

---

# Rückenmark und Spinalnerven

## Verbindungen und Bahnsysteme

---

David P. Wolfer

Institut für Bewegungswissenschaften und Sport, D-HEST, ETH Zürich

Anatomisches Institut, Medizinische Fakultät, Universität Zürich

377-0107-00 Nervensystem / Anatomie, Di 19.11.2024 08:15-10:00

# Lernziele dieser Anatomievorlesung: Studierende können ...

---

- **Merken und Erinnern**

1. intrinsische Systeme des Rückenmarks nennen und definieren
2. Ursprung und Ziel der wichtigsten auf- und absteigenden Bahnverbindungen des Rückenmarks nennen
3. die Lokalisation ausgewählter Bahnsysteme auf dem Rückenmarksquerschnitt zeigen
4. Faserverlauf und Umschaltstationen des anterolateralen und lemniskalen Bahnsystems zeigen
5. den Faserverlauf des Tractus corticospinalis (Pyramidenbahn) zeigen

- **Verstehen und Anwenden**

1. die Arbeitsteilung der Nervenzelltypen des Rückenmarks in der Informationsverarbeitung und in der Kommunikation mit Peripherie und Gehirn erläutern
2. die strukturellen Voraussetzungen der somatotopischen Abbildung der Peripherie in der Grosshirnrinde (Homunculus) durch Vermittlung sensibler Bahnsysteme erläutern
3. die strukturellen Voraussetzungen der somatotopischen Repräsentation des Bewegungssystems in der Grosshirnrinde (Homunculus) durch Vermittlung motorischer Bahnsysteme erläutern
4. funktionelle Konsequenzen von Teil-Läsionen des Rückenmarks diskutieren.

# Fakultative Lernmaterialien für diese Vorlesung

---

- Lehrbuch: Trepel, «Neuroanatomie»
  - 3 Rückenmark, 3.4 Graue Substanz des Rückenmarks
  - 3 Rückenmark, 3.5 Weisse Substanz des Rückenmarks
- LernAtlas: Prometheus  
«Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem»  
A Allgemeine Anatomie
  - 8.9 Motorische Innervation: Organisation des Rückenmarks und Reflexe
  - 8.10 Motorische Innervation: 1. und 2. motorisches Neuron
- LernAtlas: Prometheus  
«Kopf, Hals und Neuroanatomie»  
B Neuroanatomie
  - 1.10 Somatosensibilität
  - 1.11 Somatomotorik
  - 11.4-10 Rückenmark und seine Blutgefäße

# Fallbeispiel: Problem

- Willkürmotorik

- ✘ spastische Lähmung:  
Ausfall willkürliche Zielmotorik, erhöhter Muskeltonus

- Reflexe

- ✘ Muskeldehnungsreflexe links stärker als rechts:  
Patellarsehnenreflex (PSR),  
Achillessehnenreflex (ASR)

- ✘ pathologischer Reflex: positives Babinski-Zeichen

- Sensibilität

- ✘ Ausfall Berührungssensibilität (Pinsel)

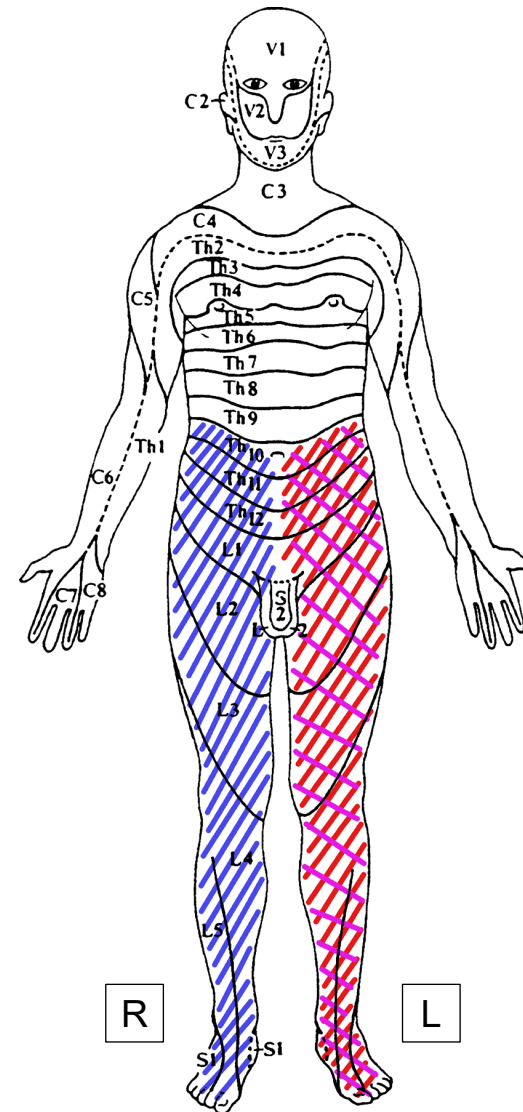
- ✘ Ausfall Vibrationsempfindung (gedämpfte Stimmgabel)

- ✘ Ausfall Propriozeption (Bewegungs- und Lagesinn)

- ✘ Ausfall Schmerzempfindung (Unterscheidung spitz/stumpf)

- ✘ Ausfall Temperaturempfindung (Unterscheidung kalt/warm)

→ dissoziierte Sensibilitätsstörung



# Übersicht Verschaltungen / 3 Ebenen der Informationsverarbeitung

## □ Informationsverarbeitung innerhalb Rückenmark

- intrinsische Systeme: Eigenapparat (Binnenzellen)
- Reflexzentren für monosynaptische (z.B. Muskeldehnungsreflexe, gesteigert bei dauerhaftem Ausfall absteigender Systeme) und polysynaptische Reflexe (z.B. nozizeptive Reflexe)
- sensible Verarbeitung (v.a. Schmerz- und Temperaturreize)
- prämotorische Netzwerke:  
Koordinierte Aktivierung und Erschlaffung von synergistischen und antagonistischen Muskeln
- CPG (central pattern generators): generieren autonom rhythmische Bewegungen, z.B. Gehen, Laufen, Flügelschlag

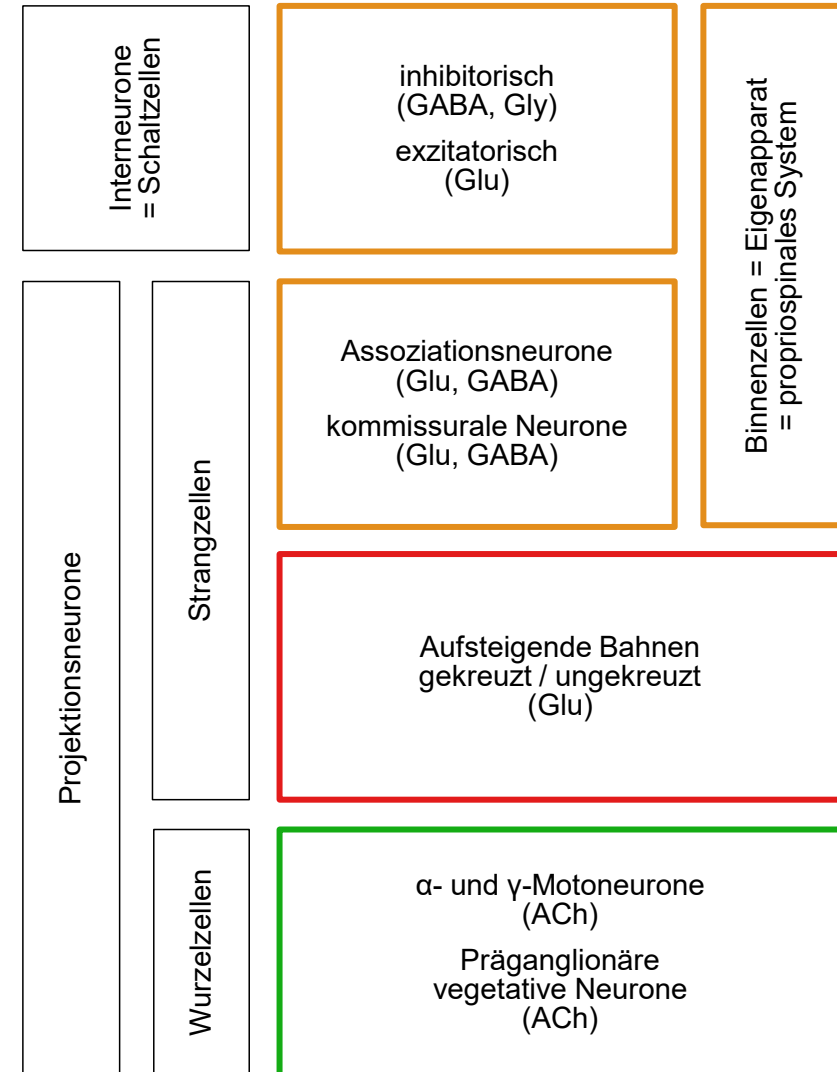
## □ Kommunikation mit Gehirn

- aus Rückenmark aufsteigende Bahnen
- aus Gehirn absteigende Bahnen\*

## □ Kommunikation mit Peripherie

- efferent (motorisch), afferent\*
- somatisch, vegetativ

\* Zellkörper ausserhalb Rückenmark, im Rückenmark nur Nervenfasern



# Aufsteigende Bahnsysteme

## □ Viszerales spinoretikuläres System (vegetativ)

- sensible Signale aus inneren Organen (ua. Verdauungstrakt: spinaler Schenkel der «gut-brain axis»), Empfindung fakultativ (zB. Eingeweideschmerz, Völlegefühl, Stuhl/Harndrang)
- steigt als Teil des Tr (Tractus) spinoreticularis zur Formatio reticularis des Hirnstamms auf

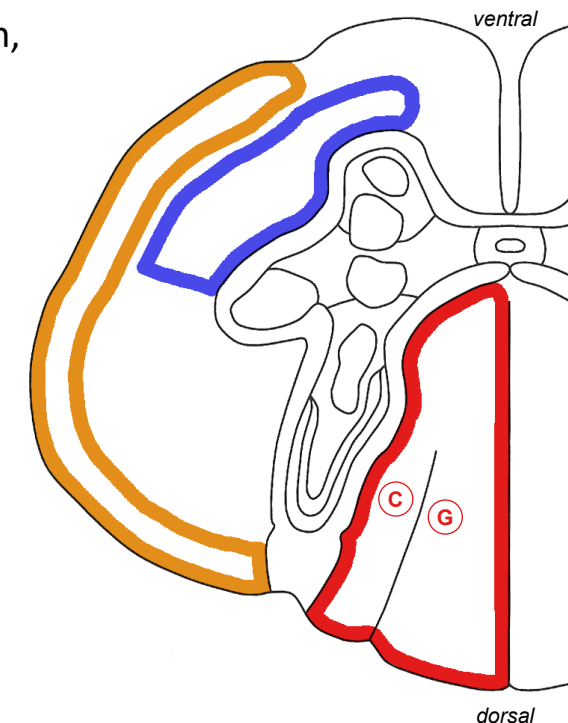
## □ Spinozerebelläres System (somatisch)

- Vollzugssignale aus Sensoren des Bewegungsapparats und Rückmeldung über allen Input, den  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneurone erhalten (spinale Efferenzkopie) direkt oder indirekt → Kleinhirn, keine bewusste Empfindung, bei Ausfall Ataxie = Störung der Bewegungskoordination
- Tractus spinocerebellaris posterior (=dorsalis) & anterior (=ventralis) (→ Moosfasersystem des Cerebellum), Tr spinoolivaris (→ Kletterfasersystem des Cerebellum)

## • Lemniskales und anterolaterales System (somatisch)

- lemniskal: feine Berührung, Vibrationsempfindung (Sensoren in Haut und Subcutis), Propriozeption (Lage- und Bewegungssinn, Muskelspindeln, Sehnenorgane)
- anterolateral: Schmerzempfindung (Nozizeption, Unterscheidung spitz-stumpf), grobe Druck und Berührungsempfindung, Temperaturempfindung (kalt-warm)
- gemeinsam: Signale erreichen Grosshirn über 3 in Serie geschaltete Neurone mit 2x Umschaltung und Verarbeitung an erregender Synapse → bewusste gut lokalisierbare Empfindung, unterschiedlich: Faserverlauf und Lokalisation der Neurone
- 3 Neurone in Serie → 1 Kanal → Signale aus einem oder wenigen Sensoren,  $\Sigma$  aller parallel geschalteten Kanäle → somatotopische Repräsentation des Körpers in der Hirnrinde

- spinozerebelläres System
- lemniskales System
- Ⓞ Fasciculus gracilis
- Ⓞ Fasciculus cuneatus
- anterolaterales & spinoretikuläres System



# Lemniskales System

## • 1° Neuron

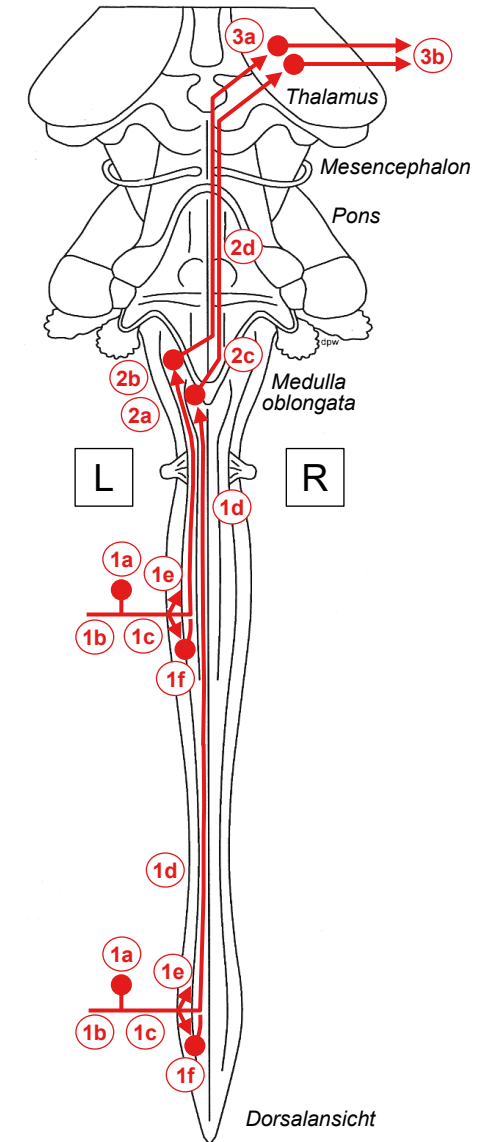
- ①a primärafferentes Neuron mit Zellkörper im Spinalganglion
- ①b peripherer Fortsatz kommt via Spinalnerv vom Rezeptor
- ①c zentraler Fortsatz in Radix dorsalis zum Rückenmark
- ①d Hauptfaser direkt → Hinterstränge ohne Umschaltung:  
S5-Th7 → Fasciculus gracilis, Th6-C1 → Fasciculus cuneatus
- ①e Kollateralen → graue Substanz (ev. via LISSAUER Randzone in andere Segmente): Afferenzen für Reflexe, Umschaltung auf spinozerebelläres System oder auf ①f Projektionsneurone, deren Fasern im Funiculus post zu Nuclei gracilis und cuneatus aufsteigen (fakultatives spinales Zwischenrelais des lemniskalen Systems auf Weg zum 2° Neuron)

## • 2° Neuron

- ②a Nucleus gracilis erhält Fasern aus S5-Th7 (Fasciculus gracilis)
- ②b Nucleus cuneatus erhält Fasern aus Th6-C1 (Fasciculus cuneatus)
- ②c alle abgehenden Fasern kreuzen in Decussatio lemniscorum
- ②d weiterer Verlauf durch Hirnstamm als Lemniscus medialis

## • 3° Neuron

- ③a Zellkörper im sensiblen Thalamus
- ③b Fasern → primäres somatosensibles Grosshirnrindenzentrum (S1, Area 1,2,3, Gyrus postcentralis): somatotope Repräsentation des Körpers als sensibler Homunculus



# Anterolaterales System

## • 1° Neuron

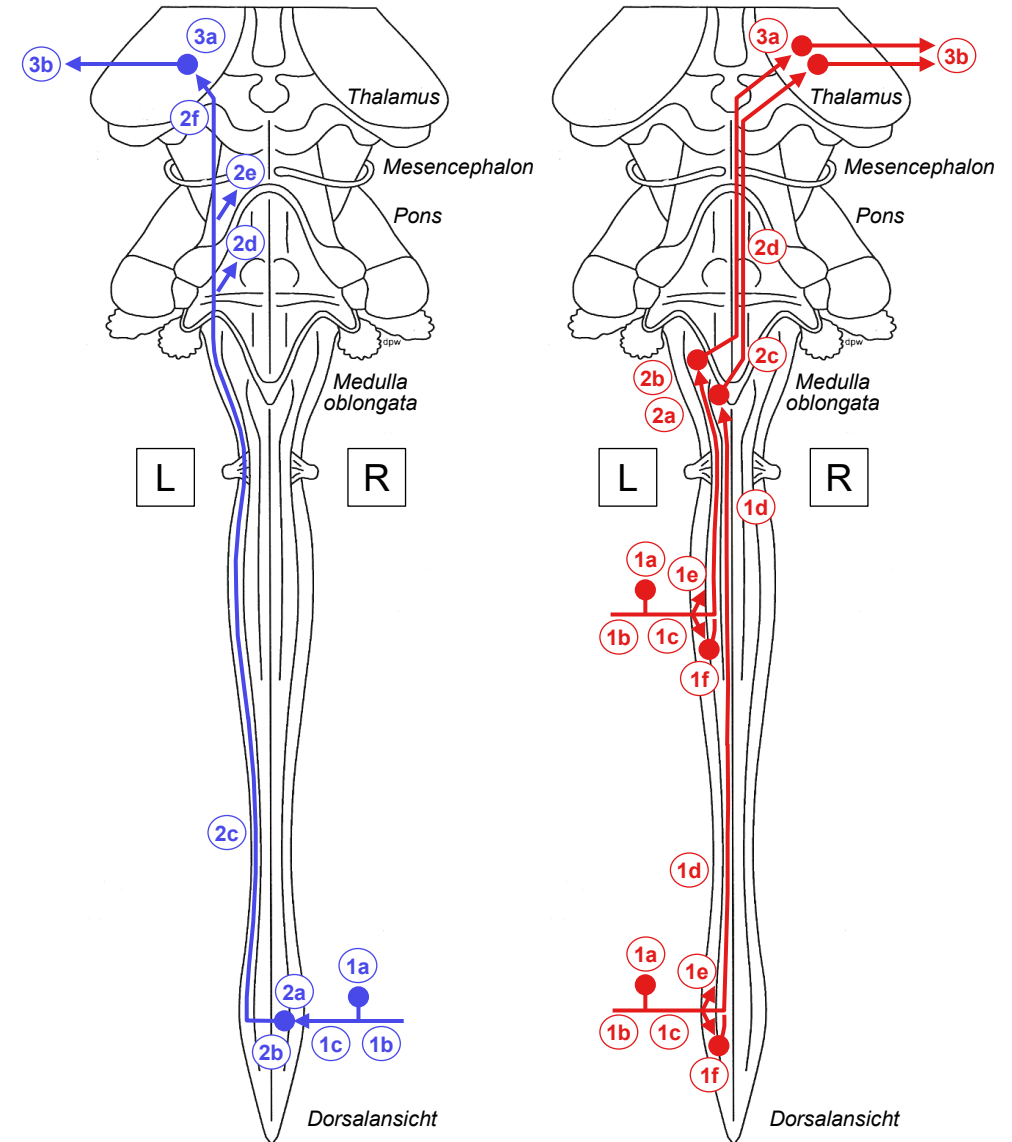
- ①a ①b primärafferentes Neuron wie lemniskales System, aber ...
- ①c Endigung aller Fasern in grauer Substanz des Rückenmarks (ev via Lissauer-Randzone Kollateralen in mehrere Segmente), dort Modulation der Signale durch lokale Interneurone (Lamina II) und absteigende Bahnen (z.B. aus Mittelhirn)

## • 2° Neuron

- ②a Zellkörper in Columna post. oder intermedia
- ②b Axon kreuzt Mittellinie in Commissura alba
- ②c nach Kreuzung Aufstieg im Funiculus anterior + lateralis
- ②d im Tr spinoreticularis → Formatio reticularis des Hirnstamms (zusammen mit Fasern des viszeralen spinoretikulären Systems)
- ②e im Tr spinomesencephalicus → Mittelhirn
- ②f als Tr spinothalamicus → Thalamus

## • 3° Neuron

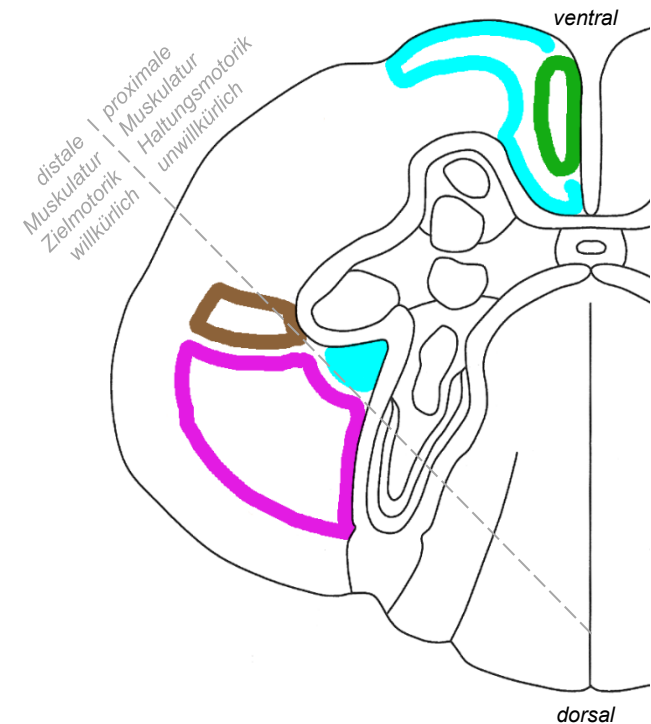
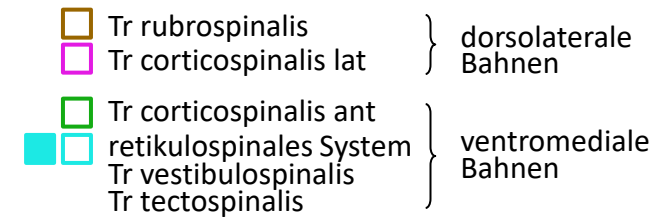
- ③a Zellkörper im sensiblen Thalamus, direkt erreicht nur durch Tr spinothalamicus
- ③b Fasern steigen zum primären somatosensiblen (S1, Area 1,2,3, Gyrus postcentralis) und anderen (z.B. Insula und Regionen des limbischen Systems) Rindenfeldern auf.





# Absteigende Bahnsysteme

- **Retikulospinales System (vegetativ und somatisch)**
  - Sammelbegriff für verschiedene bilateral (kontra > ipsilateral) ins Rückenmark absteigende Bahnen mit Ursprung aus Formatio reticularis des Hirnstamms
  - heterogene Funktionen! Lateraler Anteil ■: Kontrolle präganglionärer vegetativer Neurone; Rest somatisch: Modulation spinaler Reizverarbeitung (va. Schmerz) + Steuerung von prämotorischen Netzwerken, CPG, zT.  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneurone
- **Motorische Bahnen (somatisch)**
  - beeinflussen: prämotorischen Netzwerke, CPG, zT.  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneurone
  - Tr vestibulospinalis (aus Nuclei vestibulares) und motorische Anteile des retikulospinalen Systems → rumpfnaher Muskulatur (proximale / axiale Muskelgruppen) → Haltungs- und Stützmotorik
  - Tr tectospinalis (aus Colliculus superior im Mesencephalon): → Hals- und Nackenmuskulatur → Blickfolgebewegungen
  - Tr rubrospinalis (aus Nucleus ruber im Mesencephalon): → distale Extremitätenmuskulatur → Unterstützung der Zielmotorik
  - Tr corticospinalis (lateralis, anterior) = Pyramidenbahn: essentiell für willkürliche Kontrolle der Zielmotorik bei Primaten, akut schlaffe → chronisch spastische Lähmung bei Ausfall,  $\Sigma$  übrige motorische Bahnen = extrapyramidale Bahnen (unwillkürliche Motorik, vermitteln «Restmotorik» bei isoliertem Ausfall des Tr corticospinalis)



# Pyramidenbahn

- **Gemeinsam**

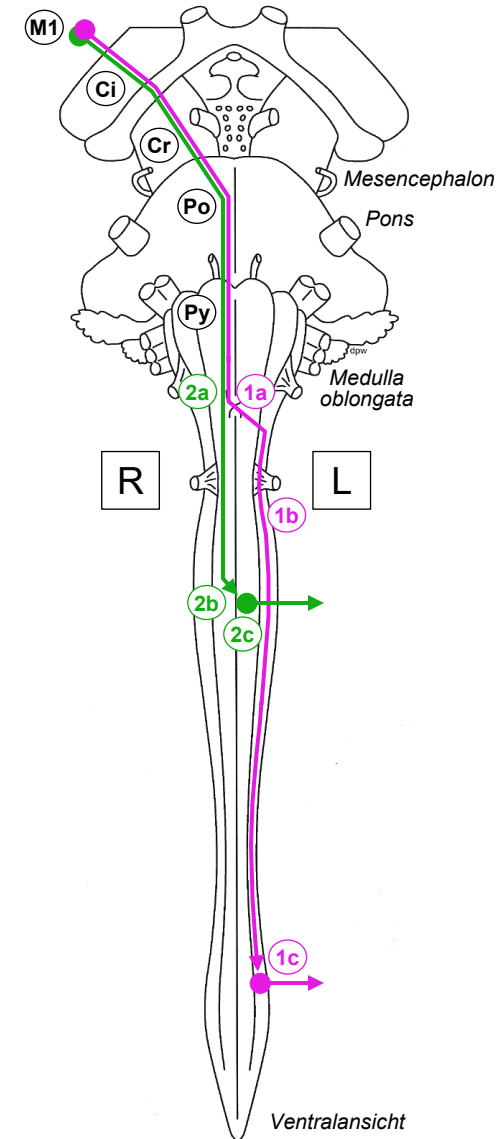
- Ⓜ1 Zellkörper (Pyramidenzellen, «upper motor neurons») vor allem im primären motorischen Grosshirnrindenfeld (M1, Area 4, Gyrus praecentralis), va. distale Muskeln somatotop als motorischer Homunculus repräsentiert
- ⓐ Abstieg durch Capsula interna (häufiger Läsionsort bei Schlaganfall)
- ⓑ Verlauf als kompakter Faserstrang durch Mesencephalon im Crus cerebri
- ⓒ Durchtritt zwischen Ponskernen als verteilte kleinere Faserbündel
- ⓓ Kompakter Faserstrang in ventraler Medulla oblongata, Vorwölbung der Oberfläche als Pyramis

- **Tr corticospinalis lat (70-100% der Fasern)**

- Ⓛ1a Decussatio pyramidum bei Übertritt in Rückenmark
- Ⓛ1b Abstieg im Funiculus lateralis
- Ⓛ1c Endigung an prämotorischen Netzwerken, CPG, va. lateralen Gruppen von  $\alpha$ - und  $\gamma$ - Motoneuronen («lower motor neurons») aller Segmente

- **Tr corticospinalis ant (0-30% der Fasern)**

- Ⓛ2a Übertritt in Funiculus anterior ohne Kreuzung
- Ⓛ2b Kreuzung durch Commissura alba nahe beim Zielsegment
- Ⓛ2c Endigung an prämotorischen Netzwerken, CPG, va. medialen Gruppen von  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneuronen («lower motor neurons») bis ca. Segment Th6 (va Schultergürtel, Halswirbelsäule)



# Fallbeispiel: Problem

- Willkürmotorik

- ▨ spastische Lähmung:  
Ausfall willkürliche Zielmotorik, erhöhter Muskeltonus

- Reflexe

- ▨ Muskeldehnungsreflexe links stärker als rechts:  
Patellarsehnenreflex (PSR),  
Achillessehnenreflex (ASR)

- ▨ pathologischer Reflex: positives Babinski-Zeichen

- Sensibilität

- ▨ Ausfall Berührungssensibilität (Pinsel)

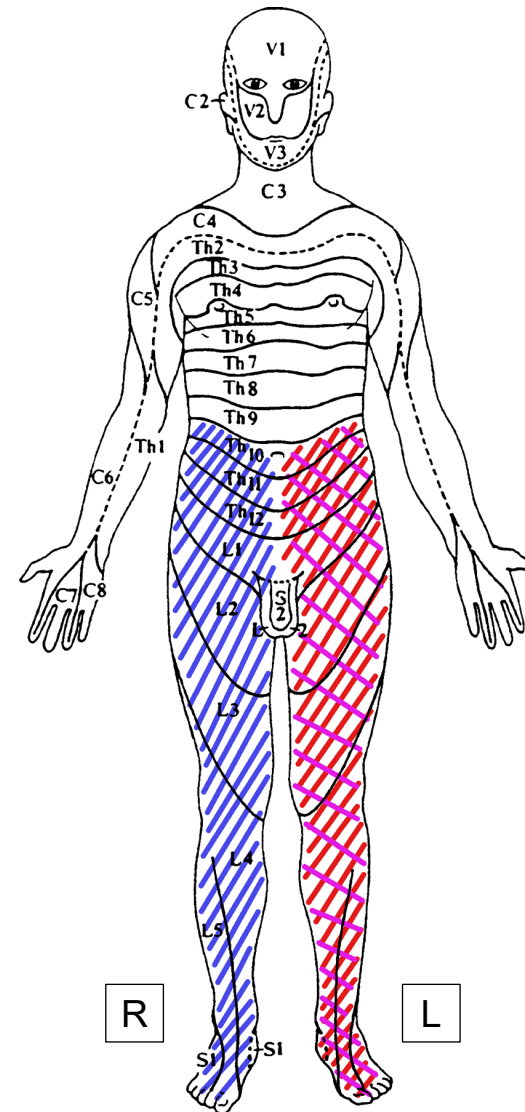
- ▨ Ausfall Vibrationsempfindung (gedämpfte Stimmgabel)

- ▨ Ausfall Propriozeption (Bewegungs- und Lagesinn)

- ▨ Ausfall Schmerzempfindung (Unterscheidung spitz/stumpf)

- ▨ Ausfall Temperaturempfindung (Unterscheidung kalt/warm)

→ dissoziierte Sensibilitätsstörung



# Fallbeispiel: Lösung I

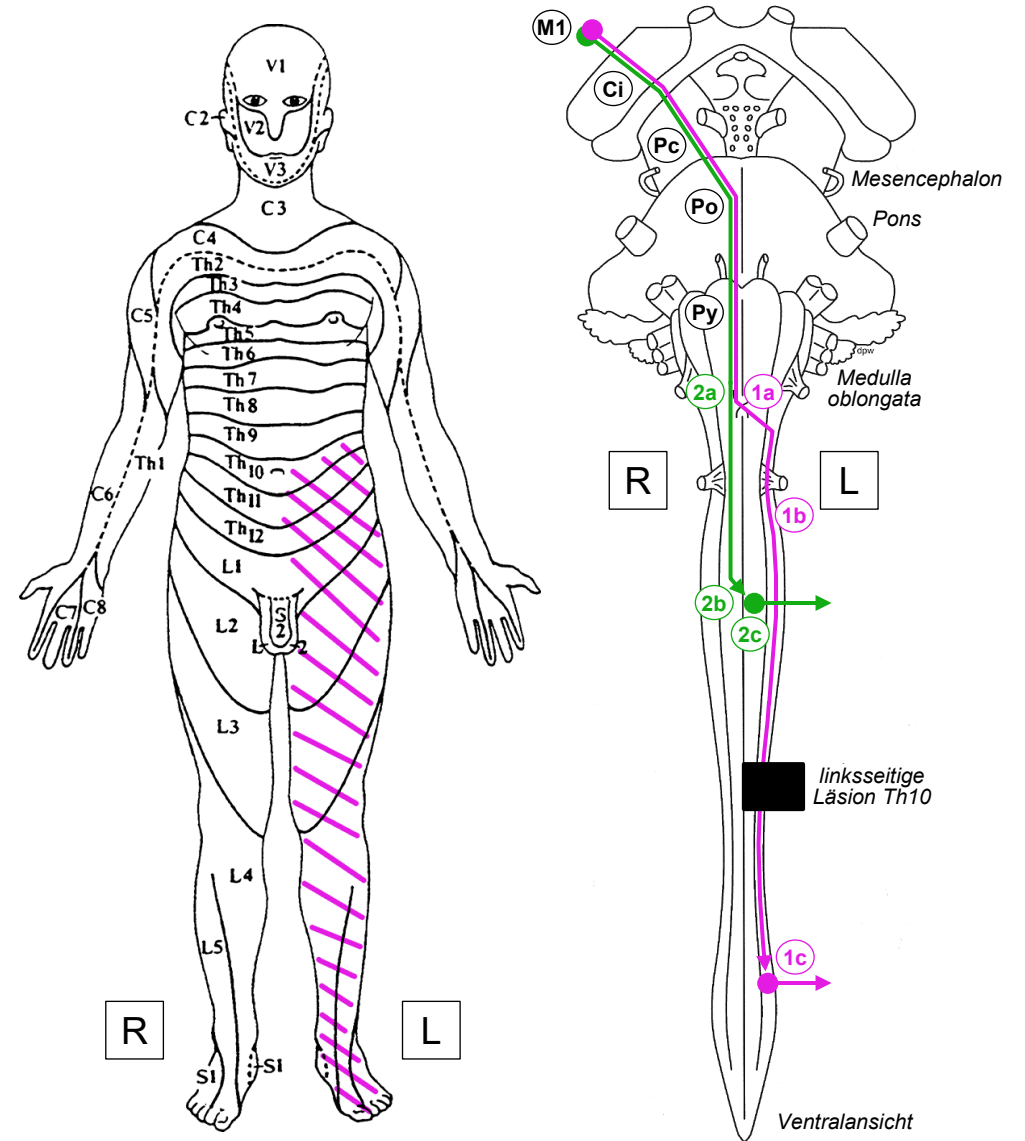
- Willkürmotorik

- ▨ spastische Lähmung:  
Ausfall willkürliche Zielmotorik, erhöhter Muskeltonus

- Reflexe

- ▨ Muskeldehnungsreflexe links stärker als rechts:  
Patellarsehnenreflex (PSR),  
Achillessehnenreflex (ASR)

- ▨ pathologischer Reflex: positives Babinski-Zeichen



# Fallbeispiel: Lösung II

- Willkürmotorik

- ✘ spastische Lähmung:  
Ausfall willkürliche Zielmotorik, erhöhter Muskeltonus

- Reflexe

- ✘ Muskeldehnungsreflexe links stärker als rechts:  
Patellarsehnenreflex (PSR),  
Achillessehnenreflex (ASR)

- ✘ pathologischer Reflex: positives Babinski-Zeichen

- Sensibilität

- ✘ Ausfall Berührungssensibilität (Pinsel)
  - ✘ Ausfall Vibrationsempfindung (gedämpfte Stimmgabel)
  - ✘ Ausfall Propriozeption (Bewegungs- und Lagesinn)
  - ✘ Ausfall Schmerzempfindung (Unterscheidung spitz/stumpf)
  - ✘ Ausfall Temperaturempfindung (Unterscheidung kalt/warm)

→ dissoziierte Sensibilitätsstörung  
(Brown-Séquard-Syndrom)

→ halbseitige Rückenmarksläsion

