

# Motorische Bahnsysteme, Pyramidenbahn.

Dr. Gábor Baksa / Dr. Tamás Ruttkay

Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie

2017.

## Motorische Funktionen:

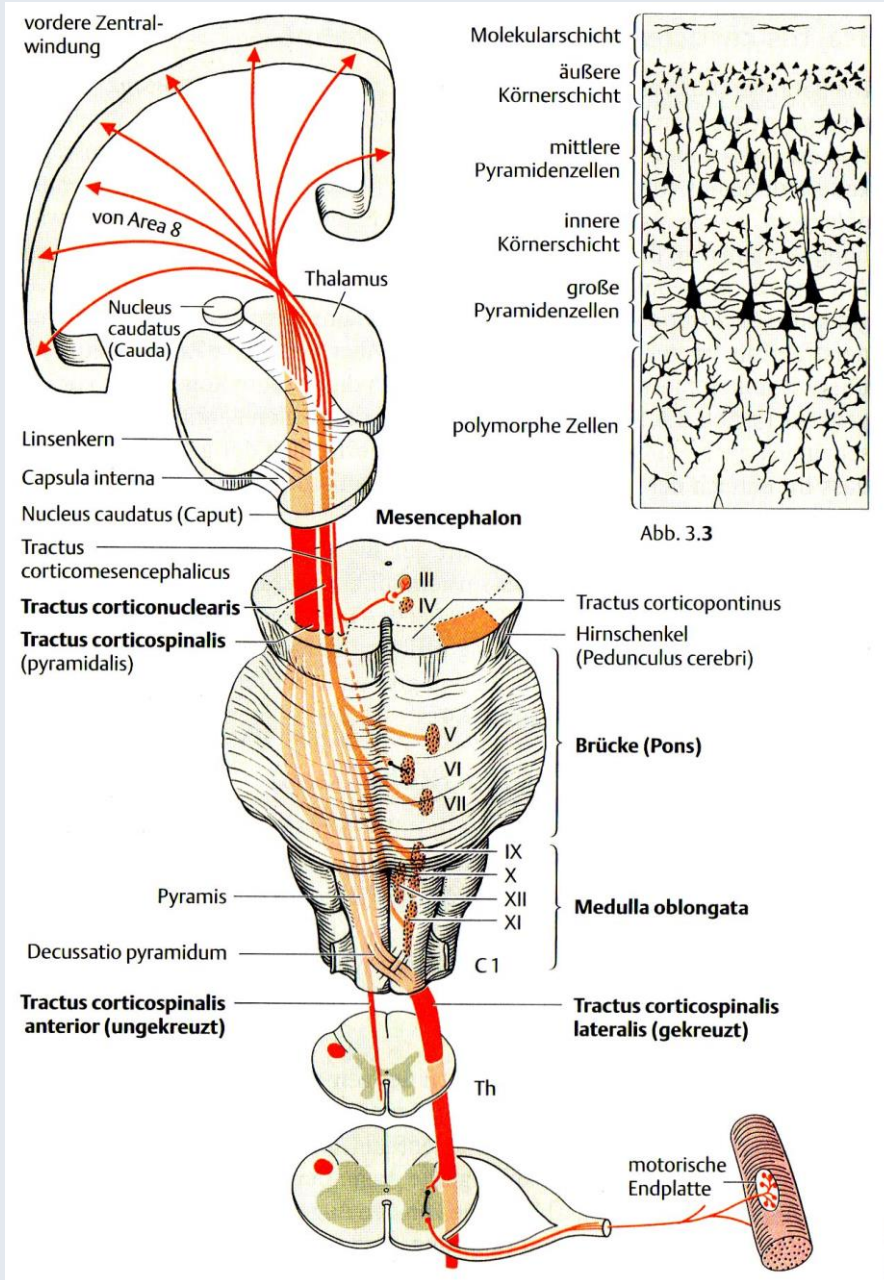
1. Hervorrufen erlernter Bewegungsabfolgen
2. Planung der Bewegung
3. Antrieb der Bewegung
4. Synergien
5. Ausführung der Bewegung
6. Propriozeptive Kontrolle der Bewegung
7. Veränderung der Bewegung (Korrektur)
8. Visuelle und taktile Verfolgung der Bewegung
9. Beendigung der Bewegung



Klassische Aufteilung der motorischen Bahnsysteme:

**Pyramidales + Extrapyramidales System**

# Das pyramidale System



+

# Regulationskreise, Verbindungen:

**Kleinhirn**

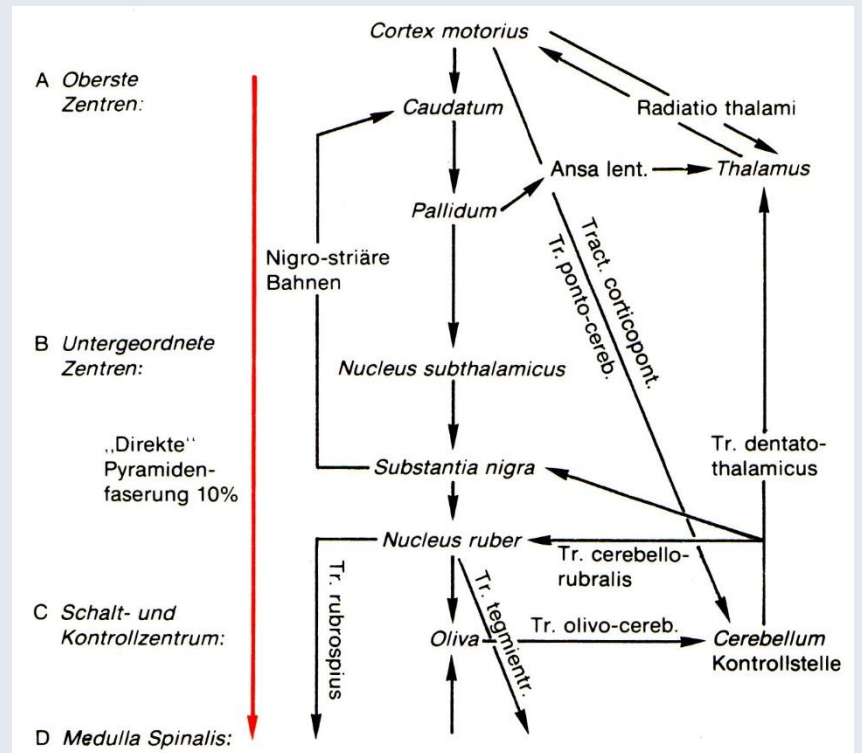
**Basalganglien**

**Thalamus**

**Hirnstamm**

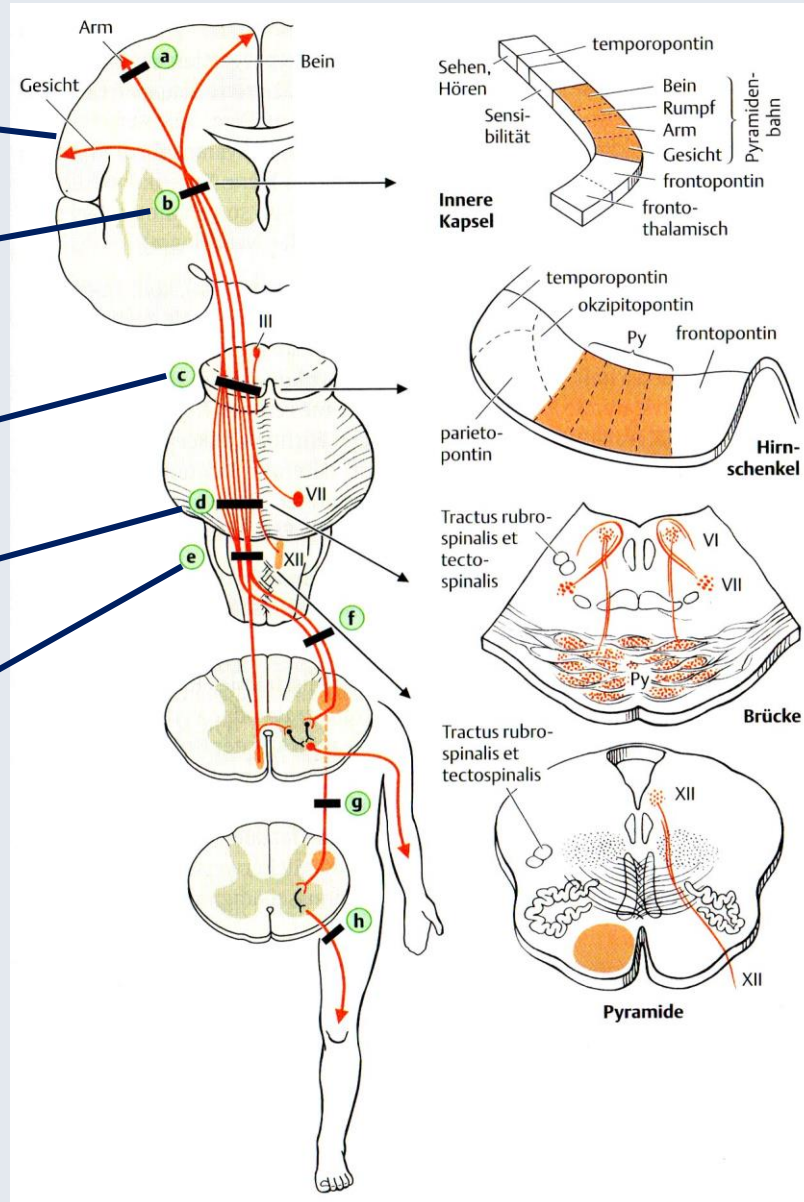
Informationen aus den Sinnesorganen

Sensible und propriozeptive Informationen



# Das pyramidale System (Pyramidenbahn)

- „motorischer“ Cortex
- Capsula interna (Genu)
- Basis pedunculi cerebri
- Basis pontis
- PYRAMIDE



Übermittler der willkürlichen Bewegungen

→ Name kommt von der Pyramide der Medulla oblongata

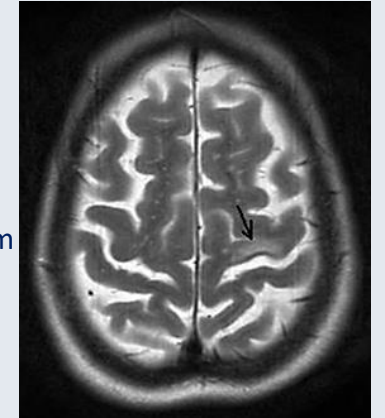
oder

Pyramidenzellen des motorischen Cortex



# Motorische Rinde

Im engsten Sinne bedeutet das primäre motorische Areal:  
Brodmann 4, also Gyrus precentralis (an MRT-Aufnahmen ist als  
ein schräger Streifen sichtbar: „motor strip“)



www.ispub.com

Im weiten Sinne gehören alle Areale dazu, die  
durch Reizung eine motorische Antwort ergeben können:  
Br 6 $\alpha$  und 6 $\alpha$  $\beta$  (premotorischer und supplementärer Cortex)

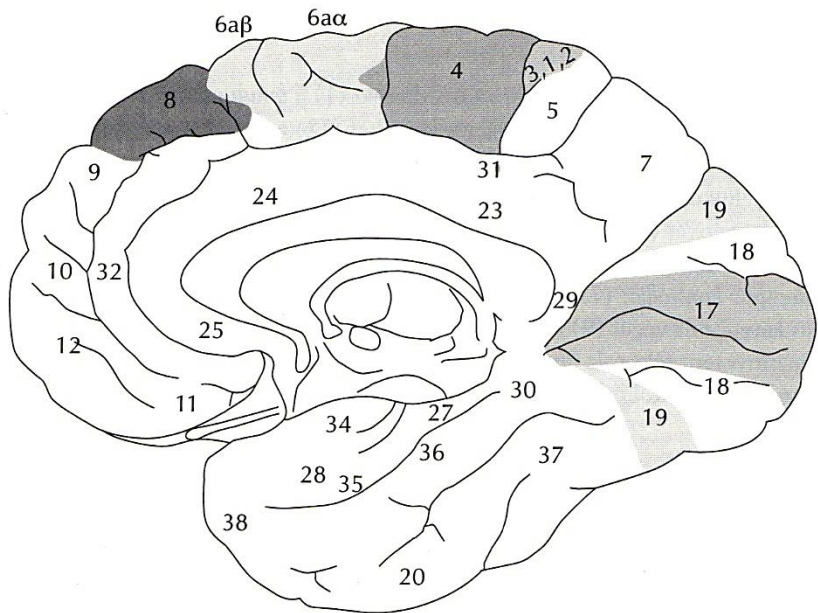
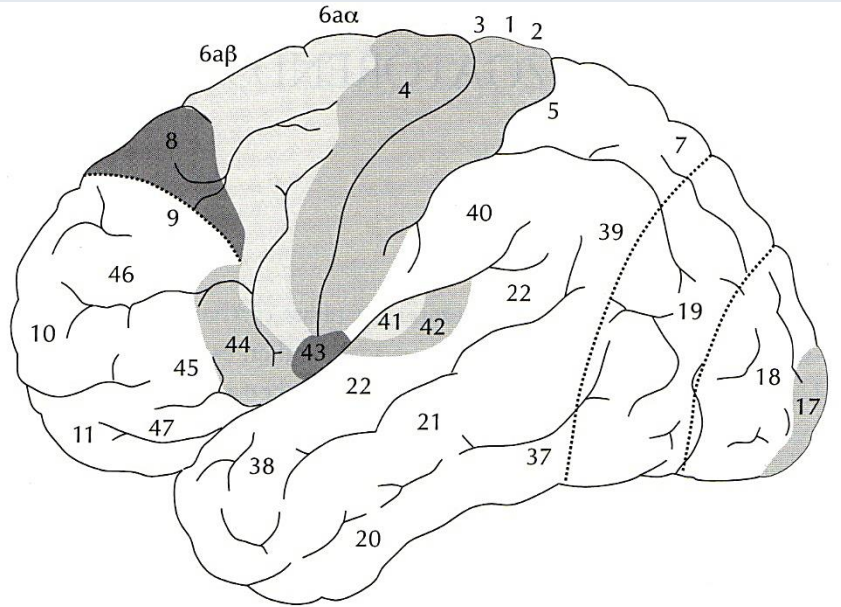
Br 8 (frontales Augenfeld)

Br 3, 1, 2 (sensorischer Cortex)

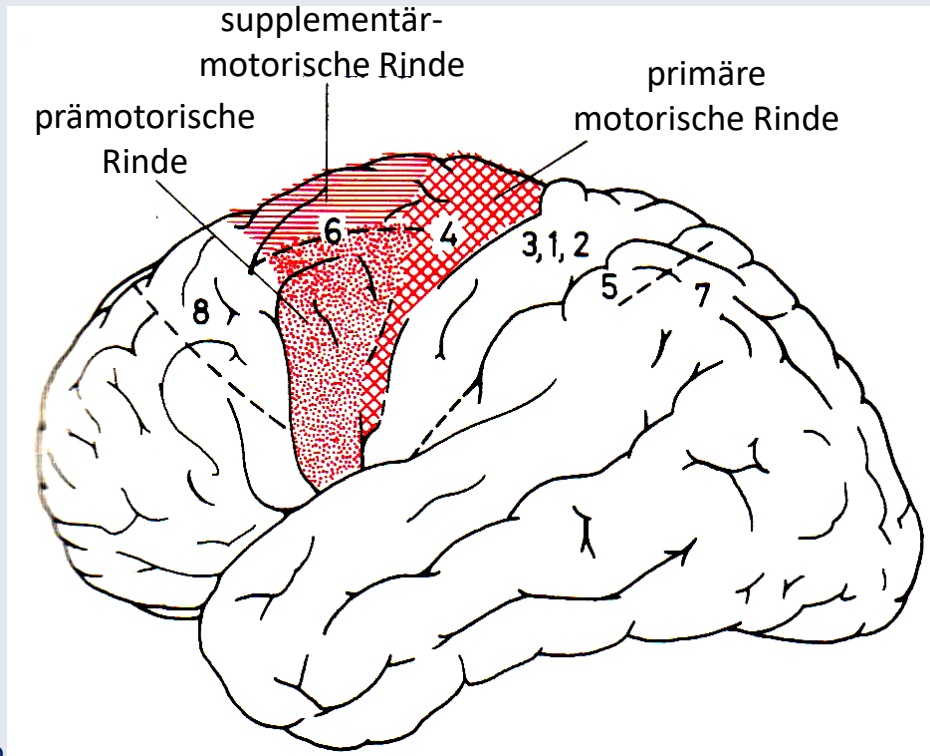
Br 5, 7 (Lobulus parietalis sup. – Assoziationsgebiete)

Br 19 (Sehrinde)

...



# Motorische Rinde



Fonyó

## Primäre motorische Rinde: Brodmann 4

die Neuronen bestimmter Muskel(gruppen) sind an mehreren Stellen zu finden – Plastizität  
erlernte Bewegungen – Hervorrufen bestimmter Bewegungsabfolgen  
Synchronisation der Muskelkontraktionen (Synergie)

## Prämotorische Rinde: Brodmann 6 $\alpha$ und 6 $\beta$ (dorsolateraler Anteil)

Planung, Vorbereitung und Ausführung komplizierterer Bewegungen  
aktiviert sich früher, als die primäre motorische Rinde (Vorbereiter)  
verkürzt die Latenz der Bewegungsantwort

Zusammensetzung der Informationen:

Bewegungen  $\leftrightarrow$  Körperhaltung bzw. Sinnesorgane

## Supplementär-motorische Rinde: Brodmann 6 $\alpha$ und 6 $\beta$ (medialer Anteil)

Planung der Bewegungen, Vorbereitung der Bewegungsabfolgen

Antrieb der Bewegungen (inkl. Sprache)

Synchronisation zwischen Bewegungen und Rückmeldungen über die Bewegungen

unterschiedliche Bewegungssequenzen der Extremitäten

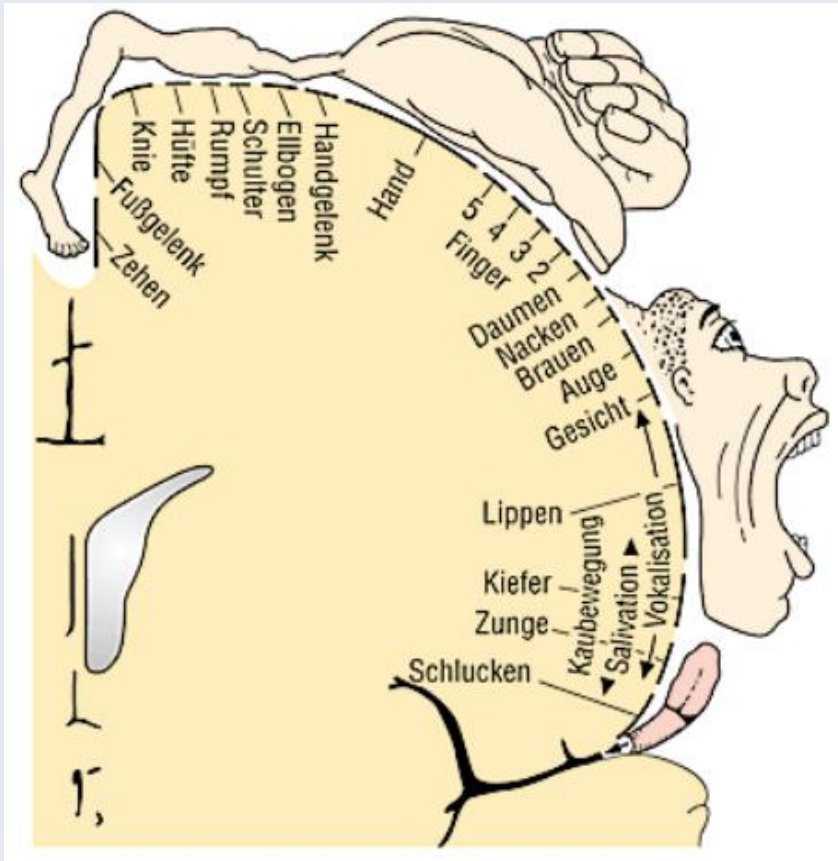
Hemmung der Spiegelneurone

Verbindung mit anderen Bereichen der Großhirnrinde

→ Somatotopie

# Somatotopie

Gleichermaßen der sensorischen Rinde, in der motorischen Rinde ist der Körper auch repräsentiert (unterschiedliche, eigene Areale).

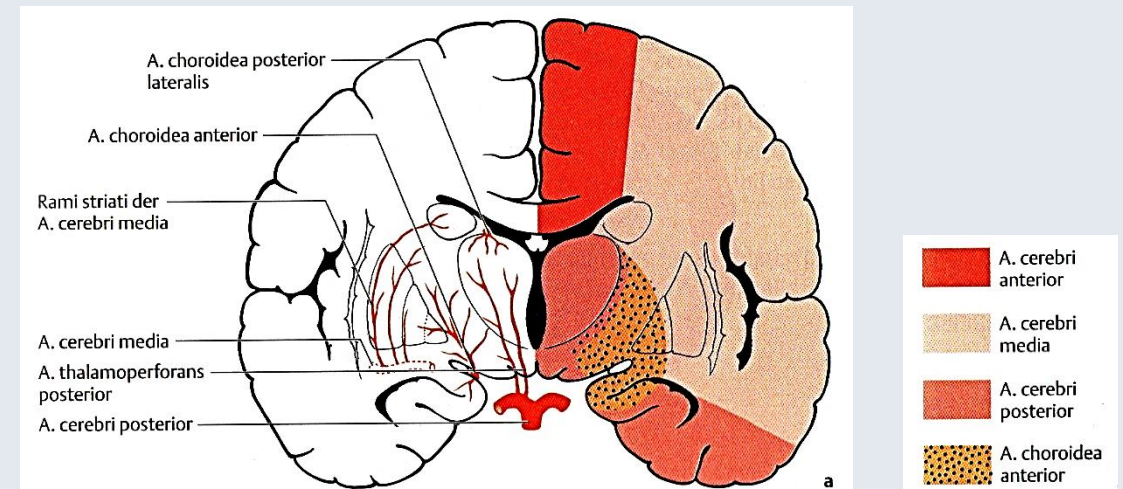


Schütz/Rothschuh

„motorischer Homunculus“

Die kortikale Repräsentation eines Muskels hängt mit der Feinheit der ausgeführten Bewegung, nicht mit der Masse des Muskels zusammen!

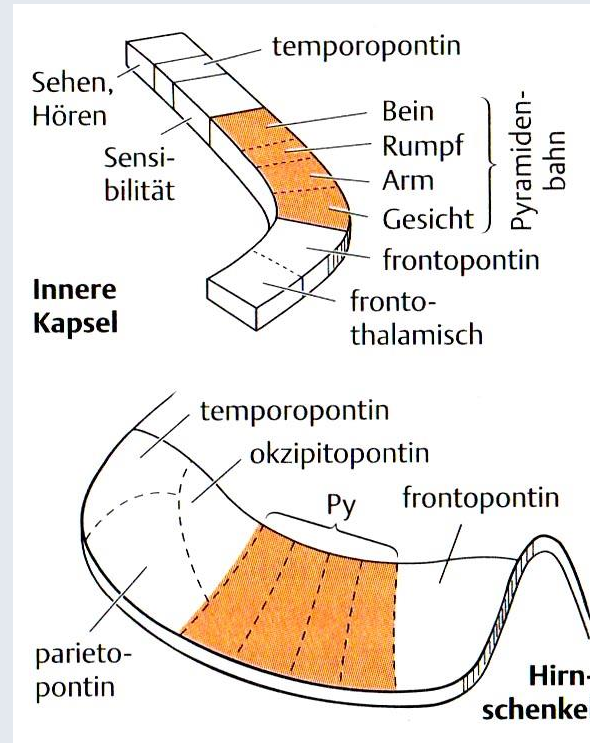
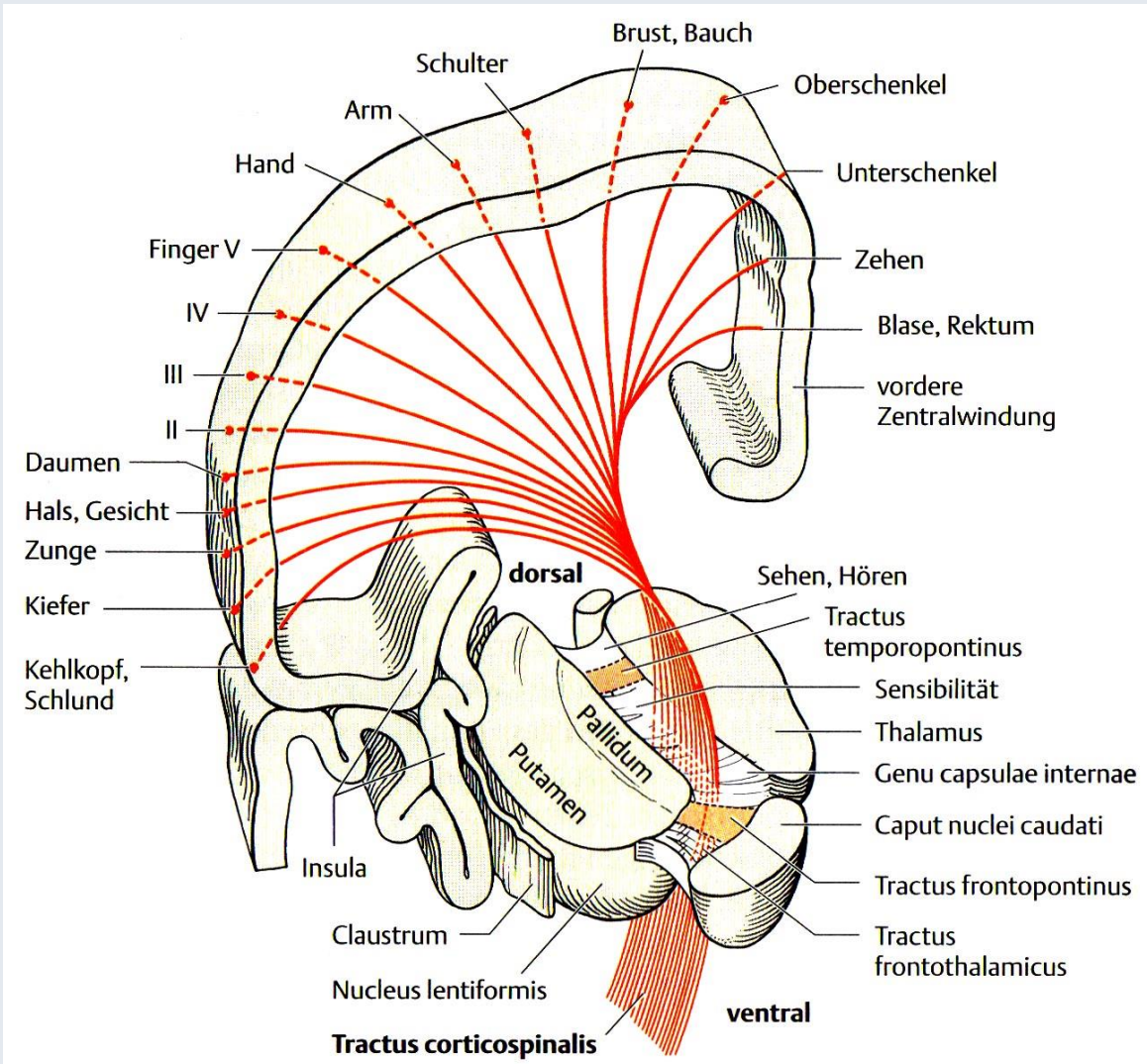
Rumpfmuskulatur, Muskeln im Beckenbereich sowie Muskeln der unteren Extremitäten besitzen beidseitige kortikale Repräsentation; beidseitige Repräsentation der oberen Extremitäten gibt es proximal, distal nur kontralateral (s. Schweregrade der Lähmungen)



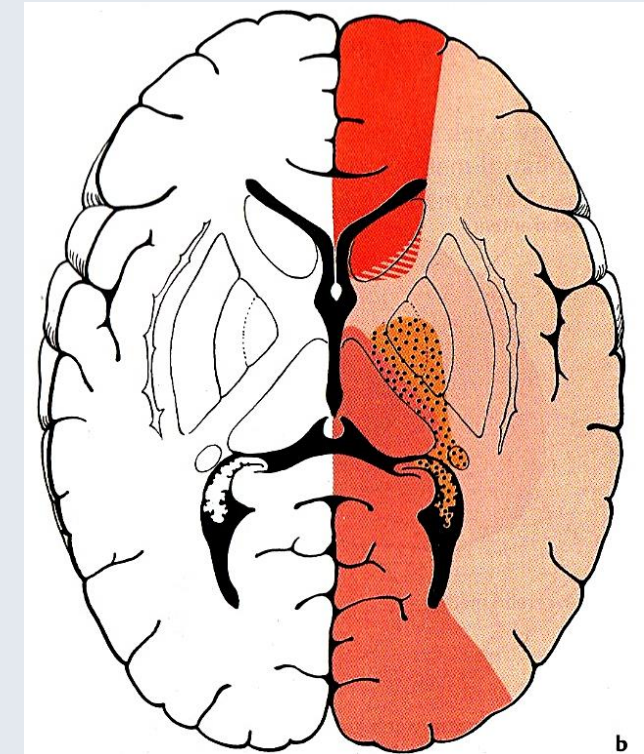
Duus



# Somatotopie



Duus

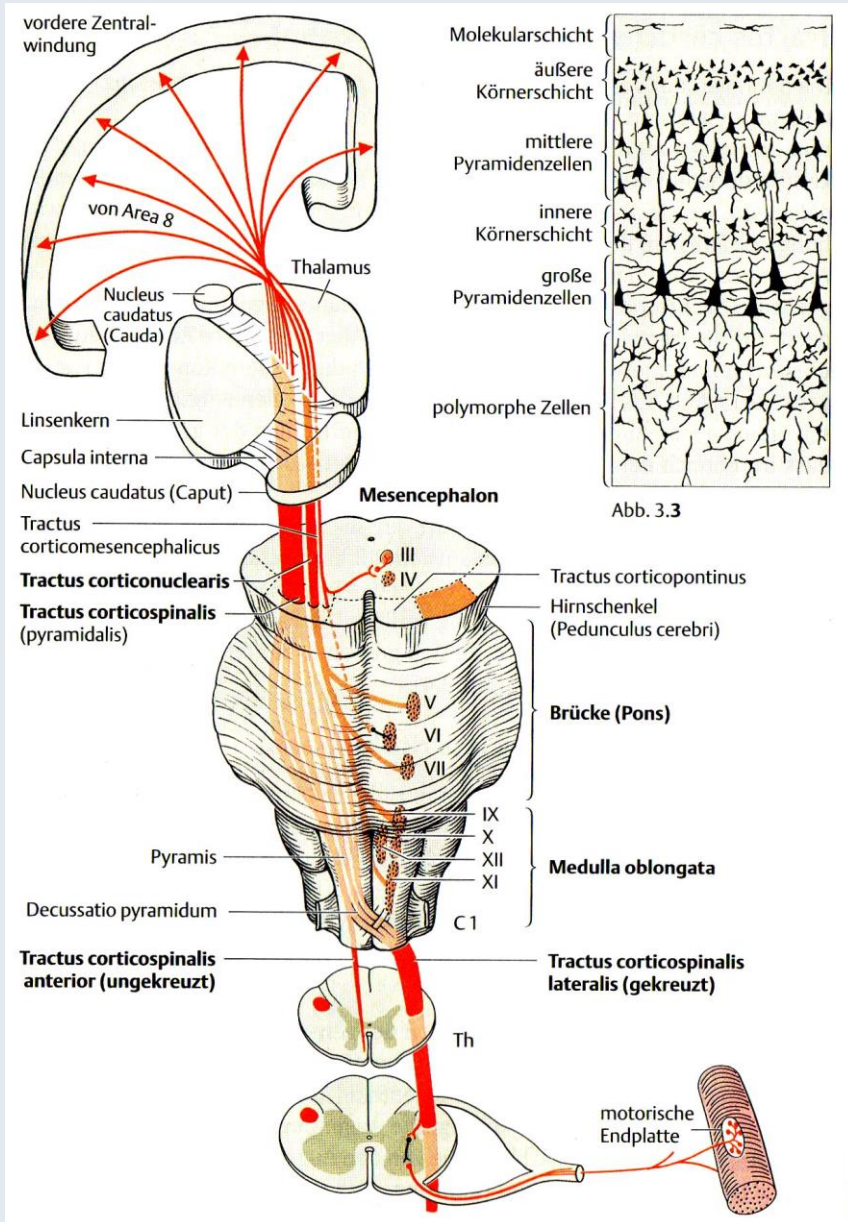


Duus

- A. cerebri anterior
- A. cerebri media
- A. cerebri posterior
- A. choroidea anterior

# Pyramidenbahn = Tractus corticospinalis

Duus



Die Axonen der Pyramidenbahn stammen nur 40 %-ig aus dem primären motorischen Rinde.

Die typischen Betz-Riesenzellen (Pyramidenzellen) ergeben nur 4 % der Axonen.

## Bahnen durch Basis pedunculi cerebri:

### Tractus corticospinalis = Pyramidenbahn

Tractus corticonuclearis (zu den motorischen Kernen anderer Hirnnerven)

→ Nn. V., VII., IX., X., XI., XII.

*Tractus corticomesecephalicus* (Br 8 – Kerne der Hirnnerven, die die Bewegungen der Augen steuern)

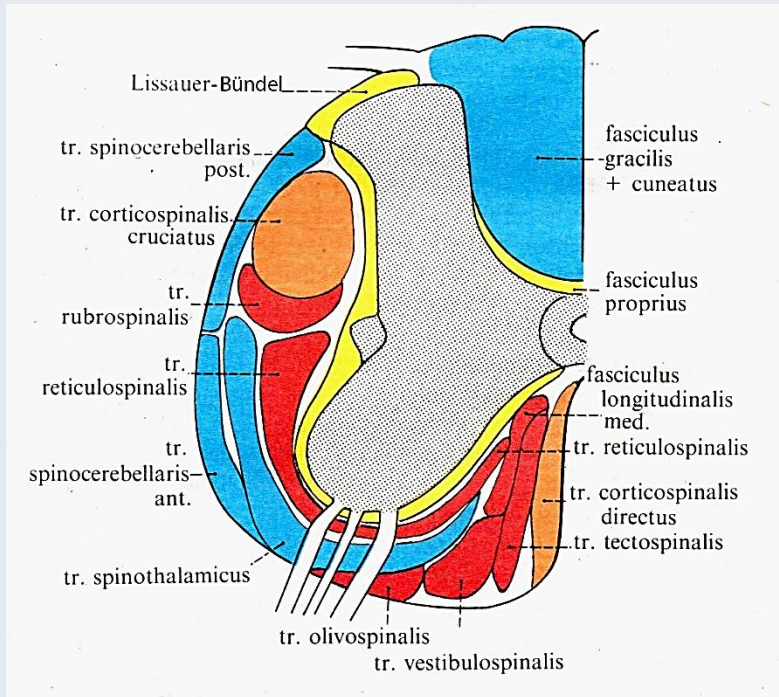
→ Nn. III., IV., VI.

### Cortico-ponto-cerebelläre Bahnen:

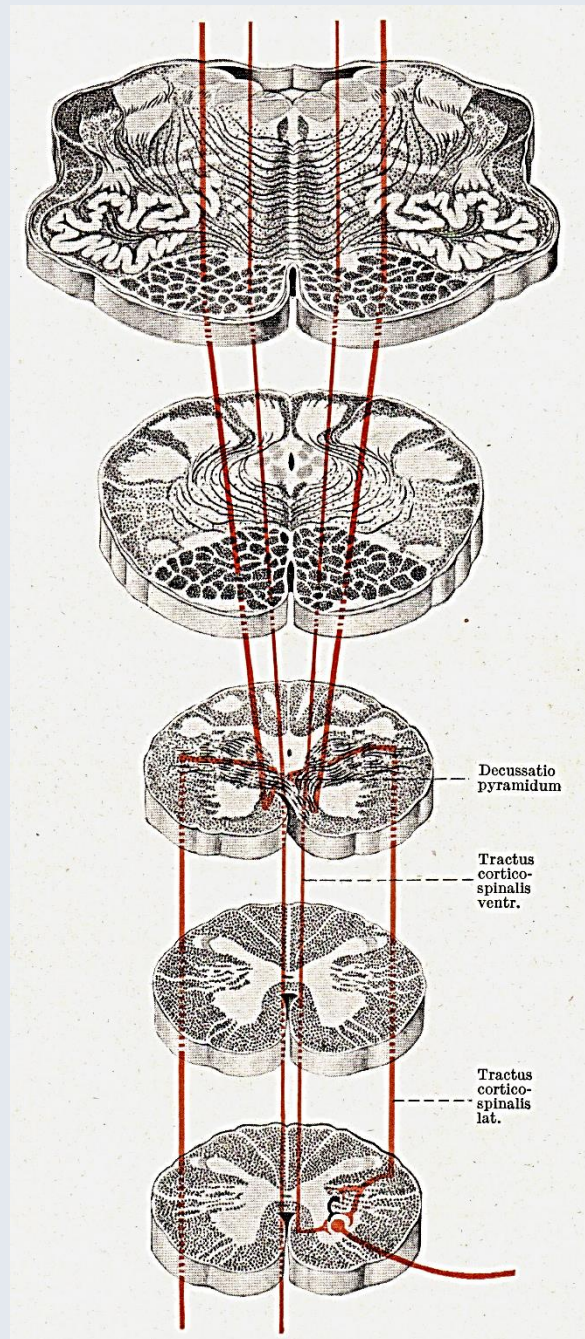
Tractus temporooccipitopontinus (Türck)

Tractus frontopontinus (Arnold)





Réthelyi & Szentágothai



Clara

Tractus corticospinalis cruciatus

(lateralis): ~ 85 % der Fasern

→ Kreuzung: Decussatio pyramidum

Tractus corticospinalis directus

(anterior): ~ 15 % der Fasern

→ Kreuzung in der Höhe der Endigung

Endigung der Fasern:

- hauptsächlich an Interneuronen

- teilweise an  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneuronen

# Was beeinflusst noch ein Motoneuron?

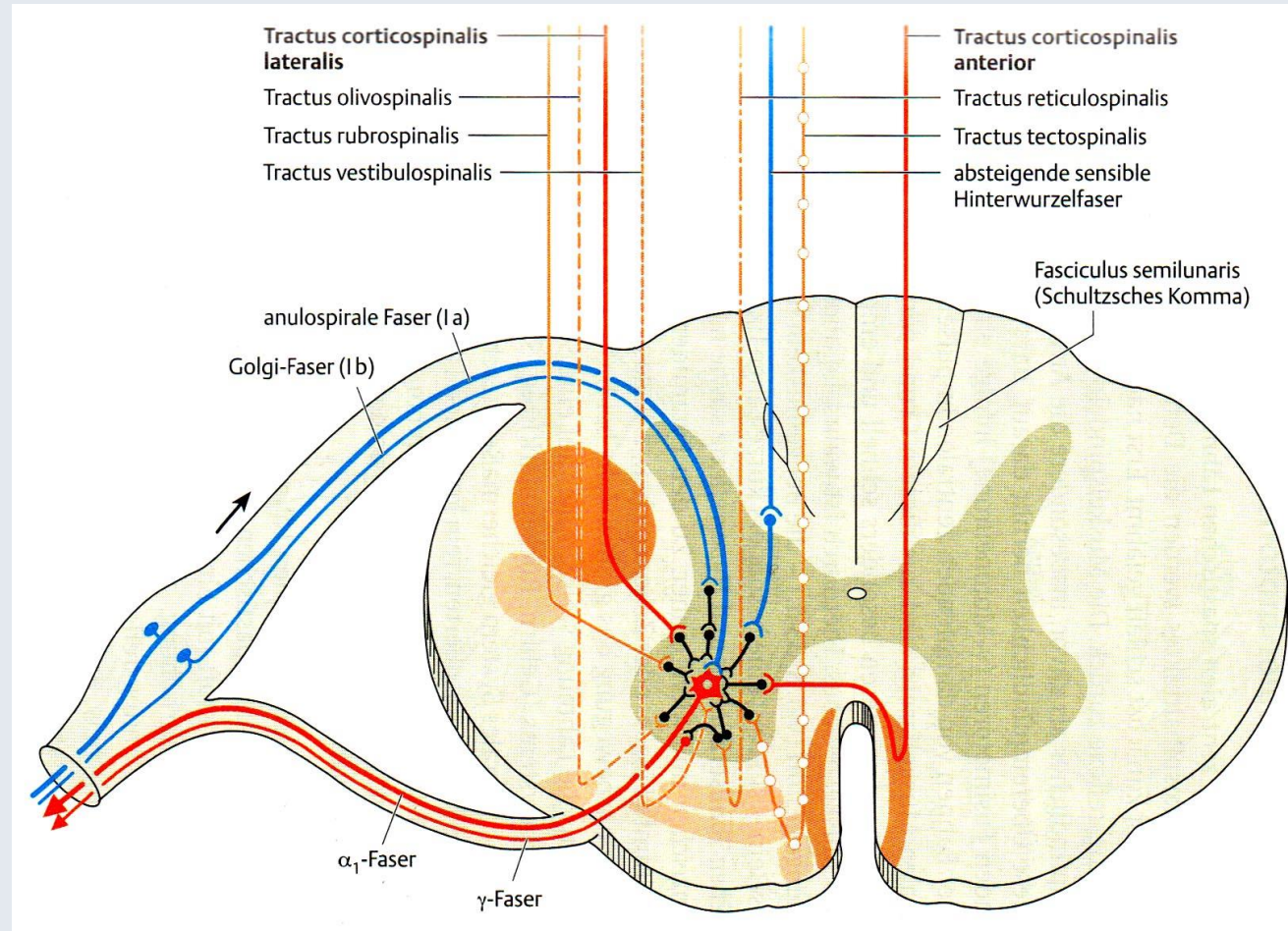
Duus

*ungekreuzt:*

- Tr. vestibulospinalis
- Tr. reticulospinalis
- Tr. olivospinalis

*gekreuzt:*

- Tr. rubrospinalis
- Tr. tectospinalis
- Fasciculus longitudinalis medialis



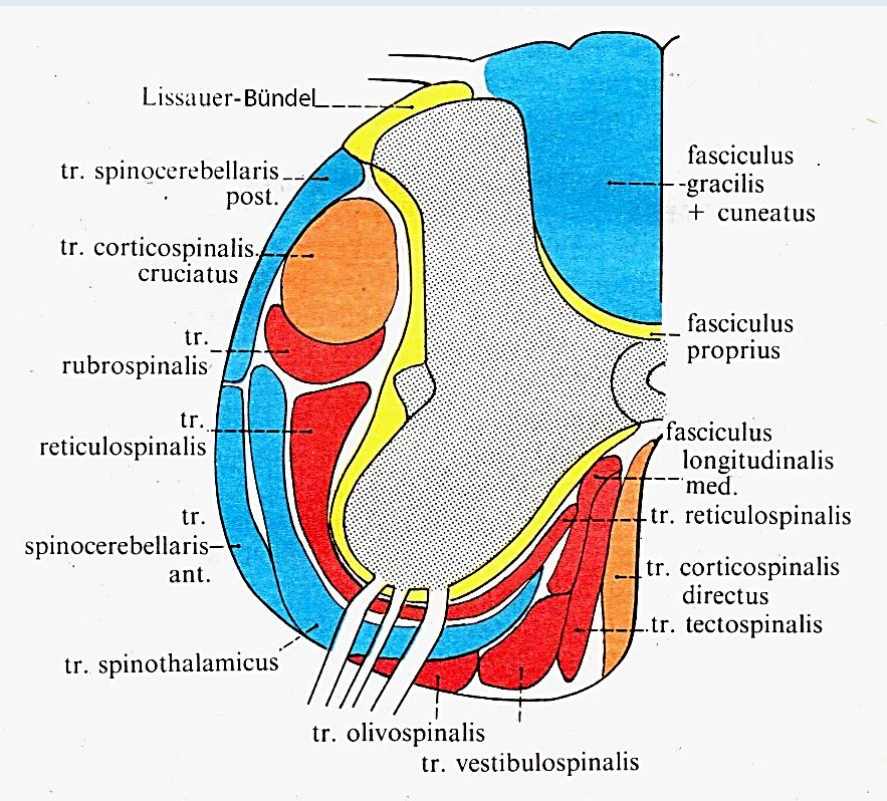
Die folgenden Strukturen greifen durch die genannten Bahnen in die Ausführung der unwillkürlichen Bewegungen ein:

- Kleinhirn
- *Basalganglien*
- bestimmte Bereiche der Hirnrinde

Sherrington: „gemeinschaftliche letzte Strecke“



# Gekreuzte extrapyramidale Bahnen



Réthelyi & Szentágothai

## 1. Tractus tectospinalis:

Colliculus superior

↓  
Decussatio tegmenti dorsalis (Meynert)

↓  
Vorderstrang des Rückenmarks

↓  
Endigung größtenteils an den Interneuronen der ersten 4 Rückenmarkssegmente

} Mesencephalon

→ *Verbindung zwischen Reflexzentren des Sehsystems und oberen Rückenmarkssegmenten (Steuerung der Kopfbewegungen)*

## 2. Tractus rubrospinalis (Monakow):

Nucleus ruber – Pars magnocellularis

↓  
Decussatio tegmenti ventralis (Forel)

↓  
Seitenstrang des Rückenmarks

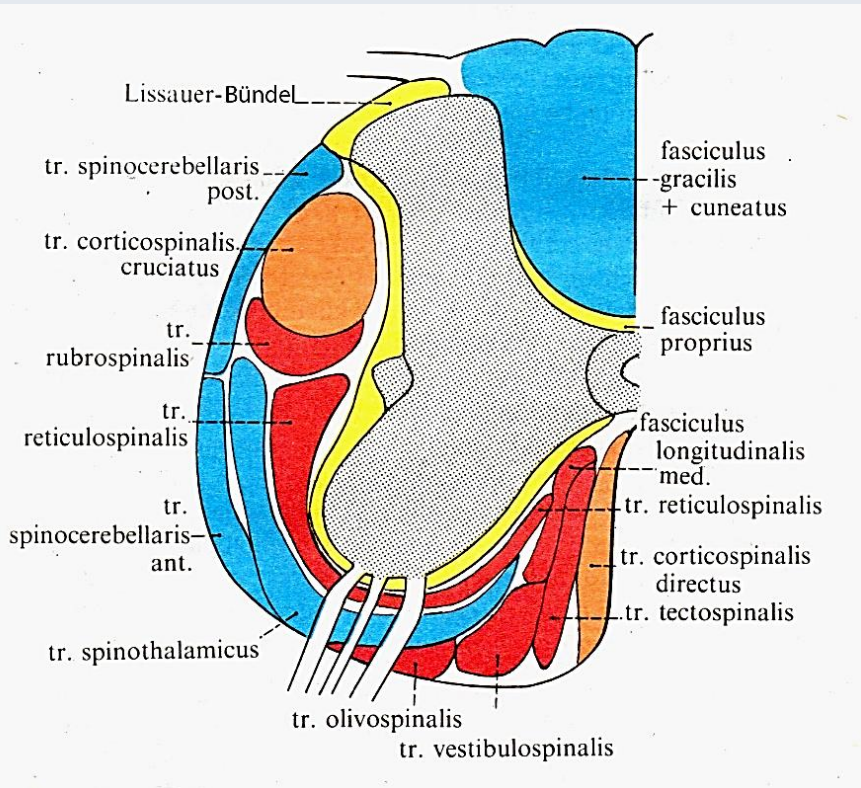
↓  
Endigung größtenteils an den Interneuronen bis den ersten thorakalen Rückenmarkssegmenten

} Mesencephalon

→ *steigert den Muskeltonus der Flexoren (gegenseitig)*



# Gekreuzte extrapyramidale Bahnen



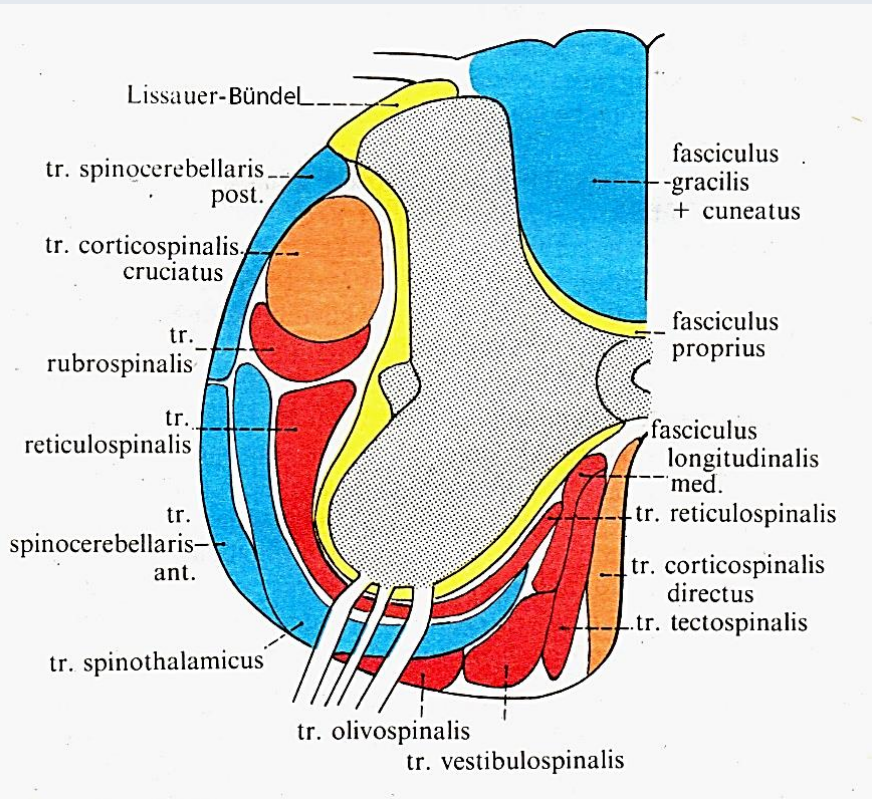
## 3. Fasciculus longitudinalis medialis:

↕ Kerne der Hirnnerven, die die Bewegungen der Augen steuern  
↕ Nucleus vestibularis medialis

↓  
Vorderhorn des Rückenmarks bis den unteren Zervikalsegmenten

→ *Koordination der Augen- sowie Kopfbewegungen (nach Reizung des vestibulären Systems)*

# Ungekreuzte extrapyramidale Bahnen



Réthelyi & Szentágothai

## 1. Tractus vestibulospinalis:

Nucleus vestibularis lateralis (Deiters)

} Pons

↓  
Vorderstrang des Rückenmarks

↓  
Endigung größtenteils an den Interneuronen  
in der gesamten Länge des Rückenmarks

→ Weiterleitung der Reize von vestibulärem System und Archicerebellum;  
steigert den Muskeltonus der Flexoren (gleichseitig)

## 2. Tractus olivospinalis:

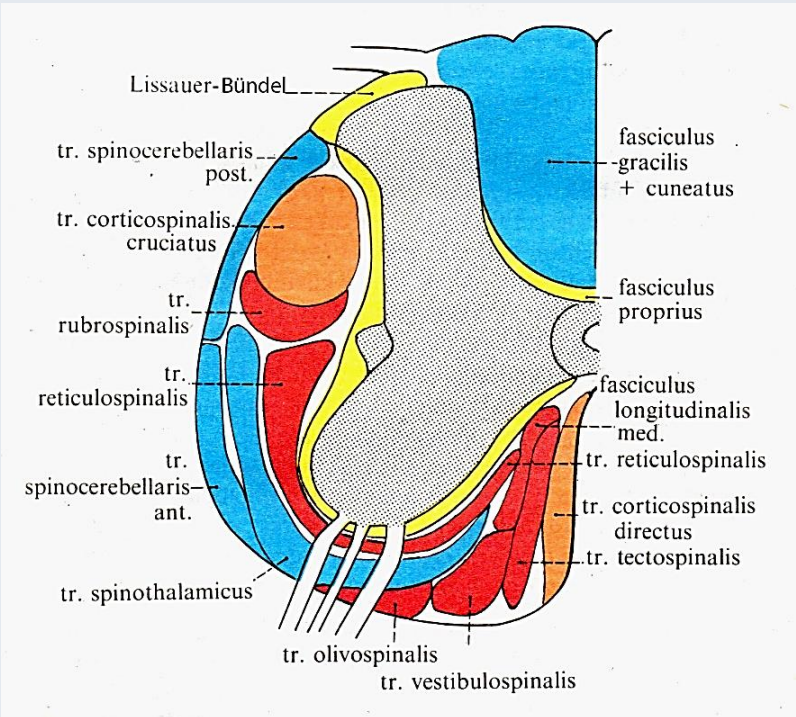
Nucleus olivaris inferior

} Medulla oblongata

↓  
an der Grenze zwischen Vorderstrang und Seitenstrang  
bis den Zervikalsegmenten des Rückenmarks

→ bei Menschen fraglich existierend

# Ungekreuzte extrapyramidale Bahnen



Réthelyi & Szentágothai

## 3. Tractus reticulospinalis:

Tractus reticulospinalis ventralis  
(Tractus pontoreticularis)

Formatio reticularis – Pons

Vorderstrang des Rückenmarks

Endigung an den Interneuronen  
in der gesamten Länge des Rückenmarks

Tractus reticulospinalis lateralis  
(Tractus bulboreticularis)

Formatio reticularis – Medulla obl.  
Nucleus reticularis gigantocellularis

Seitenstrang des Rückenmarks

→ teilweise inhibitorische, teilweise exzitatorische Wirkung auf die Motoneuronen;  
Beeinflussung der Schaltneuronen der sensorischen Bahnen

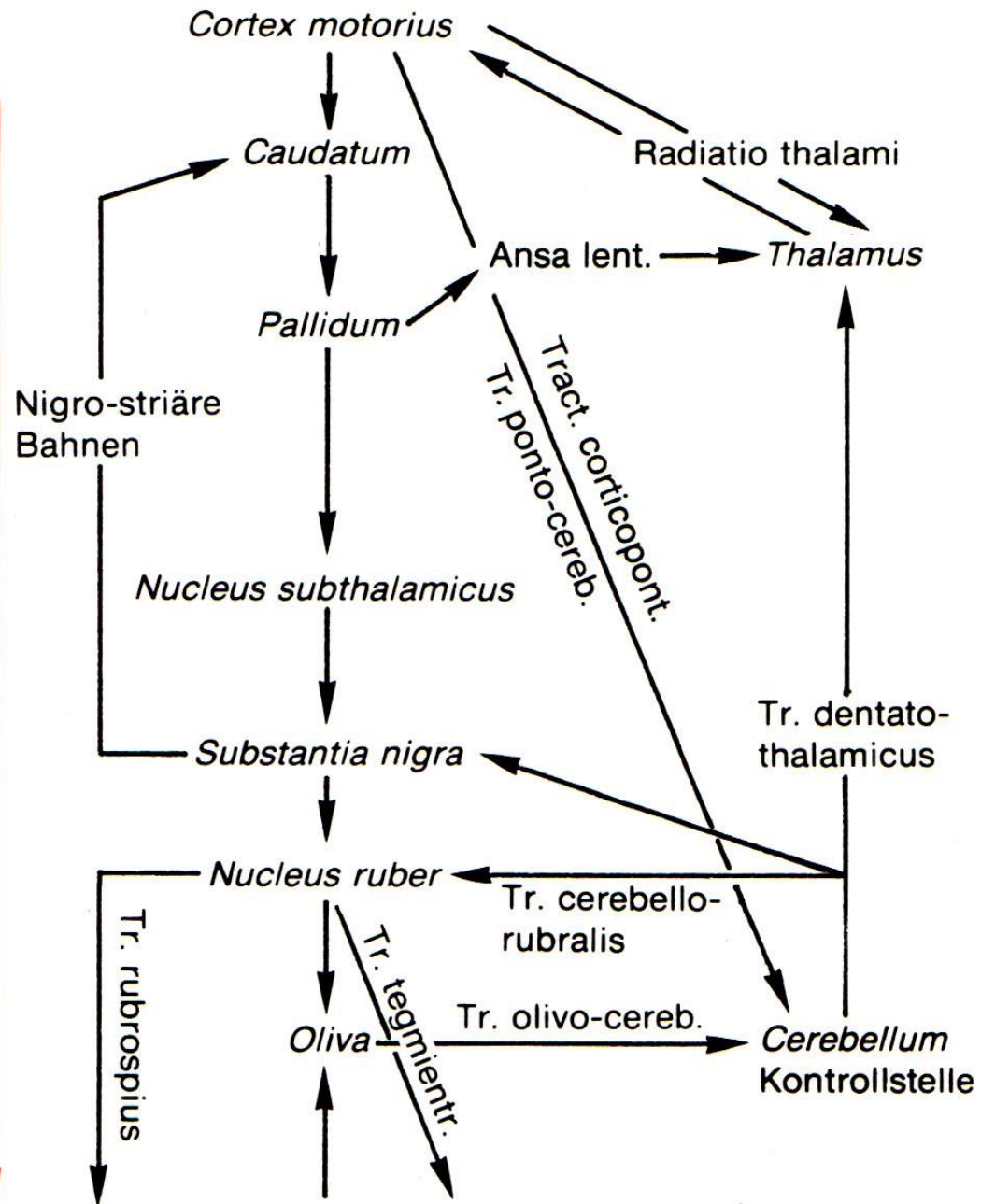
A Oberste Zentren:

B Untergeordnete Zentren:

„Direkte“  
Pyramiden-  
faserung 10%

C Schalt- und  
Kontrollzentrum:

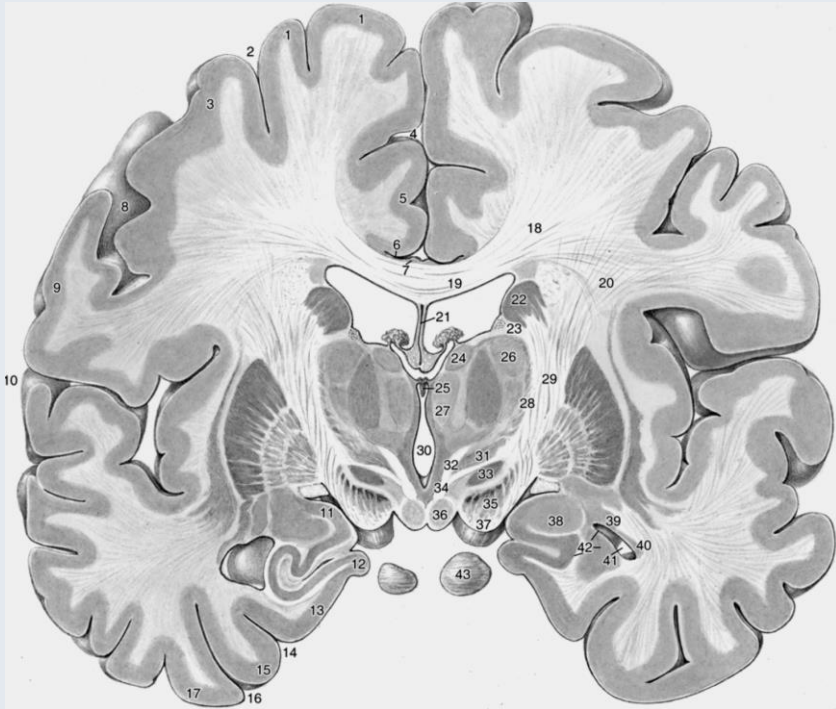
D Medulla Spinalis:



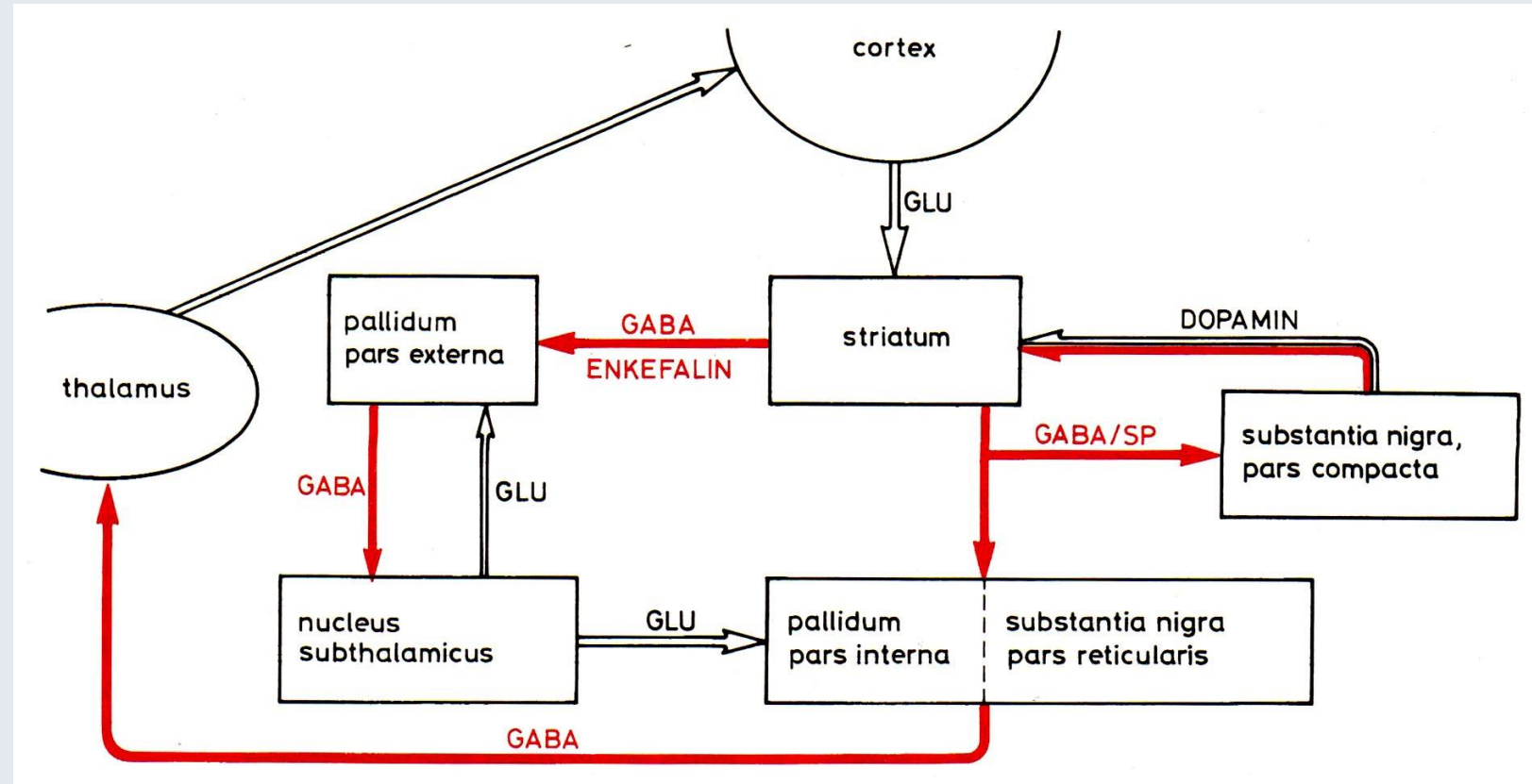


# Die Basalganglien

Planung der Bewegung und Regulierung des Muskeltonus + Gedächtnis, kognitive, emotionelle Einwirkungen



Nieuwenhuys



Fonyó

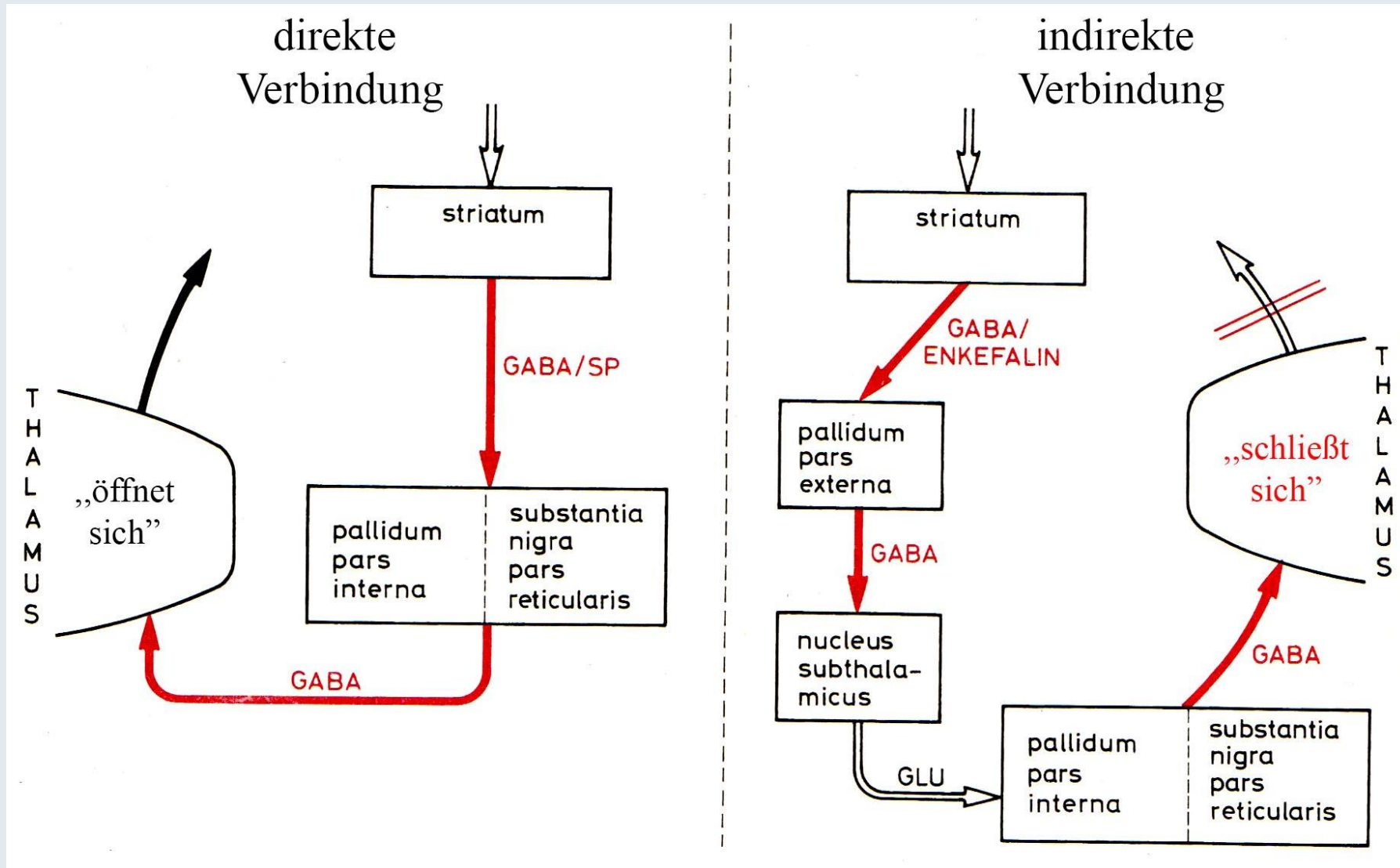
**Eingang aus der Rinde** (motorische, sensorische, assoziative): Striatum (motorisches Striatum; assoziatives und limbisches Striatum)

**Ausgang in die Rinde** (hauptsächlich supplementäre): aus Pallidum und Substantia nigra (Pars reticularis)

durch den Thalamus (VA, VL)



# Die Basalganglien



Fonyó

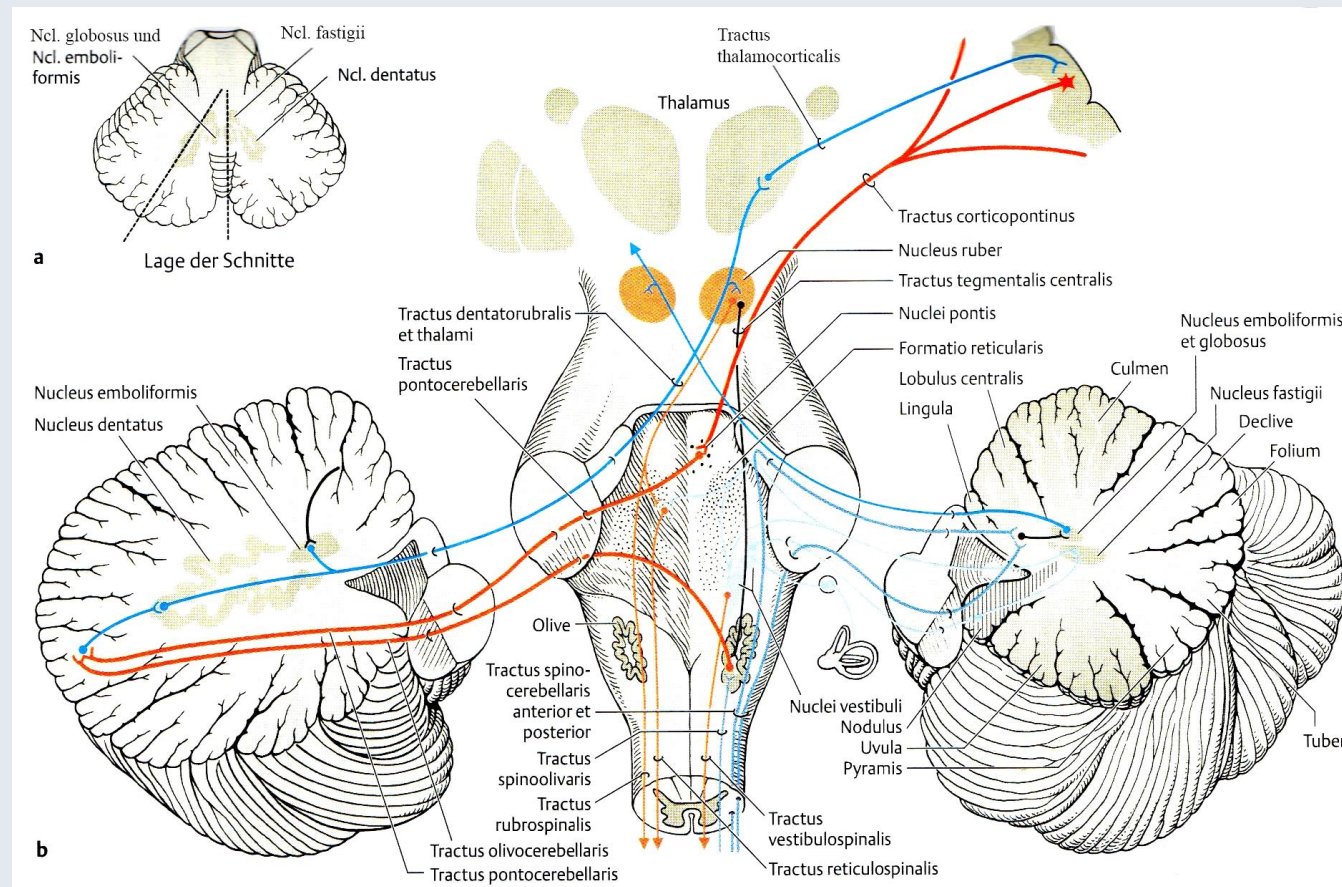
Die genannten Kreise haben keine direkte Verbindung mit dem Rückenmark

# Über die Rolle des Kleinhirns

Kleinhirn kriegt sensorische Informationen über die Kleinhirnstiele:

→ alle Modalitäten (vestibulär, taktil, propriozeptiv, optisch, akustisch)

Durch seine Kerngebiete steht in efferenter Verbindung mit unterschiedlichen Etagen des motorischen Systems (eigentlich von der Rinde bis den Neuronen des Rückenmarks).







# Vestibulocerebellum

## Lobus flocculonodularis

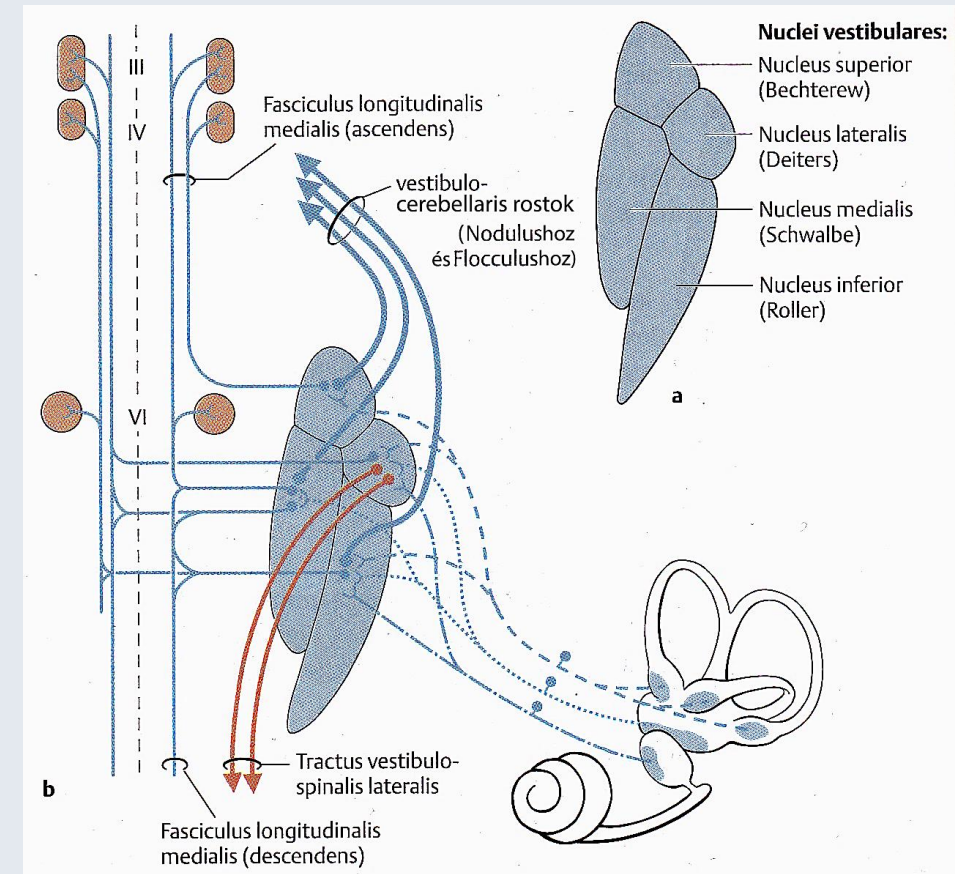
filogenetisch das älteste Gebiet des Kleinhirns

**Eingang:** vestibulären Kerngebieten (Bechterew, Schwalbe, Roller)

**Aufarbeitung:** in der Rinde des Lobus flocculonodularis, dann Umschaltung  
→ Nucl. fastigii (vestibulocerebellärer Ausgang)

**Ziel:** Formatio reticularis (Tr. reticulospinalis), Nucl. vestibularis lat. (Deiters)  
(Tr. vestibulospinalis), Fasciculus longitudinalis medialis

Stimmt die Informationen aus den vestibulären Sinnesorganen mit den visuellen Informationen sowie spinaler Motorik ab.



# Spinocerebellum

Spinocerebellum ist im Kleinhirn auf zwei Gebiete lokalisiert: der größte Teil von Vermis + paravermale (~ intermediär) Zone

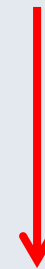
**Eingänge:** Tr. spinocerebellaris ventralis (Gowers), Tr. spinocerebellaris dorsalis (Flechsig), Tr. spinocerebellaris rostralis, Tr. cuneocerebellaris, Hirnnerven, vestibuläre Kerngebiete

**Kerne:** Nucl. fastigii (Vermis), Nucl. interpositus (seu globosus) et emboliformis (paravermale Zone)

**Projektion:** aus dem **Nucl. fastigii** in die vestibuläre Kerngebiete (Tr. cerebellovestibularis) und in das Formatio reticularis (Tr. cerebelloreticularis):  
→ Tr. vestibulospinalis, Tr. reticulospinalis

Aus dem **Nucl. interpositus** in den Nucl. ruber (Paleorubrum – Tr. rubrospinalis) und über Thalamus in die Hirnrinde (hauptsächlich den proximalen Anteil der Extremitäten und den Rumpf repräsentierende Gebiete)

Feinsteuerung der Bewegungen, Muskeltonus, Körperhaltung, Synchronisation der Muskeln



Bei Schädigungen: Rumpfataxie, Gangataxie, Koordinationsstörungen, Gleichgewichts- und Haltungstörungen



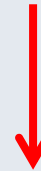
# Cerebrocerebellum

Es wird durch die aus der Rinde absteigenden Bahnen (Arnold und Türck aus der motorischen und prämotorischen Rinde) und durch den Tr. olivocerebellaris aus dem Nucl. olivaris inferior informiert.

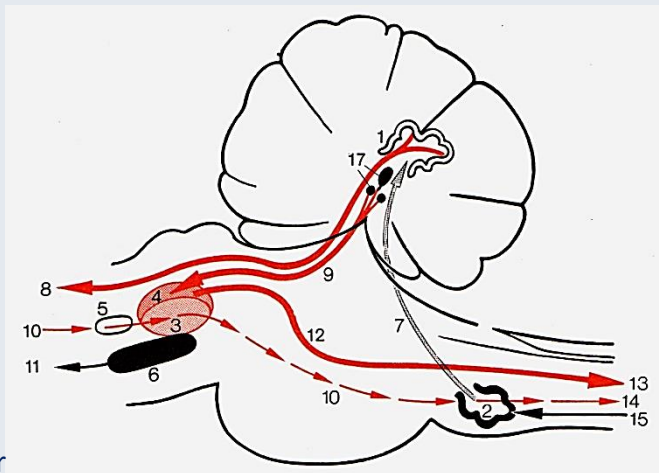
Die genannten Bahnen erreichen die Kleinhirnrinde über den mittleren Kleinhirnstiel nach Umschaltung in den Nuclei pontis  
**Kern:** Nucl. dentatus

**Projektion:** in den Nucl. ruber (Neorubrum) dentato – rubro – olivo – cerebelläre Schleife (Tr. cerebellorubralis)  
→ anderer Weg ist in Richtung der Hirnrinde (hauptsächlich prämotorische Rinde) über den Thalamus (Tr. cerebellothalamicus)

Antrieb, Synchronisation, Endigung sowie Erlernen der Bewegung

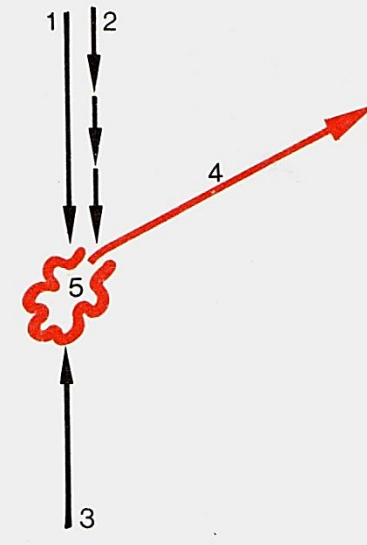


Bei Schädigungen: typische Symptomen sind die Dysmetrie, Dysdiadochokinesie, Intentionstremor, Hypotonie ... usw.



Faller

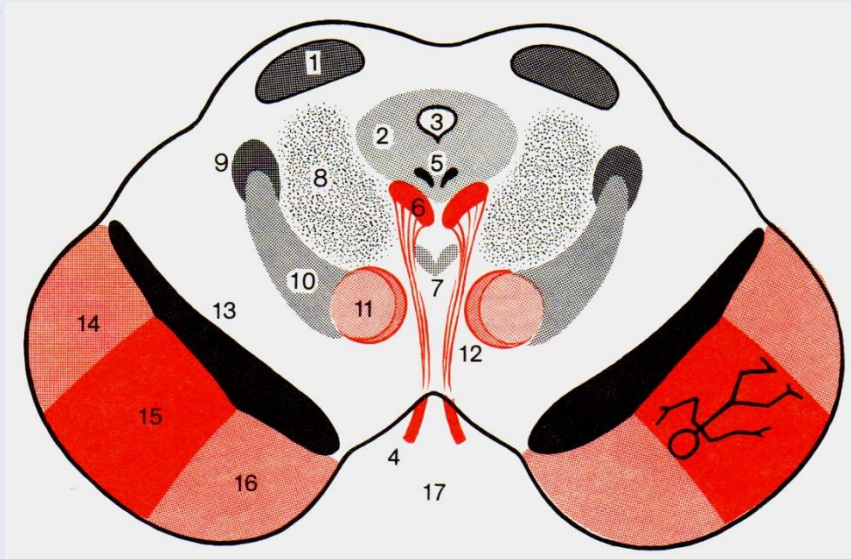
1. Afferentation aus der motorischen Rinde
2. Tr. rubroolivaris (~ FTC)
3. Tr. spinoolivaris
4. Tr. olivocerebellaris
5. Oliva



Faller

# Nucleus ruber, Fasciculus tegmentalis centralis

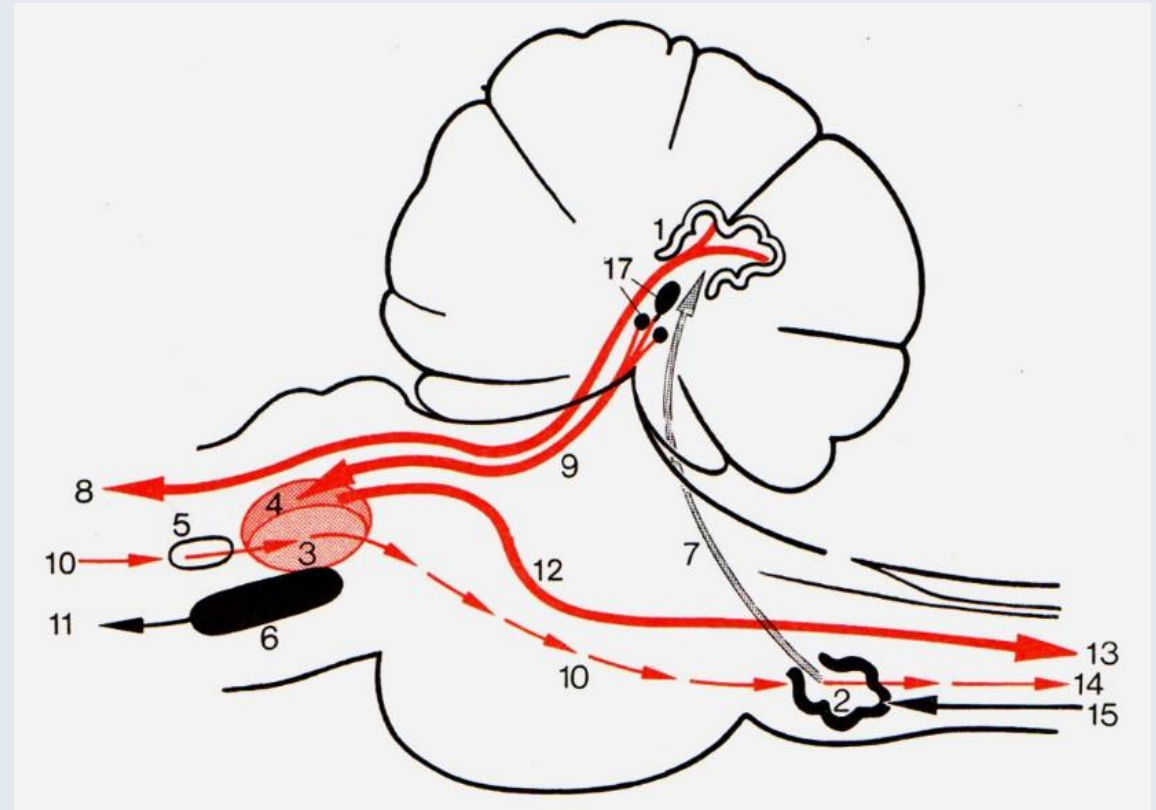
Faller



11. Pars parvocellularis (Neorubrum):  
→ Fasc. tegmentalis centralis

12. Pars magnocellularis (Paleorubrum):  
→ Tr. rubrospinalis

Faller



10. Tractus / Fasciculus tegmentalis centralis (FTC)

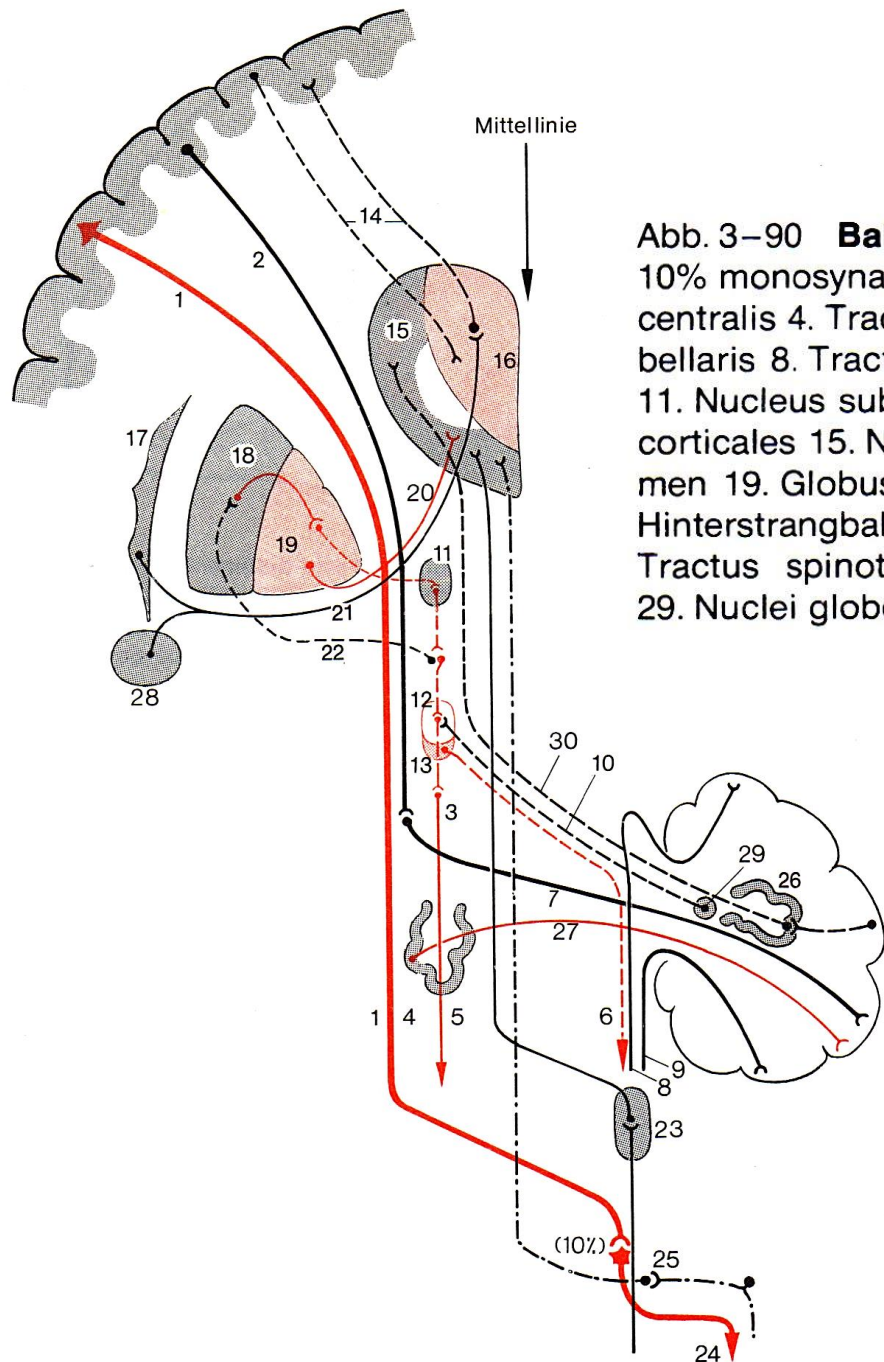


Abb. 3-90 **Bahnsynthese der Motorik, wichtigste sensible Afferenzen** 1. Tractus pyramidalis, nur in 10% monosynaptisch zu motorischen Vorderhornzellen 2. Tractus corticopontinus 3. Tractus tegmentalis centralis 4. Tractus reticulospinalis 5. Tractus spinoolivaris 6. Tractus rubrospinalis 7. Tractus pontocerebellaris 8. Tractus spinocerebellaris ant. 9. Tractus spinocerebellaris post. 10. Tractus cerebellorubralis 11. Nucleus subthalamicus 12. Neorubrum 13. Palaeorubrum 14. Fibrae corticothalamicae und thalamocorticales 15. Nuclei laterales des Thalamus 16. Nucleus medialis des Thalamus 17. Claustrum 18. Putamen 19. Globus pallidus 20. Ansa lenticularis 21. Ansa peduncularis 22. Nigrostriäre Bahnen 23. Lange Hinterstrangbahnen. Schaltung auf 2. Neuron 24. Gemeinsame motorische Endstrecke 25. Schaltung des Tractus spinothalamicus 26. Nucleus dentatus 27. Tr. olivocerebellaris 28. Corpus amygdaloideum 29. Nuclei globosi + emboliformis 30. Tractus dentatothalamicus