon des 1. Neurons

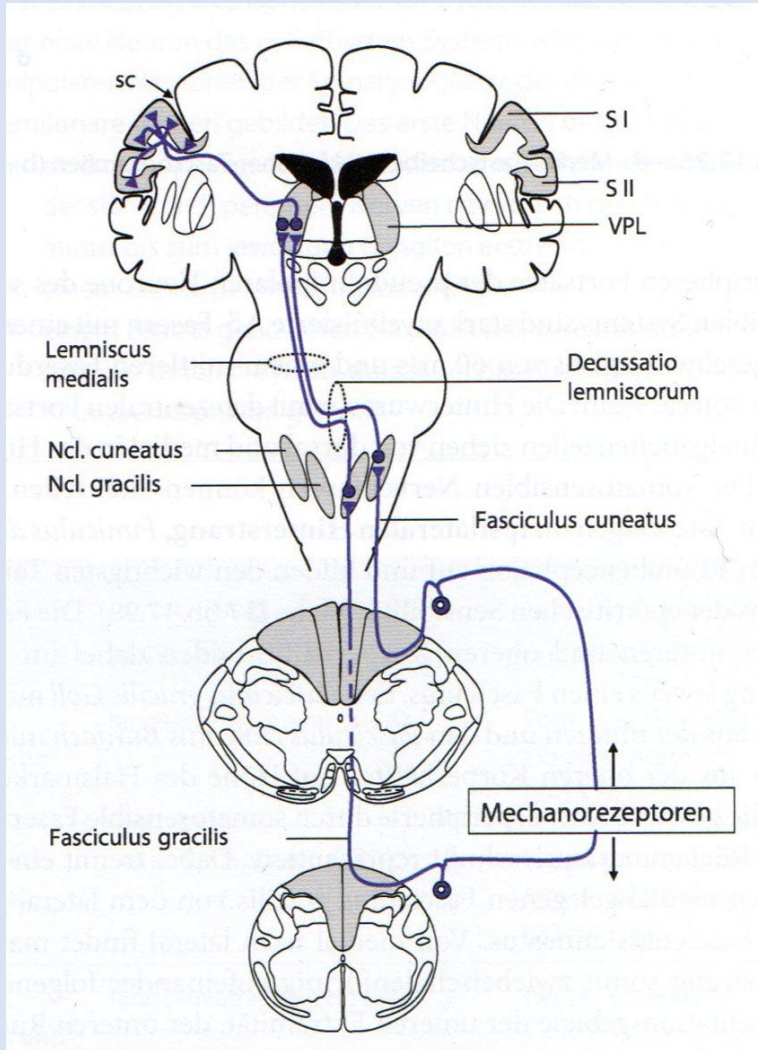
Ganglion spinale
(Zellkörper des 1. Neurons)

zentraler Axon des 1. Neurons

Rückenmark

**Umschaltstellen
(z.B. Thalamus)**

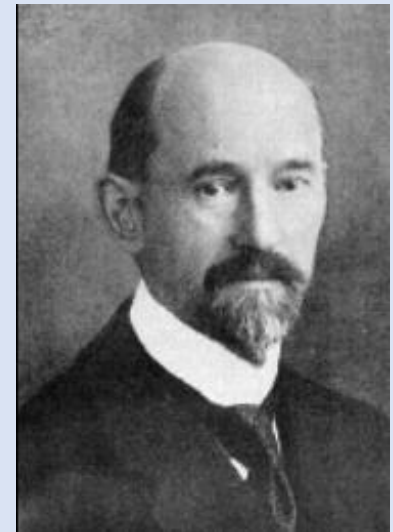
**primärer somatosensorischer
Cortex (SI)**



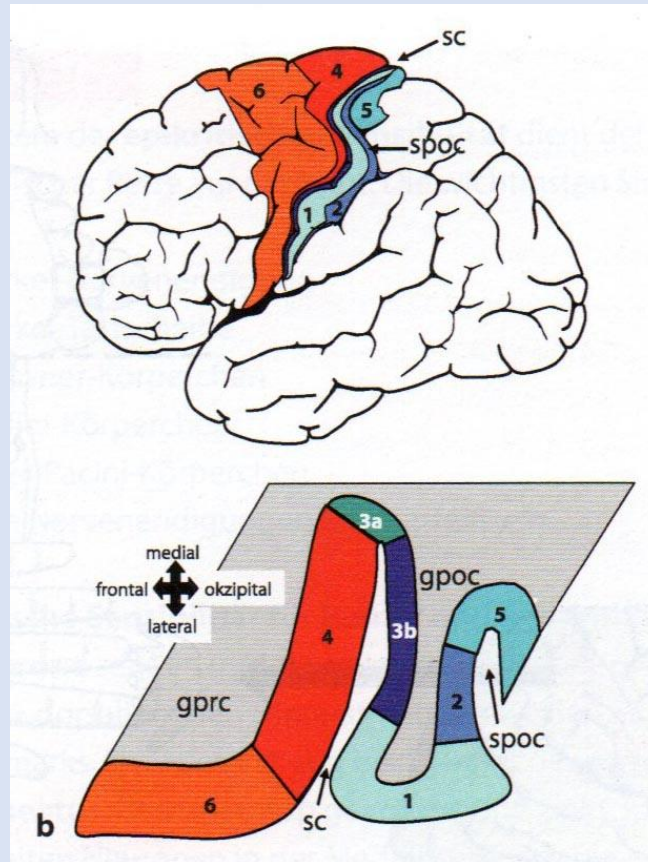
Primärer somatosensorischer Cortex

Brodmann-Areale: nach Zyto- und Myeloarchitektonik eingeteilte
Großhirnrindengebiete des Menschen
→ funktionelle Zuordnung

Primärer somatosensorischer Cortex: Brodmann-Areale 3, 1, 2



Korbinian Brodmann
(1868-1918)



Thalamus

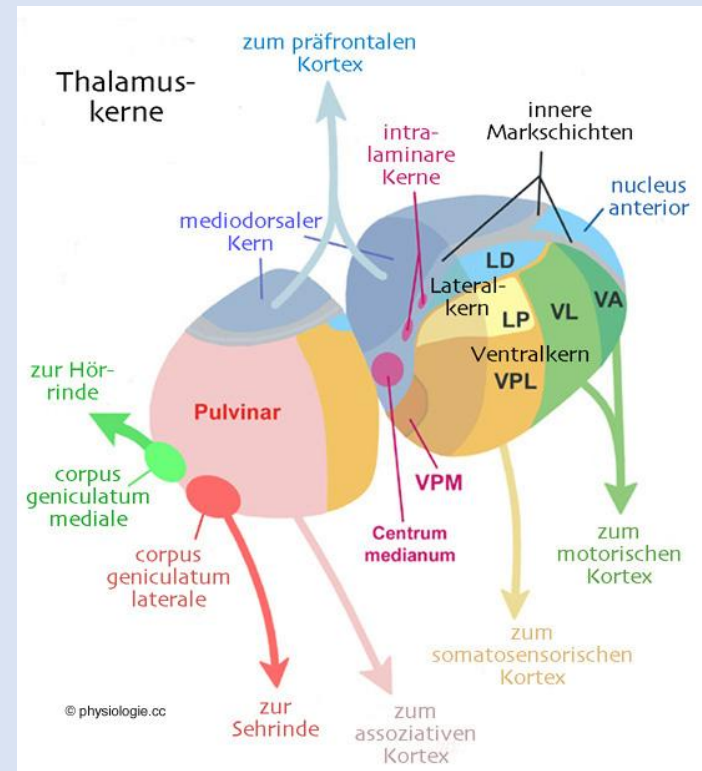
Zusammensetzung von Kerngebieten, die eine besonders starke Verbindung zur Großhirnrinde aufweisen.

Umschaltstelle: primitive Informationsverarbeitung

→ funktioniert als Filter zwischen Peripherie und Großhirnrinde

Die zuführenden Nervenzellen zum Thalamus sind überwiegend überkreuzt, so dass jede Thalamusseite die gegenüber liegende Körperhälfte repräsentiert.

„Tor zum Bewusstsein“



Rezeptoren

Mechano-, Thermo-, Chemo-, Fotorezeptoren

→ Die sensorischen Systeme sind auf eine Modalität spezialisiert – adäquate Reize.

Exterozeptoren

liefern Informationen über den Status des

externen

Körpermilieus

Interozeptoren

internen

Propriozeptoren liefern Information über Zustand (Kontraktion, Dehnung) der Muskel und Gelenke.

Exterozeptoren:

Telerezeptoren (Sehen, Hören, Geruch)

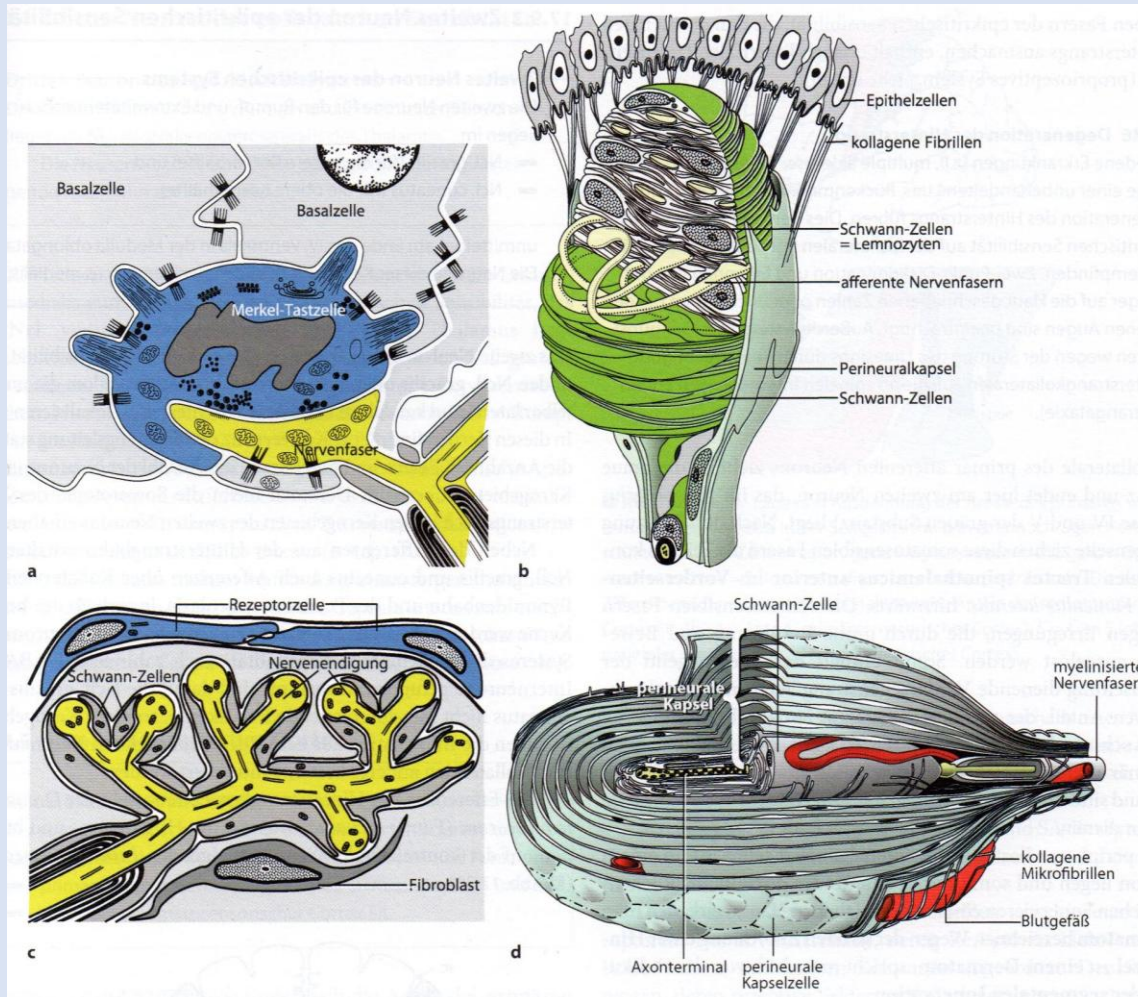
Kontaktrezeptoren (Geschmackempfindung, Tastsinn)

Interozeptoren:

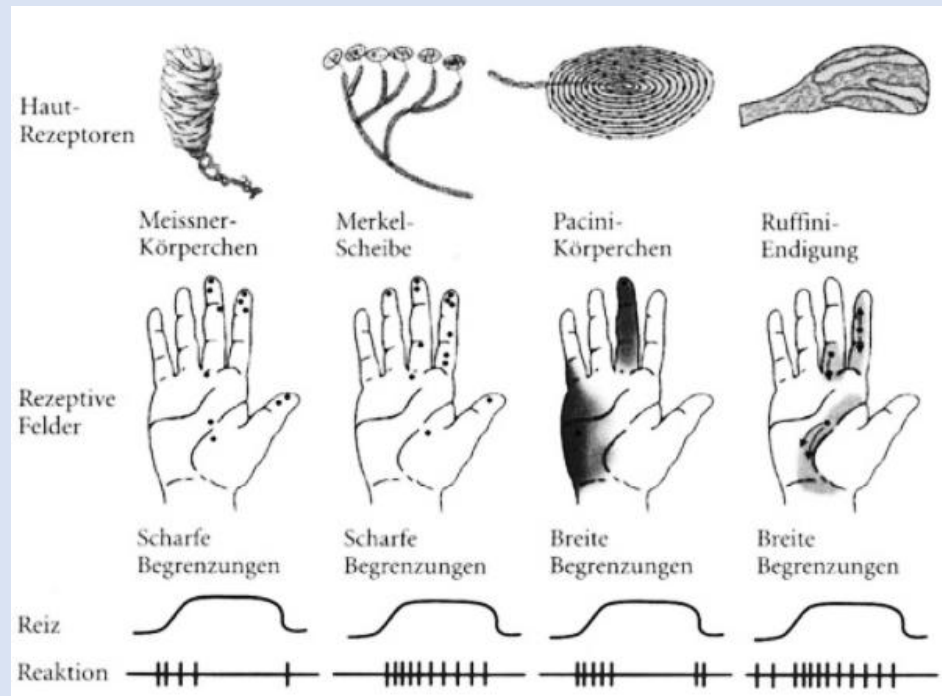
Kontaktrezeptoren

Sinnesorgane der epikritischen Sensibilität

- Merkel-Tastscheibe (a)
- Meissner-Tastkörperchen (b)
- Ruffini-Körperchen (c)
- Vater-Pacini-Körperchen (d)



Sinnesorgane der epikritischen Sensibilität



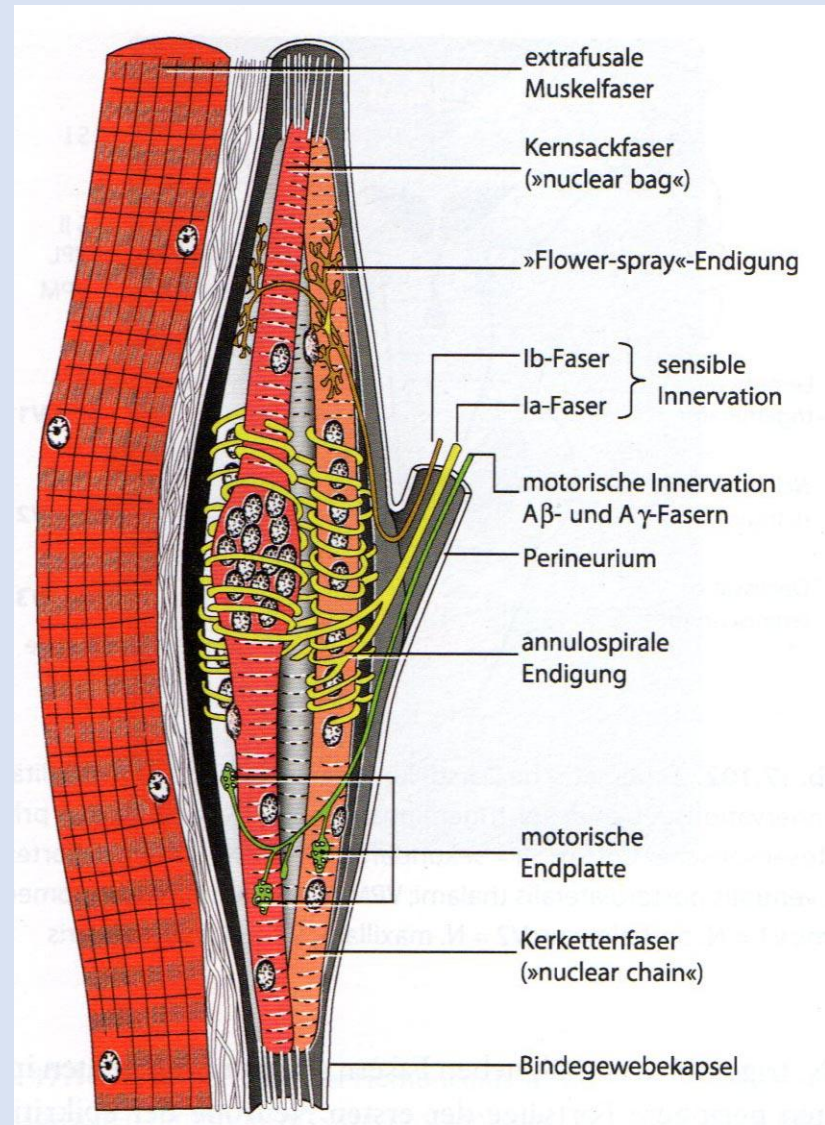
<https://www.repetico.de>

Tab. 17.18. Sinnesorgane der Oberflächensensibilität

Sinnesorgan	Lage	Adäquater Reiz	Physiologisches Verhalten	Funktion
Merkel-Tastscheibe	Stratum basale des mehrschichtigen Plattenepithels, Haarfollikel	physische und statische Komponente des Drucks und der Dehnung	langsam adaptierend (SA)	Form und Textur eines Objekts, Vibration (5–15 Hz)
Meissner-Tastkörperchen und freie Nervenendigungen an Haarfollikeln	Stratum papillare der Leistenhaut, Haarfollikel	physische Komponente der Berührung und Vibration	schnell adaptierend (RA)	Hautberührung, niederfrequente Vibration (20–50 Hz)
Ruffini-Körperchen	Stratum reticulare der behaarten und unbehaarten Haut, Haarfollikel	physische und statische Komponenten des Drucks und der Dehnung	langsam adaptierend (SA)	Druck, Scherkräfte
Vater-Pacini-Körperchen	tiefe Cutis und v.a. Subcutis	physische Komponente der Vibration	sehr schnell adaptierend (RA)	hochfrequente Vibration (40–1000 Hz)

Sinnesorgane der propriozeptiven Sensibilität

- Muskelspindel
- Golgi-Sehnenorgane

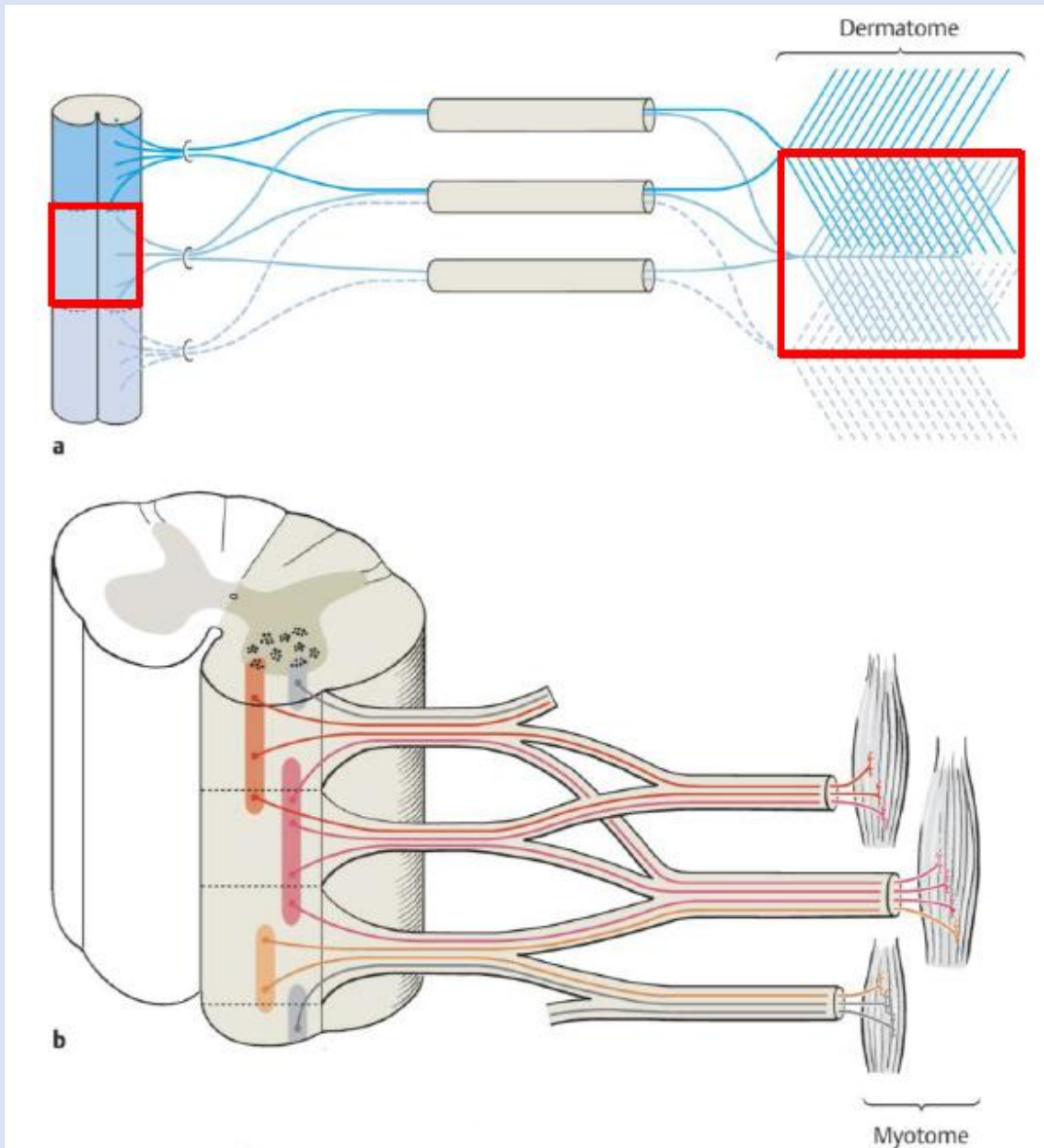


Einteilung der Nervenfasern nach Durchmesser und Leitungsgeschwindigkeit

■ **Tab. 17.3.** Einteilung der Nervenfasern nach Kaliber und Leitungsgeschwindigkeit

Gruppe	Nervenfaserdurchmesser in μm	Leitungsgeschwindigkeit (Warmblüter) in m/s	Beispiele
Markhaltige Nervenfasern			
Ia A α	10–20	60–120	Efferenzen zu quergestreiften Muskelfaser (Skelettmuskulatur) Afferenzen aus Muskelspindeln
Ib A β	6–12	30–70	Sehnenorgan
II	9	25–70	Afferenzen aus der Haut und von Haarfollikeln (Berührungsempfindung, Vibration)
III A γ	4–8	15–30	Efferenzen zu intrafusalen Muskelfasern von Muskelspindeln
III A δ	3–5	12–30	Afferenzen aus der Haut (freie Nervenendigungen, Wärme-, Kälte- und Schmerzleitung)
B	1–3	3–15	präganglionäre vegetative Nervenfasern
Marklose Nervenfasern			
IV C	0,3–1	0,5–2	postganglionäre vegetative Nervenfasern, Schmerz- und Temperaturleitung

Innervation der Haut und Skelettmuskulatur



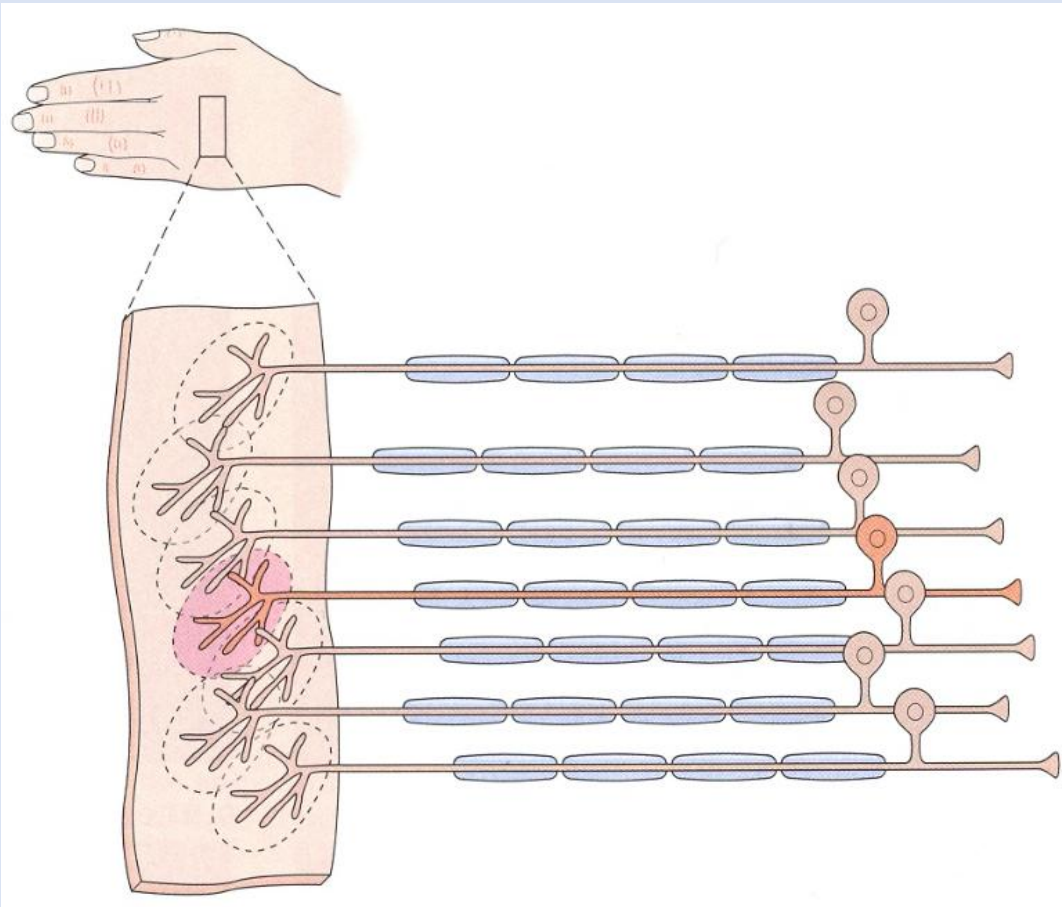
Dermatom

→ segmentale Innervation

Myotom

→ polisegmentale Innervation

Rezeptive Felder



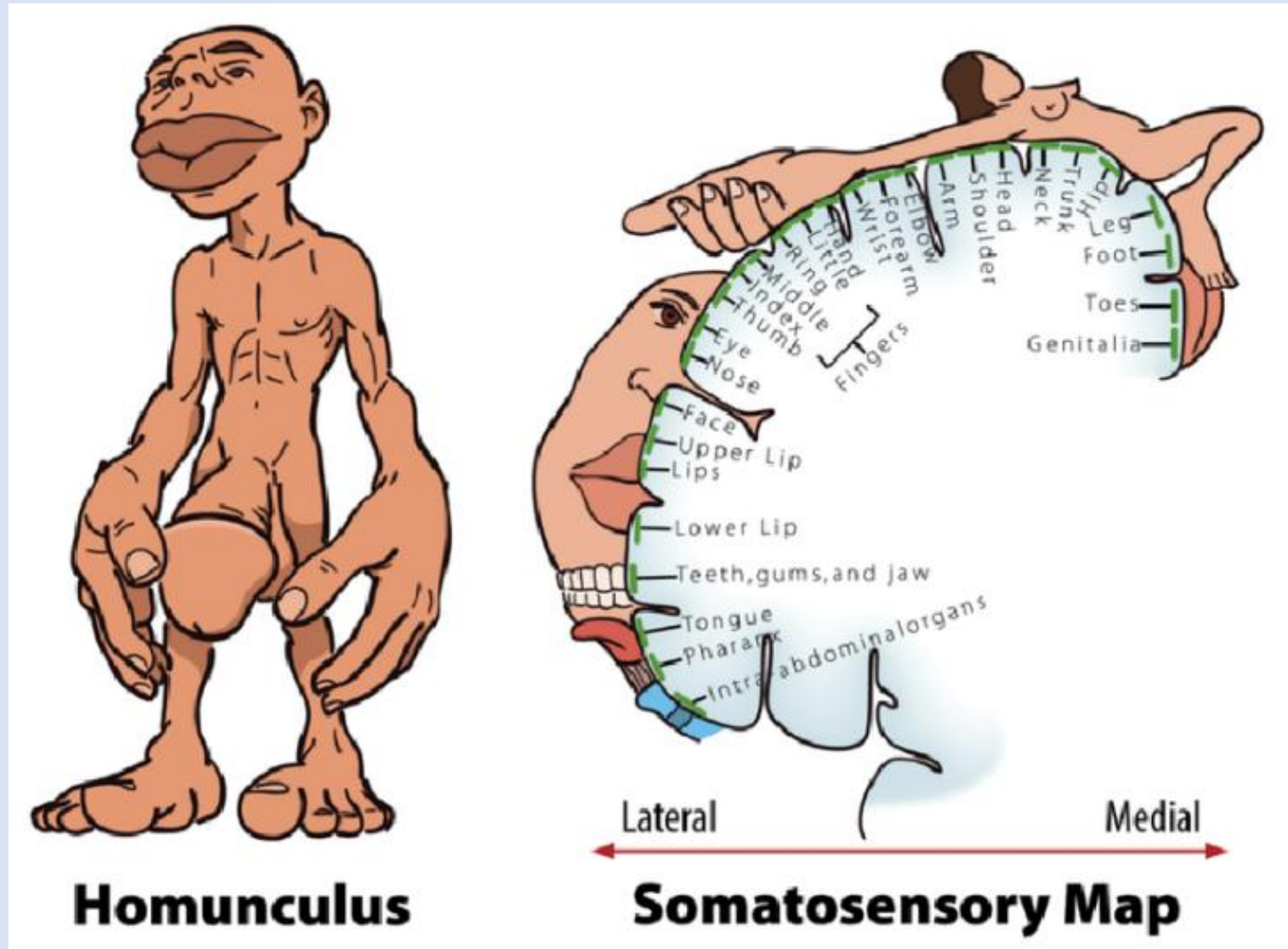
1 rezeptives Feld – 1 Neuron

Größe des rezeptiven Feldes ist unterschiedlich (z.B. Hand ↔ Rücken)

Überlappungen

Laterale Hemmung
→ Zwei-Punkt-Diskrimination

Somatotopie - Sensorischer Homunculus



Das Rückenmark (Medulla spinalis)

Verbindung zwischen Gehirn und Peripherie (makroskopisch und funktionell)

Verfügt auch über eigene Kerne

Auf- und absteigende Bahnen

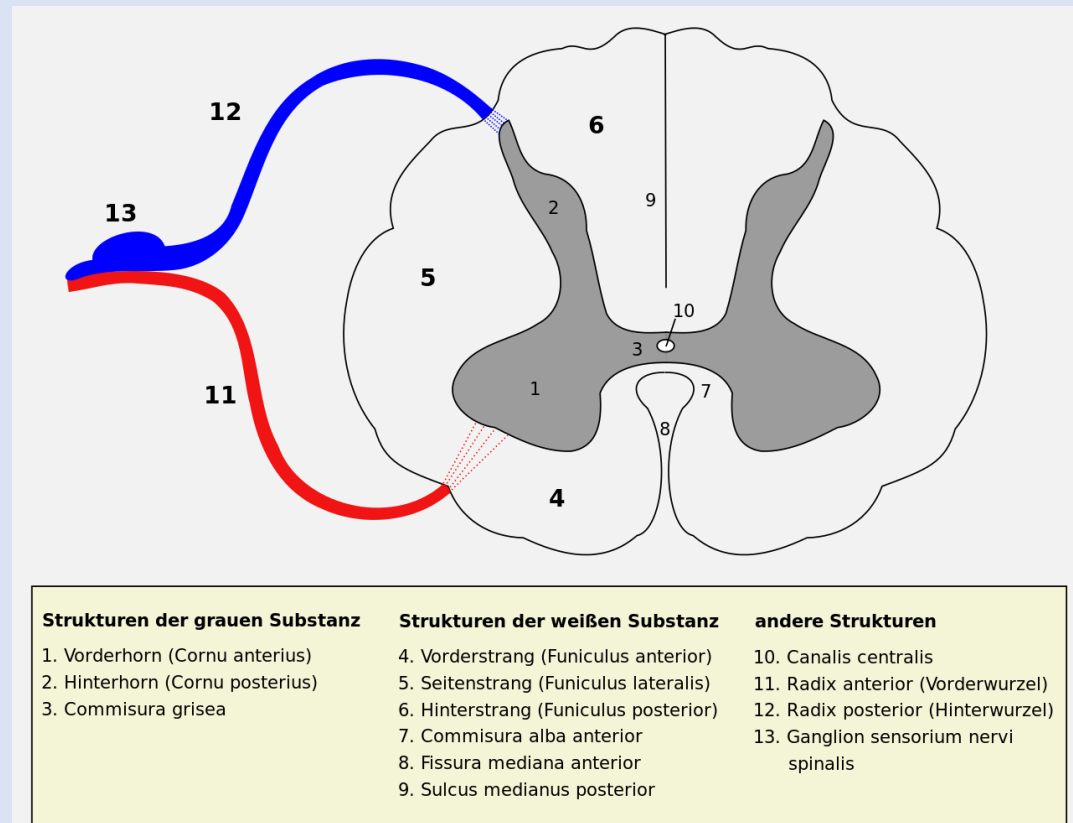
Eigenes System

Umschaltstelle

Reflexzentrum



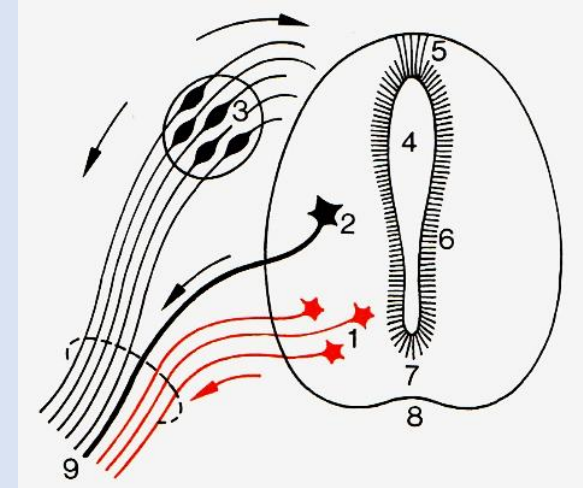
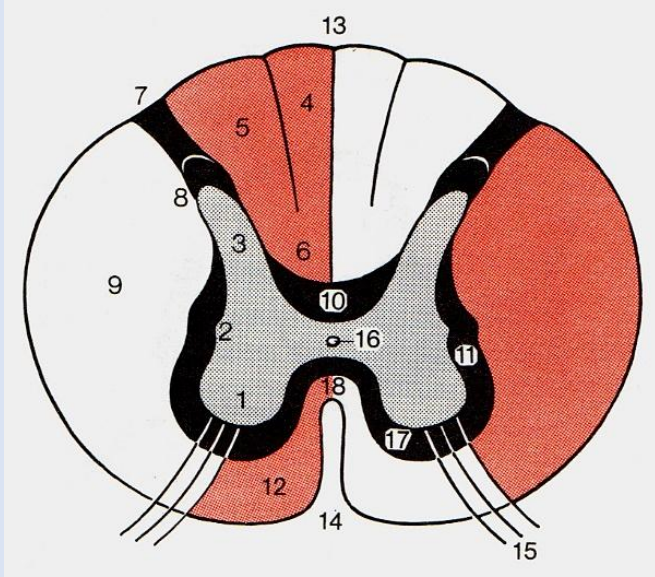
Aufsteigende Bahnen



Bahnen des Rückenmarkes

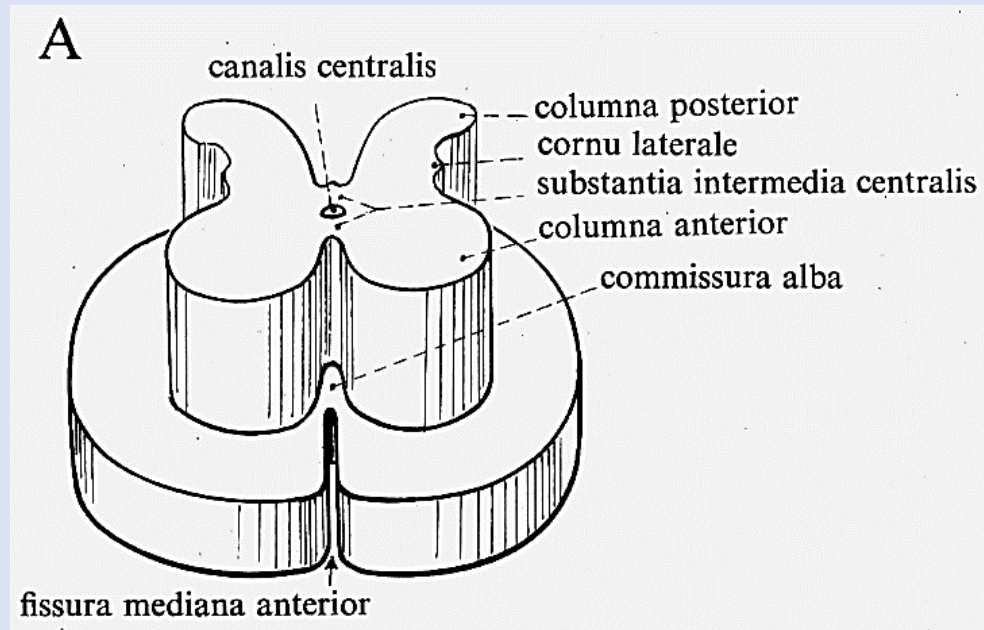
Faller

Faller

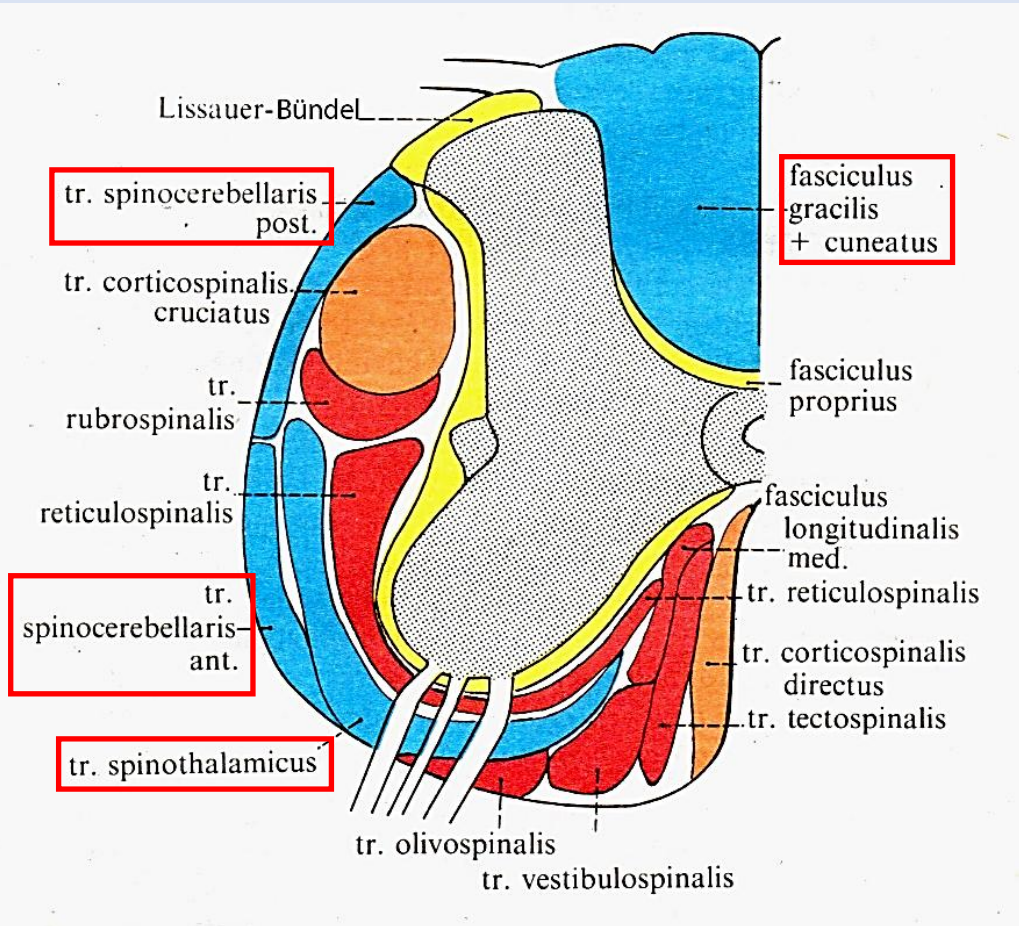


- 4., 5. Funiculus posterior (Hinterstrang)
- 9. Funiculus lateralis (Seitenstrang)
- 12. Funiculus anterior (Vorderstrang)

- 10. Fasciculus proprius posterior
- 11. Fasciculus proprius lateralis
- 17. Fasciculus proprius anterior
- 18. Commissura alba



Bahnen des Rückenmarkes



Aufsteigende Bahnen

- Hinterstrangbahnen
- anterolaterales System
- zum Kleinhirn aufsteigende Bahnen

Absteigende Bahnen

- Pyramidalsystem
- Extrapyramidalsystem
- vegetative und monoaminerge Bahnen

laut Funiculi:

Hinterstrangbahnen

Seitenstrangbahnen

Vorderstrangbahnen

Eigenes System

Somatosensorische Systeme

Funktion: Wahrnehmung von mechanischen, thermischen und chemischen Reizen, die auf die Körperoberfläche, Muskeln, Gelenke oder inneren Organe einwirken.

Epikritische Sensibilität - Oberflächensensibilität:

→ Berührung, geringer Druck, Zwei-Punkt-Diskrimination, Dehnung oder Vibration in der Haut

Hinterstrang-mediales-Lemniscus-System

Propriozeptive Sensibilität - Tiefensensibilität:

→ Kontraktion und Dehnung von Muskeln, Zug an Sehnen und Bewegungen in Gelenken

zum Kleinhirn aufsteigende Bahnen (Hinterstrang-mediales-Lemniscus-System)

Protopathische Sensibilität - Schmerz- und Temperatursinn:

→ schmerzhafte mechanische (grober Druck), thermische und chemische Reize

anterolaterales System

Hinterstrang-mediales-Lemniscus-System

1. Neuron:

Zellkörper: Ganglion spinale

Zentrales Axon: Radix posterior (A β -Nervenfasern)

Fasciculus gracilis **Rückenmark**

Fasciculus cuneatus

2. Neuron:

Zellkörper: Nucleus gracilis

Nucleus cuneatus

Axon: Fibrae arcuatae internae **Medulla oblongata**

Decussatio lemniscorum

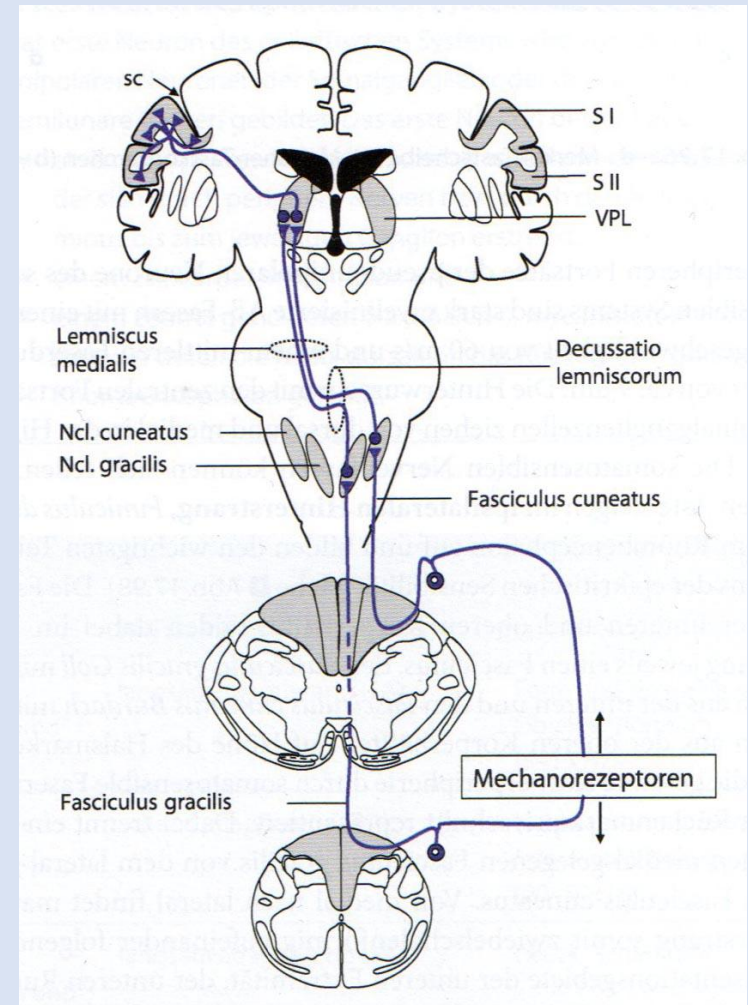
Lemniscus medialis

3. Neuron:

Zellkörper: Thalamus - Nucleus ventralis posterolateralis (VPL)

Axon: Radiatio thalami

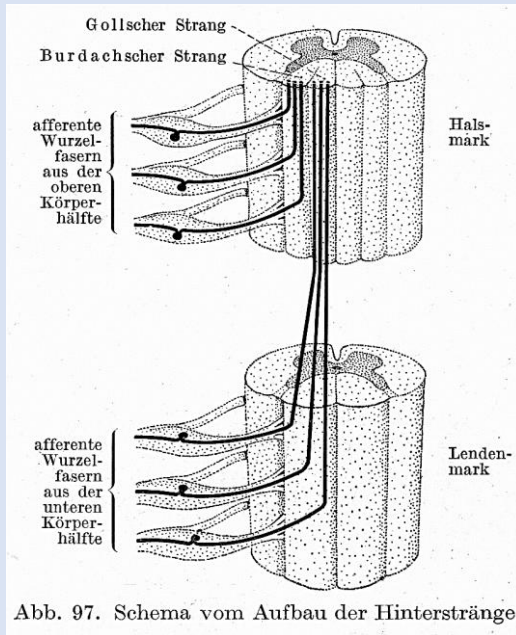
→ endet im Gyrus postcentralis (primärer somatosensorischer Cortex)



Zilles-Tillmann

Hinterstrang-mediales-Lemniscus-System

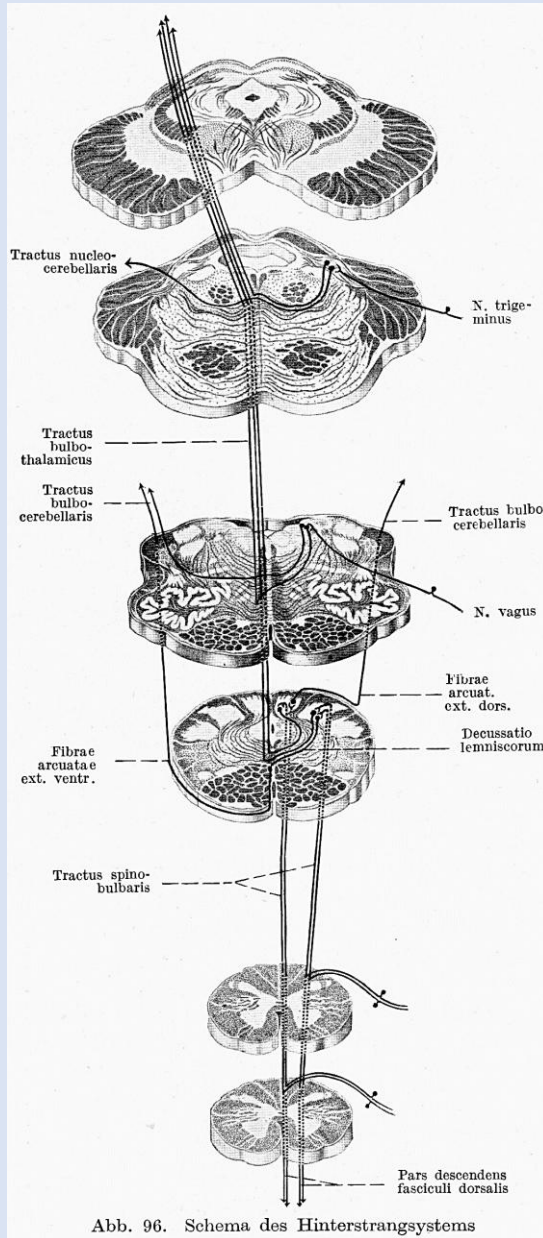
Burdach = Fasciculus cuneatus:
lateral, aus der oberen
Körperhälfte



Goll = Fasciculus gracilis
medialer, aus der unteren
Körperhälfte

→ Somatotopie

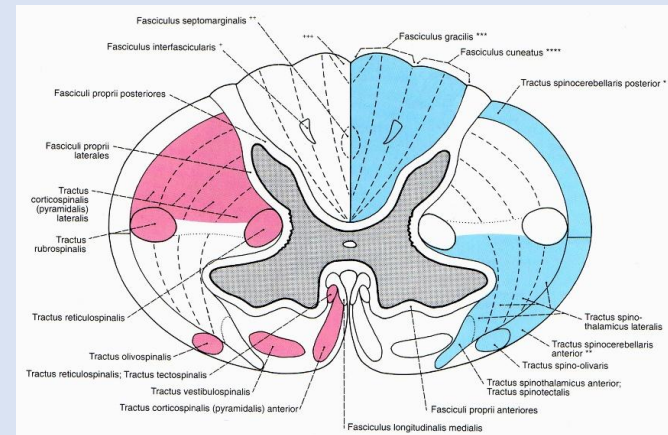
Clara



Hinterstrangbahnen

Burdach + Goll = Tractus spinobulbaris

- Axone des 1. Neurons
- ungekreuzt
- epikritische Sensibilität
- (propriozeptive Sensibilität)



Sobotta

Zum Kleinhirn aufsteigende Bahnen

„Kleinhirnseitenstrangbahnen“

Tractus spinocerebellaris ventralis (Gowers):

Spinalganglienzellen

Umschaltung (L4 – S3)

Kreuzung in der Commissura alba
(einige Fasern bleiben ungekreuzt)

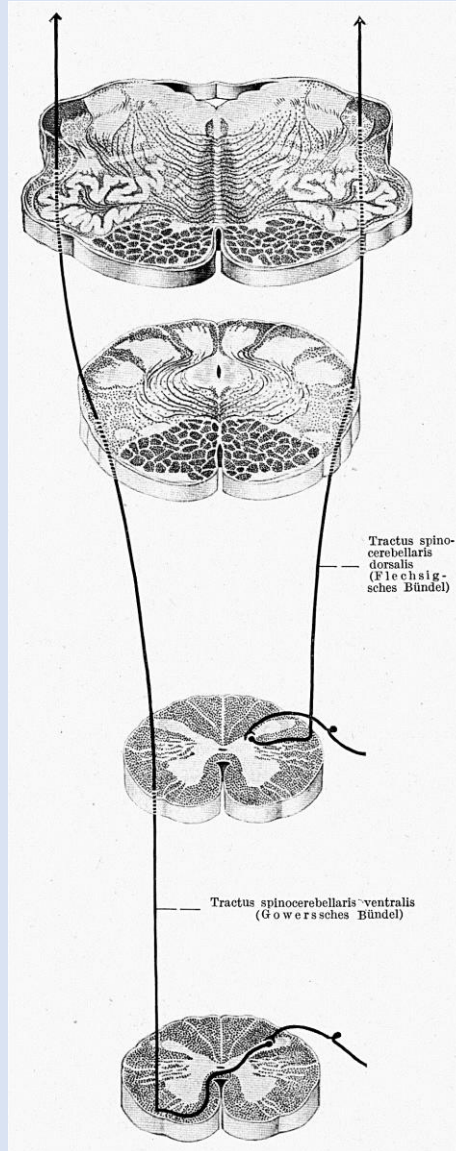
Seitenstrang

Pedunculus cerebellaris superior

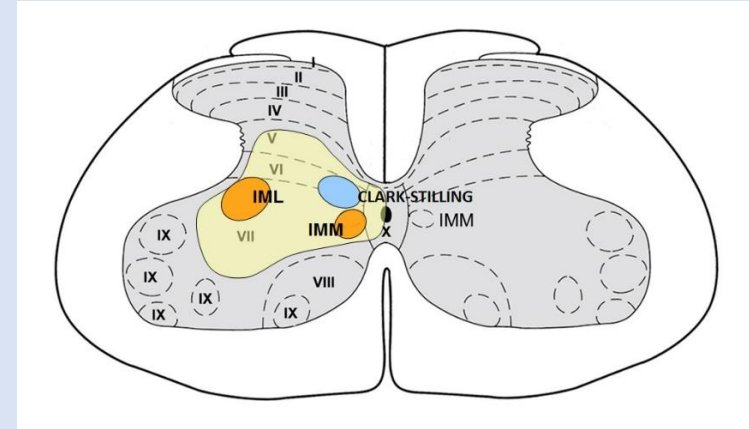
Moosfasern

Propriozeptive Sensibilität

Epikritische Sensibilität



Clara



Aus der Vorlesung von Dr. M. Kozsurek

Tractus spinocerebellaris dorsalis (Flechsig):

Spinalganglienzellen

Umschaltung (Th9 – L3) im Clark-Stilling-Kern

ungekreuzt

Seitenstrang (hintern Gowers)

Pedunculus cerebellaris inferior

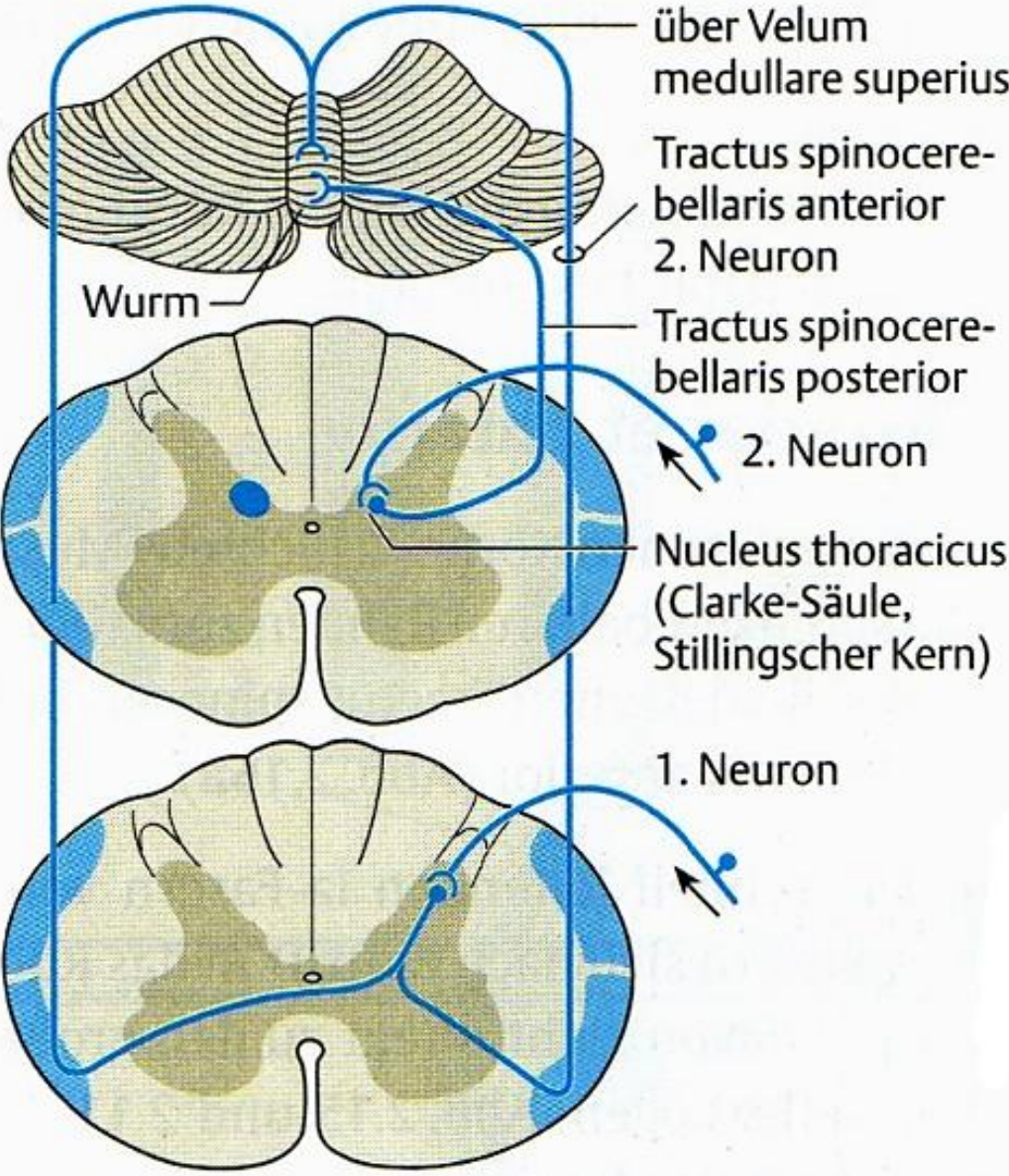
Moosfasern

Propriozeptive Sensibilität

Epikritische Sensibilität

Zum Kleinhirn aufsteigende Bahnen

Tractus spinocerebellaris rostralis
Tractus cuneocerebellaris
Tractus spinoolivaris



a unbewusste Tiefensensibilität

Anterolaterales System

1. Neuron:

Zellkörper: Ganglion spinale

Zentrales Axon: Radix posterior
(A δ - oder C-Nervenfasern)

2. Neuron:

Zellkörper: Neuron des Hinterhorns

Axon: Commissura alba anterior - **Kreuzung**
Tractus spinothalamicus ventralis
Tractus spinothalamicus lateralis

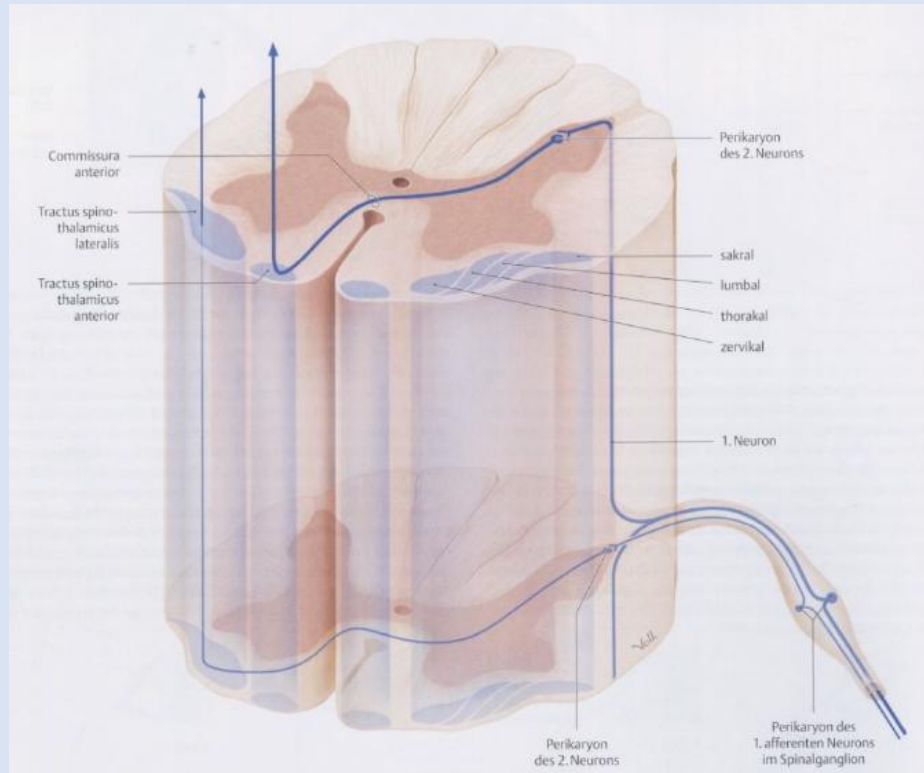
3. Neuron:

Zellkörper: Thalamus - Nucleus ventralis posterolateralis (VPL)

Axon: Radiatio thalami

→ endet im Gyrus postcentralis (primärer somatosensorischer Cortex)

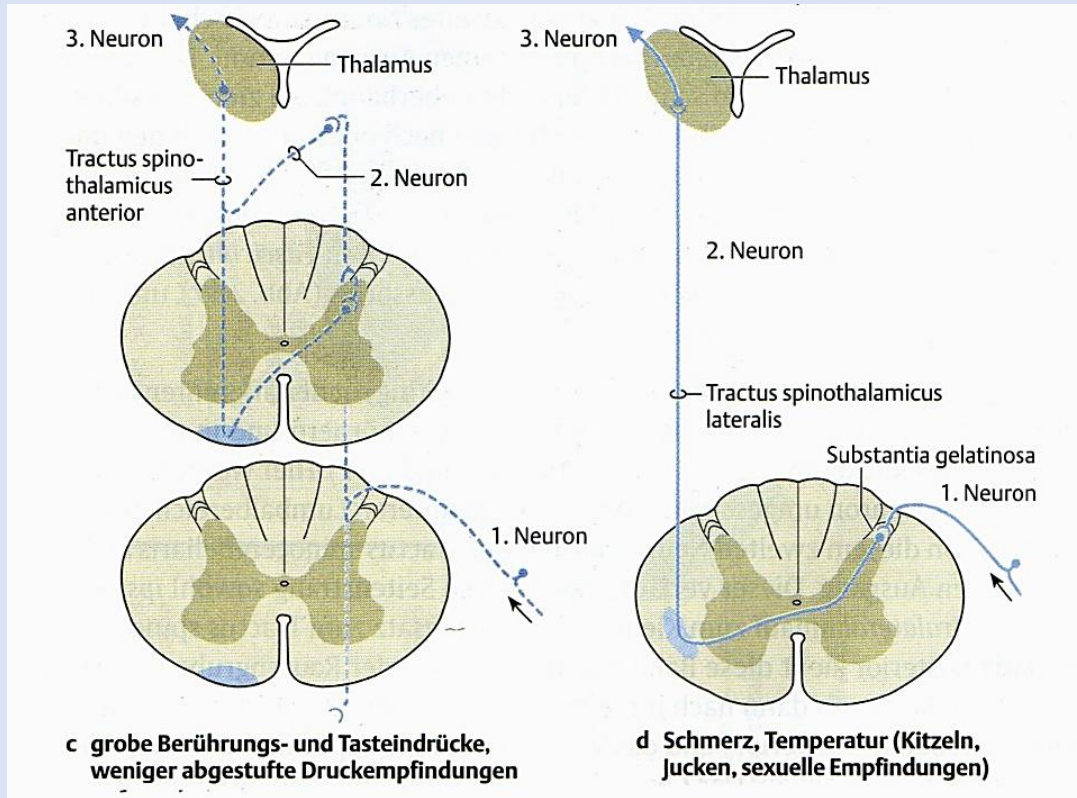
Die Kollateralen der Axone der Schmerzempfindung erreichen nach Umschaltung im Thalamus (CM) den Frontallappen.



Aus der Vorlesung von Herrn Dr. János Barna

Anterolaterales System

„Vorderseitenstrangbahnen“



Duus

Tr. spinothalamicus anterior

grobe Tast-,
Druckempfindung

gekreuzt

Vorderstrang

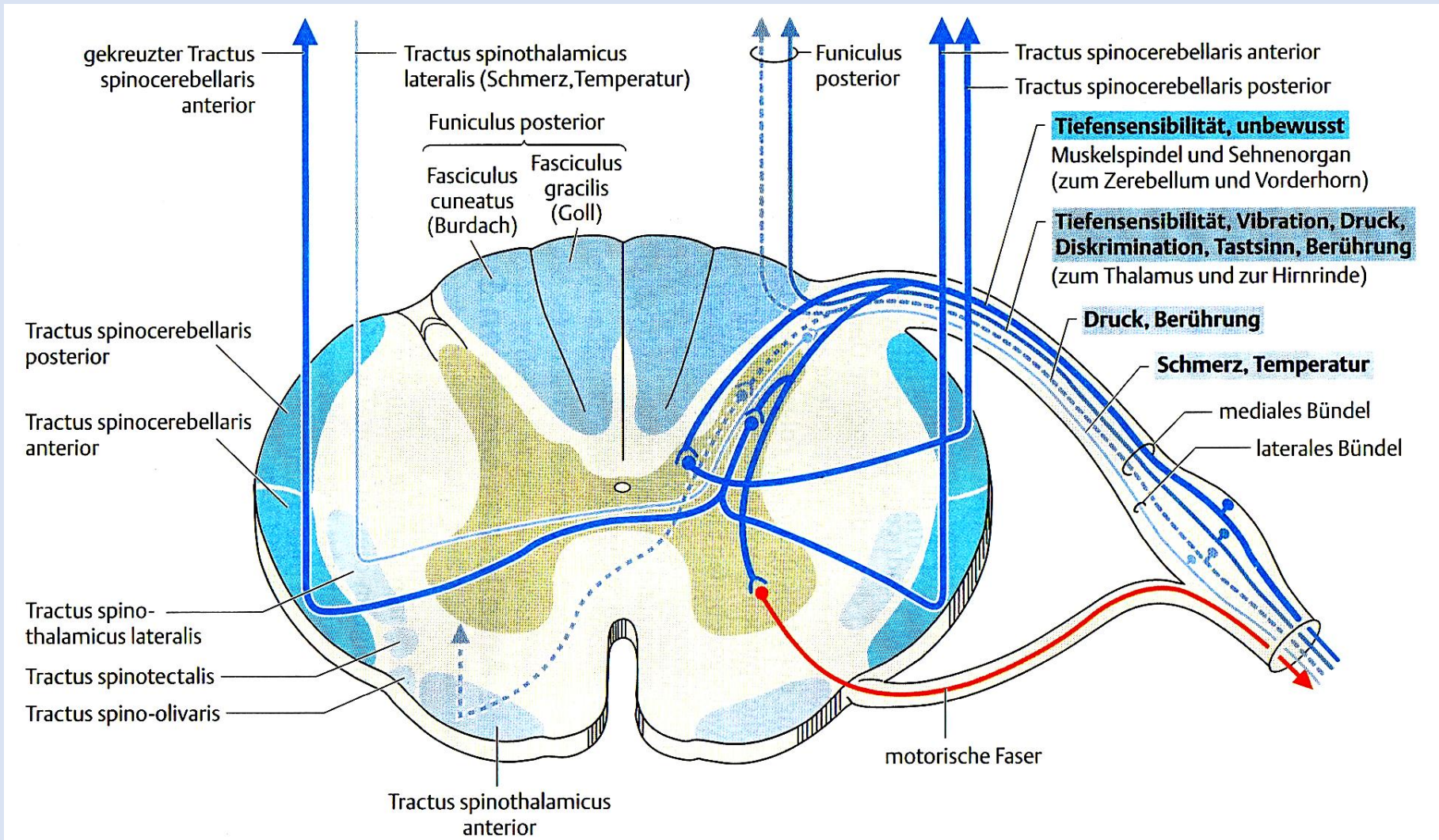
Tr. spinothalamicus lateralis

Schmerz-,
Temperaturempfindung

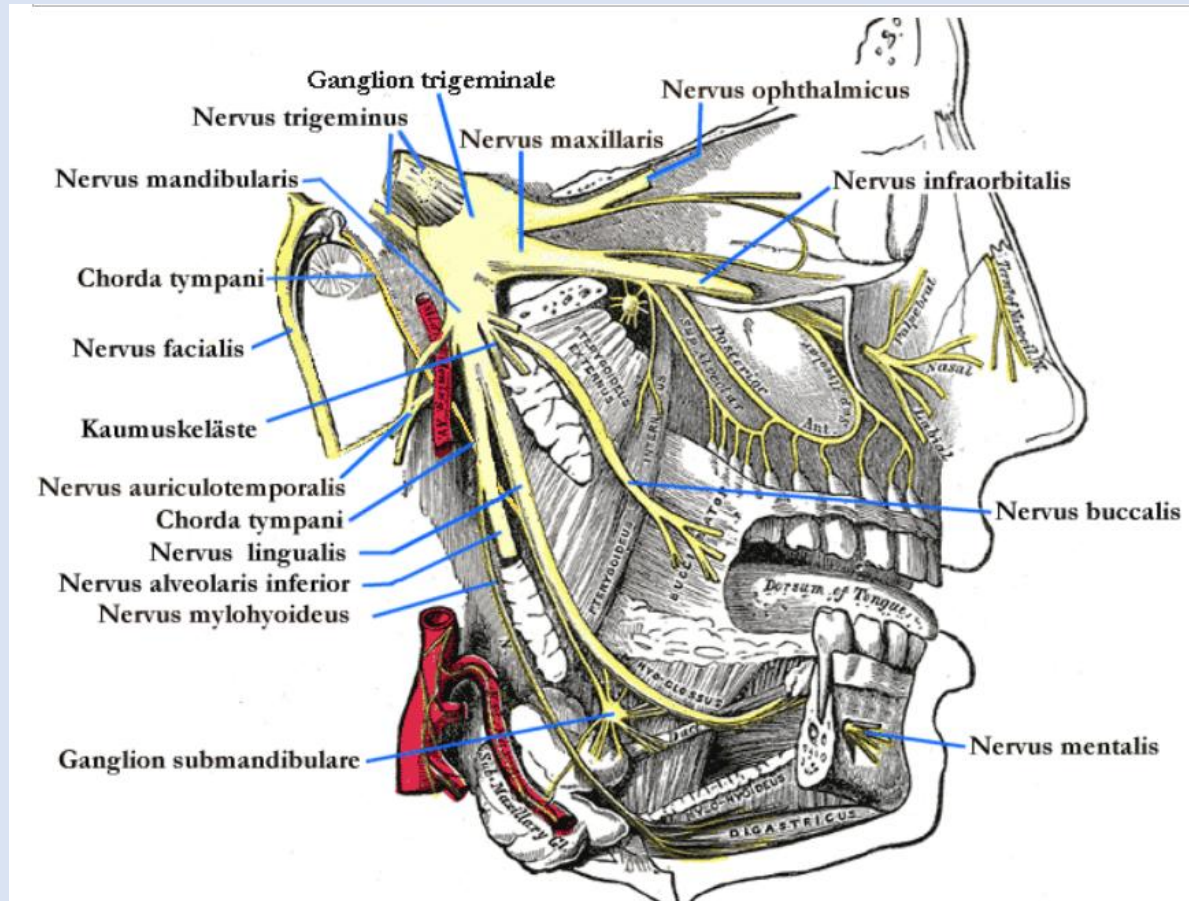
gekreuzt

Seitenstrang

Aufsteigende Bahnen des Rückenmarkes



Sensibilität aus dem Innervationsgebiet des Nervus trigeminus



Lemniscus trigeminalis dorsalis

(Tractus trigeminothalamicus dorsalis)

Epikritische Sensibilität

1. Neuron:

Zellkörper: Ganglion trigeminale (Gasseri)

Zentrales Axon: Nervus trigeminus

– Radix sensoria

2. Neuron:

Zellkörper: Nucleus sensorius principalis
nervi trigemini (dorsaler Anteil)

Pons

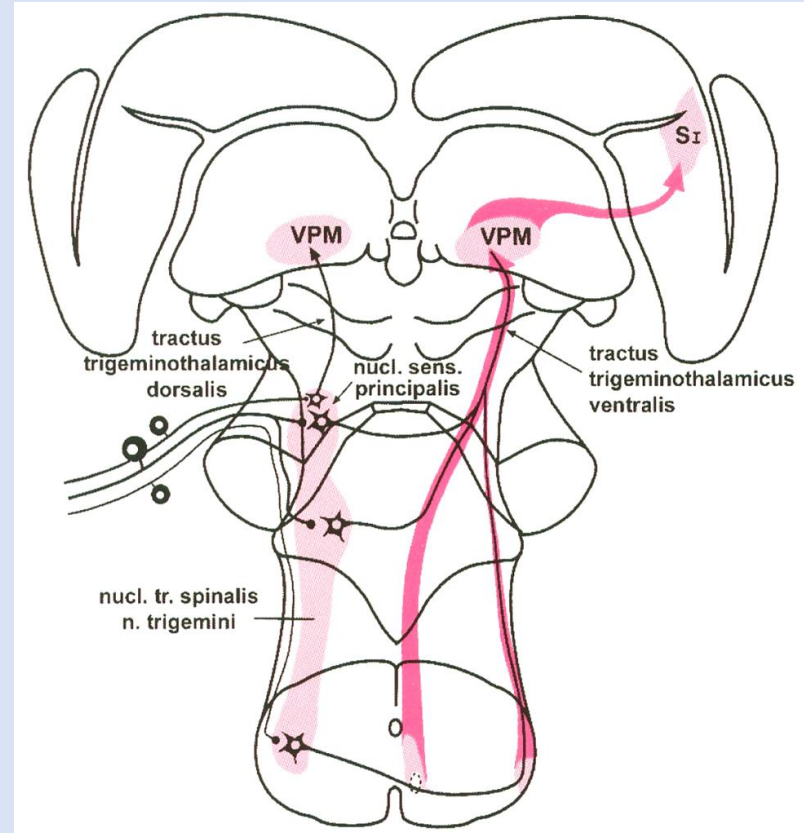
Axon: Lemniscus trigeminalis dorsalis

3. Neuron:

Zellkörper: Thalamus - Nucleus ventralis posteromedialis (VPM)

Axon: Radiatio thalami

→ endet im Gyrus postcentralis (primärer somatosensorischer Cortex)



Aus der Vorlesung von Frau Dr. Andrea Székely

Lemniscus trigeminalis

(Tractus trigeminothalamicus ventralis)

Aus der Vorlesung von Frau Dr. Andrea Székely

Protopathische Sensibilität

1. Neuron:

Zellkörper: Ganglion trigeminale (Gasseri)

Zentrales Axon: Nervus trigeminus
– Radix sensoria

2. Neuron:

Zellkörper: Nucleus tractus spinalis **Medulla oblongata**
nervi trigemini; **- Pons**

Nucleus sensorius principalis
nervi trigemini (ventraler Anteil) **Pons**

Axon: Lemniscus trigeminalis - **Kreuzung**

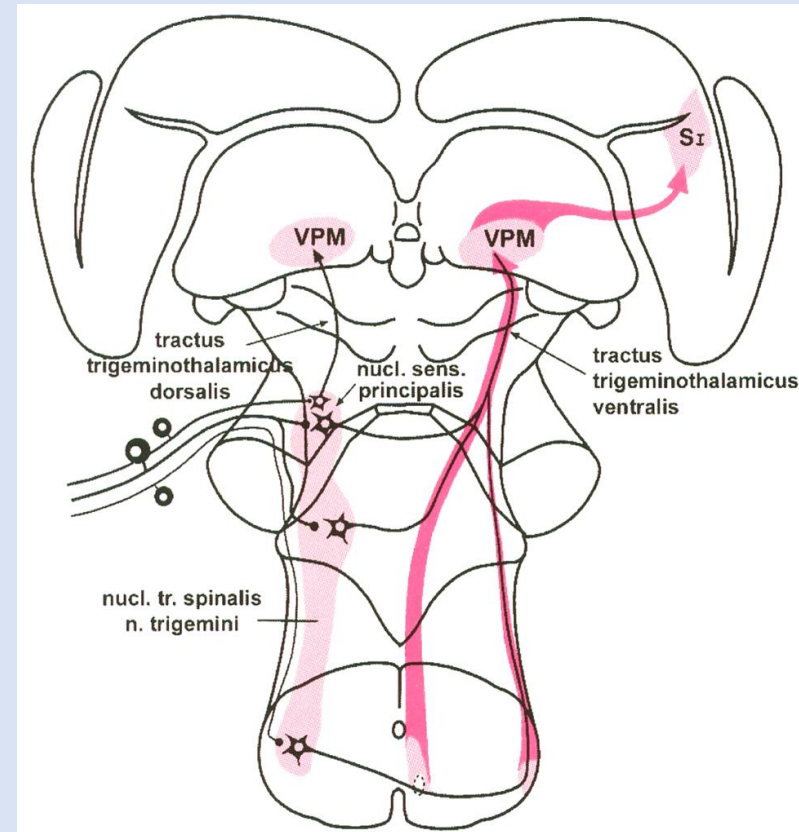
3. Neuron:

Zellkörper: Thalamus - Nucleus ventralis posteromedialis (VPM)

Axon: Radiatio thalami

→ endet im Gyrus postcentralis (primärer somatosensorischer Cortex)

Die Kollateralen der Axone der Schmerzempfindung erreichen nach Umschaltung im Thalamus (CM) den Frontallappen.



Neuroanatomie des Schmerzens



Schmerzen

Schmerz ist eine komplexe subjektive Sinneswahrnehmung, die als akutes Geschehen den Charakter eines Warn- und Leitsignals aufweist und in der Intensität von unangenehm bis unerträglich reichen kann.

Auslösung: mechanische, elektrische, thermische, chemische Reize

Sinnesorgane – Nozizeptoren:

→ nichtkorpuskuläre dendritische Nervenendigungen

Reaktion: Schutzreflexe

vegetative Reflexe

humorale Antwort

Wahrnehmung im primären und sekundären somatosensorischen Cortex

emotionelle Antwort (limbisches System)

Schmerzmodalitäten:

Oberflächenschmerzen

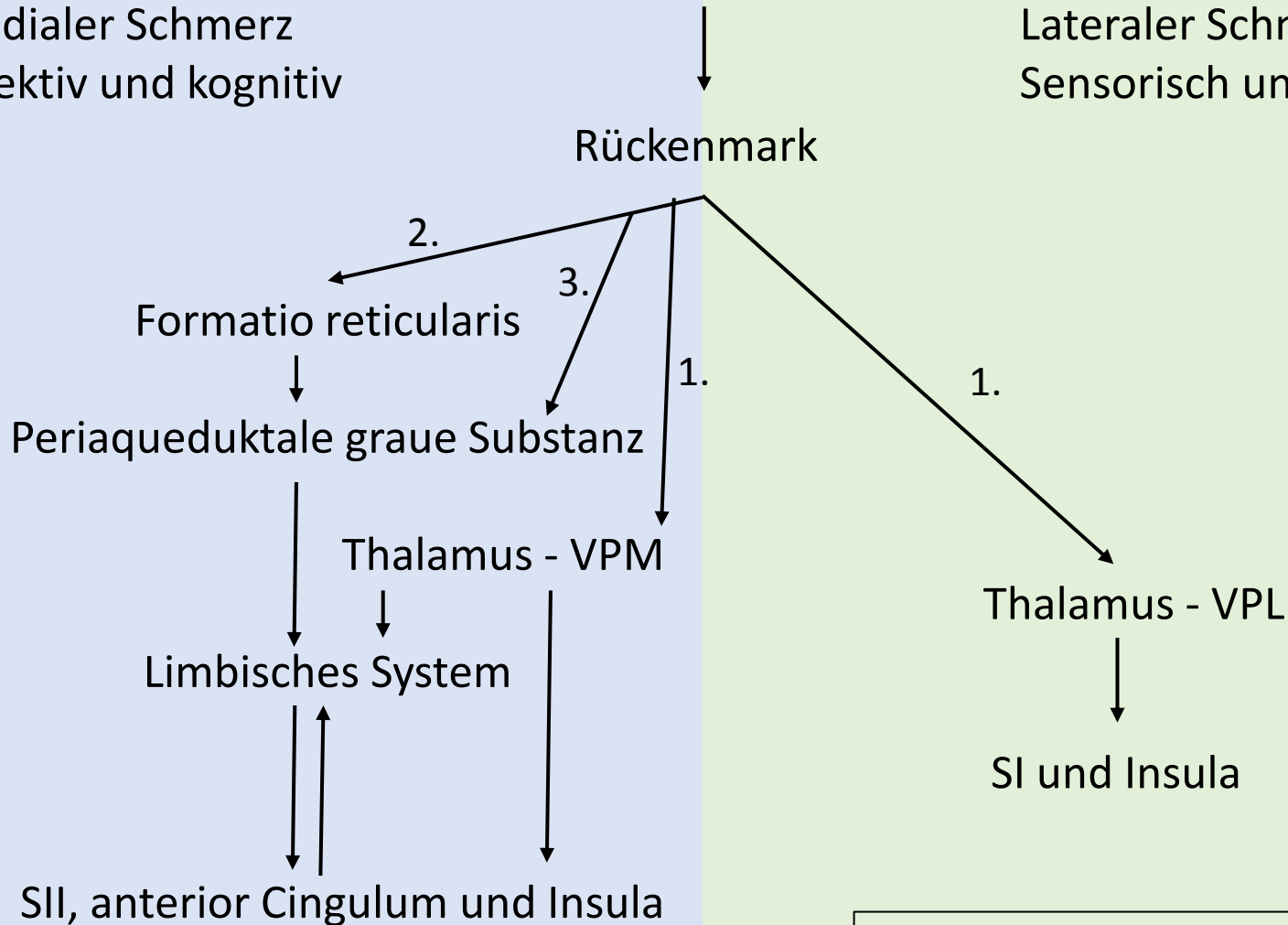
Tiefenschmerzen

Viszerale Schmerzen

Schmerz

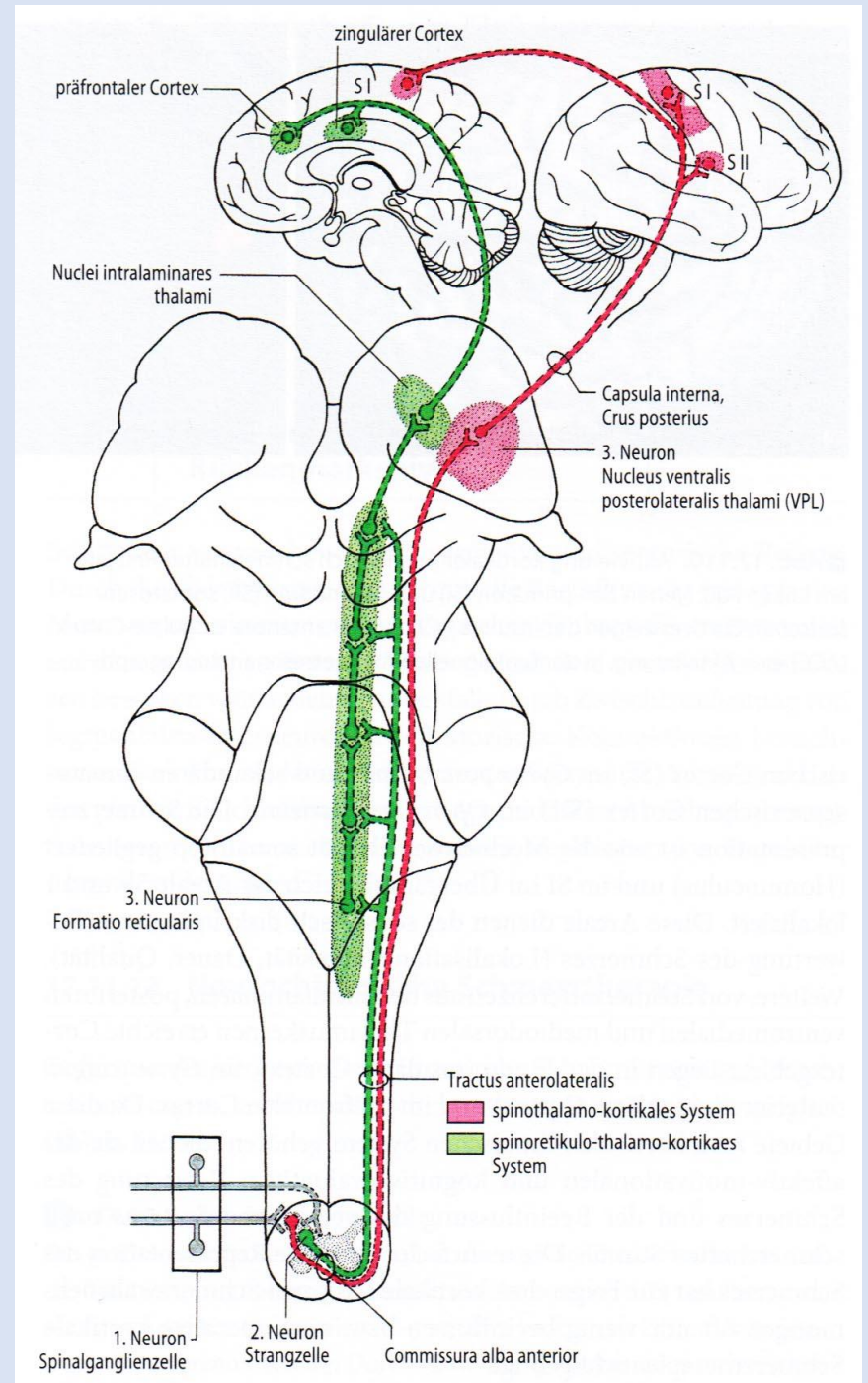
Medialer Schmerz
Affektiv und kognitiv

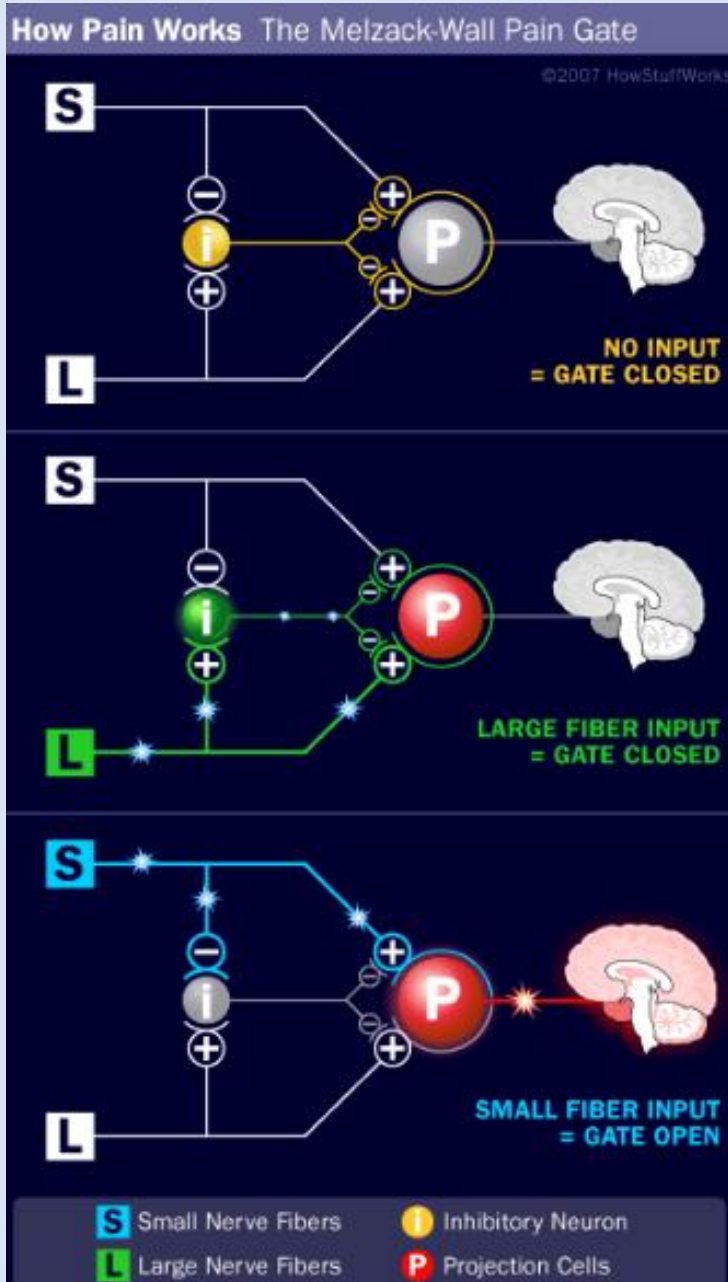
Lateraler Schmerz
Sensorisch und diskriminativ



1. Tr. spinothalamicus
2. Tr. spinomesencephalicus
3. Tr. spinoreticularis

Anterolaterales System





Kontrollschrankentheorie (Melzack-Wall)

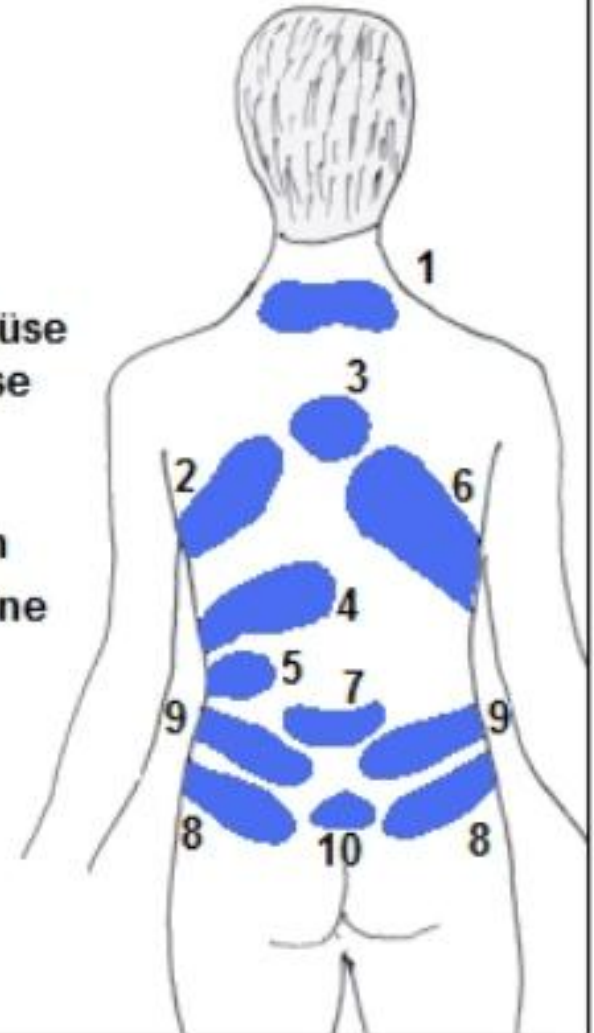
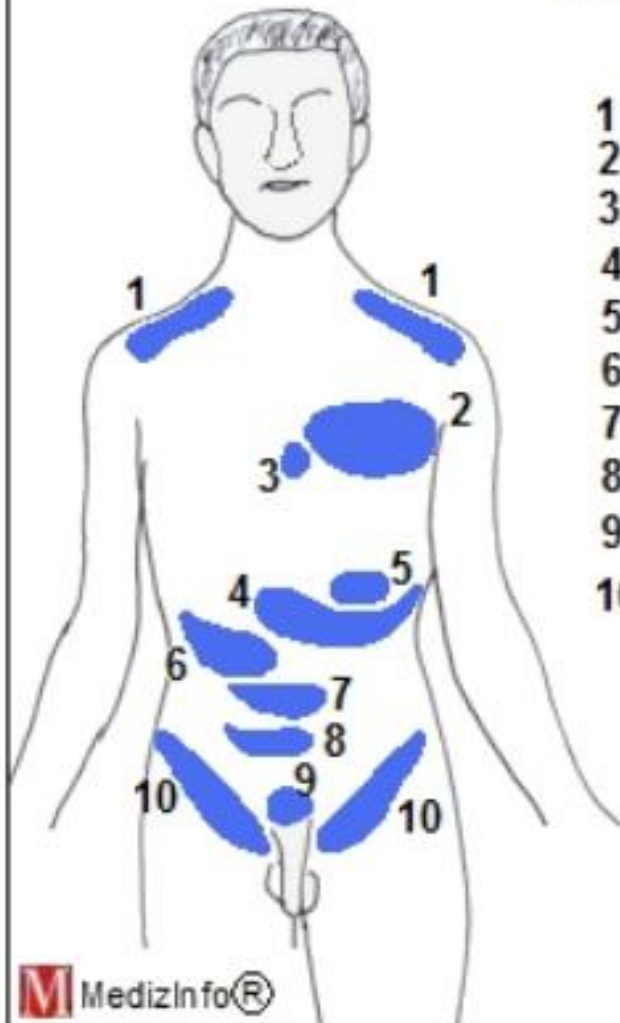
A β -Nervenfasern

**A δ - oder C-Nervenfasern
(nozizeptives Signal)**

Head-Zonen

Headsche Zonen

- 1 Zwerchfell
- 2 Herz
- 3 Speiseröhre
- 4 Magen
- 5 Bauchspeicheldrüse
- 6 Leber/Gallenblase
- 7 Dünndarm
- 8 Dickdarm
- 9 Harnblase/Nieren
- 10 Geschlechtsorgane



Klinische Aspekte

Allodynia: Schmerzen ohne Nozizeption

Hyperalgesie: übermäßige Schmerzempfindung (z.B. Entzündung)

Hypalgesie: herabgesetzte Schmerzempfindung

Analgesie: Ausschalten von Schmerzen (Anästhesie)

Parästhesie: eine am meisten nicht schmerzhaft empfundene Empfindung im Versorgungsgebiet eines Hautnervs ohne erkennbare adäquate physikalische Reize