

ZNS und PNS gehen im Bereich von Spinal- bzw. Hirnnerven ineinander über. Der Übergang ist örtlich nicht klar definiert, da Neurone des PNS ihre Somata bzw. Synapsen im ZNS haben können.

7.4.2 Peripheres Nervensystem (PNS)

Das periphere Nervensystem besteht hauptsächlich aus **Nervenfasern** (sensorisch, motorisch, autonom). Den weit geringeren Anteil machen die Zellkörper aus, deren Ansammlungen im PNS als **Ganglien**, sog. Spinalganglien (S. 87), autonome Ganglien (S. 206), bezeichnet werden. Die Grundlage des PNS bilden:

- **Spinalnerven** (s. u.) und
- **Hirnnerven** (S. 203).

Spinalnerven (Nervi spinales)

Spinalnerven entstehen aus der Vereinigung von Vorder- und Hinterwurzel. In der Hinterwurzel liegen die Zellkörper der afferenten Fasern in Form der **Spinalganglien**. Sie enthalten pseudounipolare Zellen (S. 81).

► Merke.

Die Zellkörper der motorischen Efferenzen liegen in den Vorderhörnern, die der autonomen Efferenzen in den Seitenhörnern oder der sakralen Substantia intermedia. Die Spinalnerven führen Fasern mit **4 Qualitäten** (Tab. 7.4). Es gibt **31–33 paarige Spinalnerven**: 8 Zervikalnerven, 12 Thorakalnerven, 5 Lumbalnerven, 5 Sakralnerven und 1–3 Kokzygealnerven. Sie treten jeweils kaudal des zugehörigen Wirbelkörpers aus dem Wirbelkanal aus (Abb. 7.9).

► Merke.

Die **Grenze zwischen ZNS und PNS** liegt im Bereich des Rückenmarks am Übergang in die spinalen Wurzeln (sensorische Hinterwurzel und motorische Vorderwurzel), im Bereich der Hirnnerven am Übergang zwischen dem Hirnstamm und den Nerven. Die Grenze ist nicht scharf: So befinden sich die zentralen Endigungen des primären afferenten Neurons (S. 205), die zum PNS gehören, im Hinterhorn des Rückenmarks, und die Zellkörper der motorischen efferenten Neurone (Teile des ZNS) liegen im Vorderhorn des Rückenmarks.

7.4.2 Peripheres Nervensystem (PNS)

Das periphere Nervensystem besteht zu einem weitaus größten Anteil aus **Nervenfasern**, während die Somata der Nervenzellen nur zu einem geringen Anteil an der Bildung des PNS beteiligt sind. Eine solche Ansammlung neuronaler Zellkörper außerhalb des ZNS wird als **Ganglion** bezeichnet. Die Ganglienzellen werden von Mantelzellen (S. 87) umhüllt.

Grundsätzlich setzt sich das periphere Nervensystem aus sensorischen, motorischen und autonomen Fasern sowie den Spinalganglien (S. 87) des somatischen Systems und den autonomen Ganglien (S. 206) zusammen. Die Grundlage des peripheren Nervensystems bilden

- die **Spinalnerven** (s. u.) mit ihrem engen Bezug zum Rückenmark und
- die **Hirnnerven** (S. 203) mit ihrem Ursprung/Zielgebiet in bestimmten Kernen des Gehirns, meist des Hirnstamms (S. 1092).

Eine geringe Anzahl peripherer Nerven besteht ausschließlich aus autonomen Fasern wie z. B. die Nn. splanchnici (S. 207) und der N. hypogastricus (S. 208).

Spinalnerven (Nervi spinales)

Die Spinalnerven entstehen durch die Vereinigung der Nervenfasern von Vorder- und Hinterwurzel (s. o.). Die Zellkörper der beteiligten afferenten Fasern liegen in Form der **Spinalganglien** im Verlauf der Hinterwurzel im Zwischenwirbelloch (Foramen intervertebrale). Die afferenten Neurone der Spinalnerven gehören histologisch zu den pseudounipolaren Zellen (S. 81), d. h. aus dem Soma entspringt nur ein Stammaxon, das sich T-förmig in einen peripheren und einen zentralen Fortsatz teilt.

► **Merke.** In den Spinalganglien und den sensorischen Ganglien der Hirnnerven (s. u.) befinden sich **keine** Synapsen.

Die Somata der motorischen Efferenzen liegen im Vorderhorn des Rückenmarks, die der efferenten autonomen Fasern in den Seitenhörnern der Thorakalsegmente und der lateralen Substantia intermedia (S. 1087) der Sakralsegmente S2–S4/5 (häufig auch als Zona intermedia bezeichnet). Durch ihre Bildung aus der sensorischen Hinterwurzel sowie der motorischen und autonomen Vorderwurzel enthalten Spinalnerven Fasern mit **4 Qualitäten** (allgemein somatoafferent, allgemein viszeroafferent, allgemein somatoefferent, allgemein viszeroefferent; s. Tab. 7.4). Insgesamt sind **31–33 Spinalnervenpaare** vorhanden:

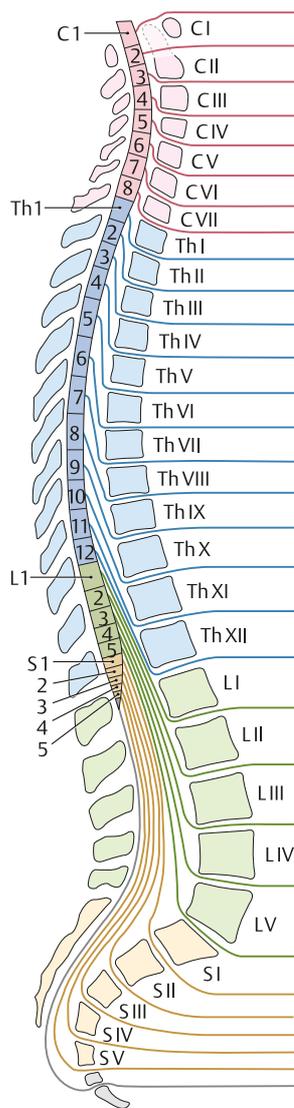
- 8 Zervikalnervenpaare (Halsnerven): C 1–C 8,
- 12 Thorakalnervenpaare (Brustnerven): Th 1–Th 12,
- 5 Lumbalnervenpaare (Lendennerven): L 1–L 5,
- 5 Sakralnervenpaare (Kreuzbeinnerven): S 1–S 5 und
- 1–3 Kokzygealnervenpaare (Steißbeinnerven).

Generell treten die Spinalnerven jeweils kaudal des zugehörigen Wirbelkörpers aus dem Wirbelkanal aus, so z. B. der 12. Thorakalnerv kaudal des Wirbelkörpers ThXII. Ausnahme: Der Austrittsort des 1. Zervikalnervs liegt zwischen dem Os occipitale (S. 933) und dem ersten Halswirbel (Abb. 7.9), der des 8. Zervikalnervs zwischen den Wirbelkörpern CVII und ThI.

► **Merke.** Eine **Ausnahme** von der allgemeinen Austrittsregel der Spinalnerven sind die Halsnerven: Da nur 7 Halswirbel, aber 8 Zervikalsegmente (C 1–C 8) vorhanden sind, tritt der Spinalnerv C 1 kranial vom Wirbelkörper C I aus, der Nerv C 8 kaudal des Wirbelkörpers CVII.

7.9 Austritt der Spinalnerven aus dem Spinalkanal

7.9



Im schematischen Sagittalschnitt (Ansicht von rechts) erkennt man die immer steiler verlaufenden Radices anteriores und posteriores vor ihrer Vereinigung zum Spinalnerv.

Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie, Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M u. Wesker K. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2022

Wegen des zurückbleibenden Wachstums des Rückenmarks relativ zum Wirbelkanal verlaufen die Hinter- und Vorderwurzeln in kaudaler Richtung immer steiler zu ihrem Austrittsort (Abb. 7.9).

Die Spinalnerven teilen sich nahezu direkt nach ihrem Austritt aus dem Foramen intervertebrale auf in (Abb. 7.7):

- einen größeren **R. anterior (ventralis)** für die Extremitäten und den ventro-lateralen Rumpf,
- einen kleineren **R. posterior (dorsalis)**, der im Bereich des Rumpfes die paraspinale Muskeln und Haut des Rückens versorgt,
- einen **R. meningeus**, der zum Wirbelkanal zurückläuft und die Rückenmarkshäute sensorisch innerviert und
- zwei **Rr. communicantes** als Verbindung zu den Grenzstrangganglien des autonomen Nervensystems. Rr. comm. albi (S.206) nur von C8 bis L1–3.

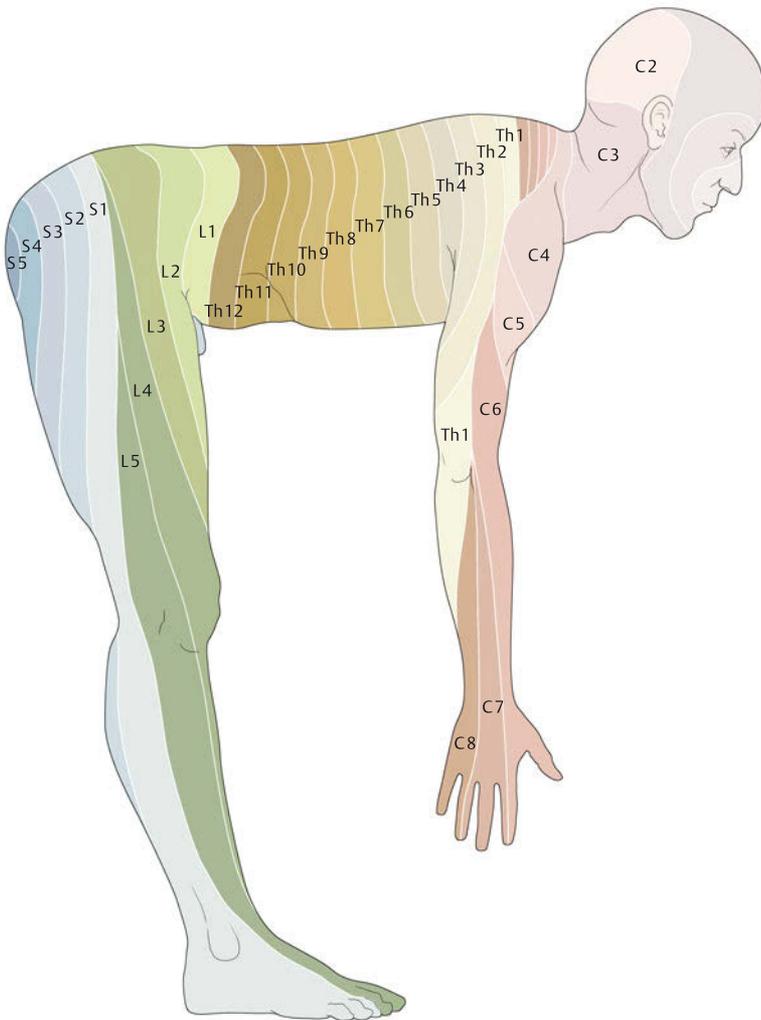
Segmentale Innervationsgebiete: Diese für nahezu jeden Spinalnerv gültige Anordnung der Rr. führt zur Bildung streifenförmiger Hautbezirke, die von einem Rückenmarksegment sensorisch versorgt werden (**Dermatome**). Im Thoraxbereich ist die Anordnung der Dermatome regelmäßig und kann für topografische Zwecke benutzt werden (Abb. 7.10): So liegt die Mamille an der Grenze der Thorakalsegmente 4 und 5 (Th 4 und Th 5), der Bauchnabel meist im Dermatome Th 10. Auf den Extremitäten ist die Anordnung nicht so regelmäßig, weil es während der intrauterinen Entwick-

Direkt distal des Spinalganglions teilen sich die Spinalnerven in:

- **R. anterior (ventralis)**,
- **R. posterior (dorsalis)**,
- **R. meningeus** und
- **2 Rr. communicantes.**

Segmentale Innervationsgebiete: Die Rr. ant. und post. der einzelnen Rückenmarksegmente versorgen sensorisch bestimmte Hautbezirke, die **Dermatome**. Ihre Anordnung ist nur im Thoraxbereich parallel und regelmäßig, an den Extremitäten dagegen durch Umlagerungen der Gewebe mit ihren Nerven unregelmäßig.

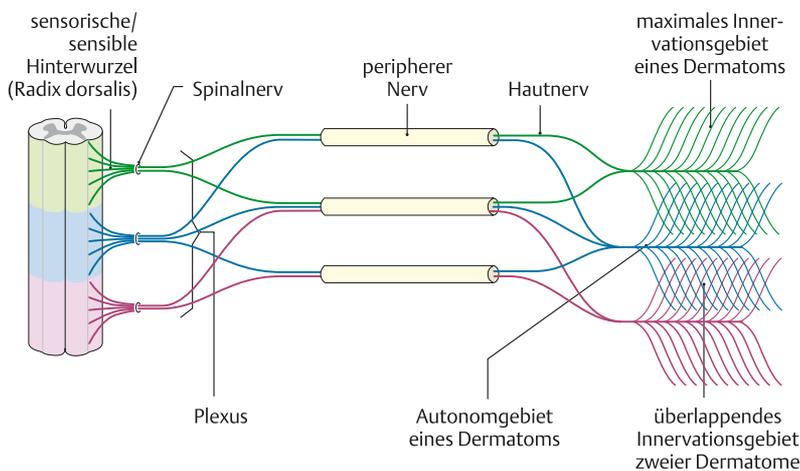
7.10 Anordnung der Dermatome



Die Positionierung der Extremitäten wie bei einem Vierfüßler erleichtert das Verständnis der Dermatome-Anordnung. Ihre Unregelmäßigkeit im Bereich der Extremitäten ist entwicklungs-geschichtlich bedingt.

Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie, Kopf, Hals und Neuroanatomie. Illustrationen von Voll M u. Wesker K. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2022

7.11 Überlappung der Dermatome



Schematische Darstellung des Verlaufs sensorischer Fasern zwischen Peripherie und Rückenmark: Auch wenn die Fasern für die Versorgung eines Dermatoms vorübergehend in verschiedenen peripheren Nerven laufen, bilden sie vor Eintritt in das Rückenmark eine gemeinsame Hinterwurzel. Anhand dieses Schemas wird der Unterschied zwischen segmentaler (radikulärer) Innervation und der Innervation durch periphere Nerven deutlich (s. auch Abb. 7.12). Die Überlappung der Dermatome stellt einen Sicherheitsfaktor dar: Wird nur ein Spinalnerv verletzt, ist das von dem Nerven versorgte Gebiet nicht völlig anästhetisch (taub).

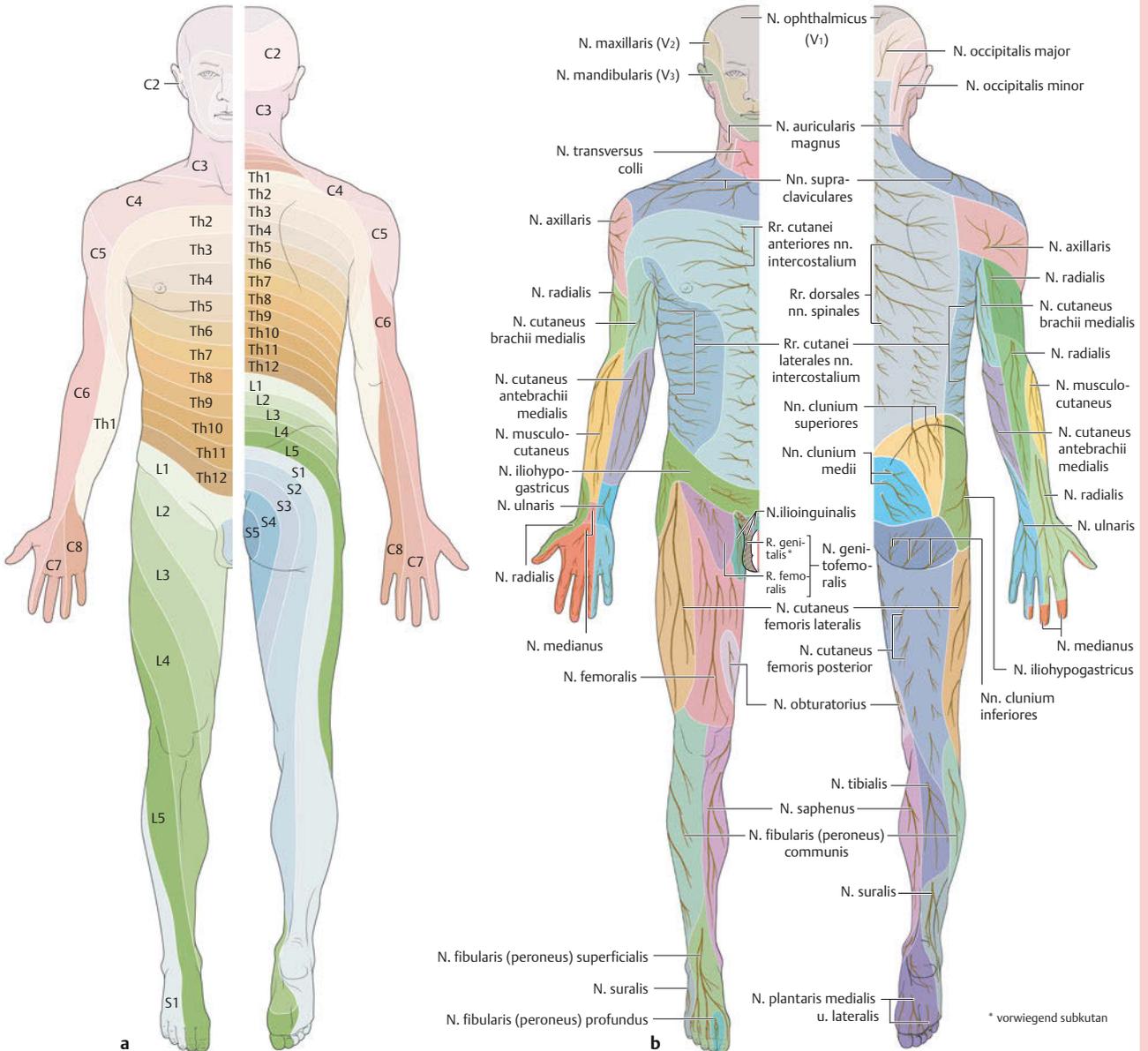
Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie, Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Illustrationen von Voll M u. Wesker K. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2022

Jedes Dermatome wird überlappend auch von den Nachbarsegmenten versorgt (Abb. 7.11).

lung zur Umlagerung der Skelettmuskeln und anderer Gewebe mit ihrer Innervation kommt. Dies ist auch die Ursache für die **Plexusbildung** (s. u.).

Die Grenzen zwischen Dermatomen sind nicht scharf. Wie Abb. 7.11 zeigt, wird jedes Dermatome überlappend auch von den beiden Nachbarsegmenten versorgt, sodass im Endeffekt jedes Dermatome eine Innervation von drei Segmenten erhält.

7.12 Segmentale und periphere Innervation



a Segmentale oder radikuläre Innervation: Dargestellt sind die von jeweils einem Rückenmarksegment bzw. der rechten und linken Hinterwurzel innervierten Hautareale (Dermatome). Bei einer Hinterwurzelverletzung (z. B. bei einem Bandscheibenvorfall, Abb. 9.22) können Sensibilitätsstörungen nach diesem Muster auftreten, wobei durch den Sicherheitsfaktor der überlappenden Dermatome (Abb. 7.11) mehrere Wurzeln geschädigt sein müssen, damit es zu einem komplett anästhetischen Hautbezirk kommt (s. o.). Hinsichtlich der genauen Abgrenzung von Th 1 gegen Th 2 bestehen in der Literatur unterschiedliche Angaben.

b Innervation durch periphere Nerven: Die Gebiete, die durch jeweils einen peripheren Nerv innerviert werden, ergeben ein anderes Muster, da sich die Fasern eines Spinalnervs aufteilen und – jeweils mit Fasern aus anderen Rückenmarksegmenten zusammen – in verschiedenen peripheren Nerven zu dem von ihnen innervierten Hautareal ziehen. Wird ein peripherer Nerv kurz vor dem Versorgungsgebiet geschädigt (z. B. bei Quetschung oder Schnitt im Rahmen eines Unfalls), treten Sensibilitätsausfälle (Anästhesie/Hypästhesie) in dem versorgten Hautgebiet auf.

Quelle: Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Illustrationen von Voll M u. Wesker K. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2022

► **Klinik.** Diese überlappende Versorgung bedeutet, dass bei Verletzung einer Hinterwurzel das entsprechende Dermatom nicht völlig anästhetisch (taub) ist, sondern nur eine verringerte Empfindlichkeit (**Hypästhesie**) aufweist. Diese Anordnung kann als Sicherheitsfaktor für die Aufrechterhaltung einer relativ intakten sensorischen Versorgung auch nach Verletzungen angesehen werden.

► **Klinik.**

► Klinik.

Anatomische Grundlage der **Head-Zonen** (Abb. 7.13) ist die konvergente Verschaltung im Rückenmark, d. h. ein Neuron besitzt Verbindungen mit Afferenzen von einem inneren Organ und einem Hautareal in demselben Segment.

Neben **Dermatomen** gibt es auch **Myotome** und **Sklerotome**.

► Klinik.

Durch die Anordnung der α -Motoneurone für einen Muskel über mehrere Segmente existiert hier ein ähnlicher Sicherheitsfaktor wie bei der Innervation der Haut.

7.13

► Klinik.

Head-Zonen sind überempfindliche Hautgebiete bei Erkrankungen der inneren Organe. Die Zonen treten in dem Dermatome auf, das von demselben Segment wie das erkrankte Organ sensorisch versorgt wird. Bekannt sind z. B. Head-Zonen in der Haut der Innenseite des linken Oberarms bei einem Herzinfarkt.

Die anatomische Grundlage der Head-Zonen ist eine **konvergente Verschaltung** (ein Neuron besitzt Synapsen mit mehreren Nerven) **im Rückenmark**, d. h. afferente Fasern von der Haut und von den Eingeweiden haben Synapsen auf demselben Rückenmarksegment. Die afferente Aktivität aus dem erkrankten Organ macht die Zellen übererregbar, sodass Hautberührungen als unangenehm empfunden werden (Abb. 7.13).

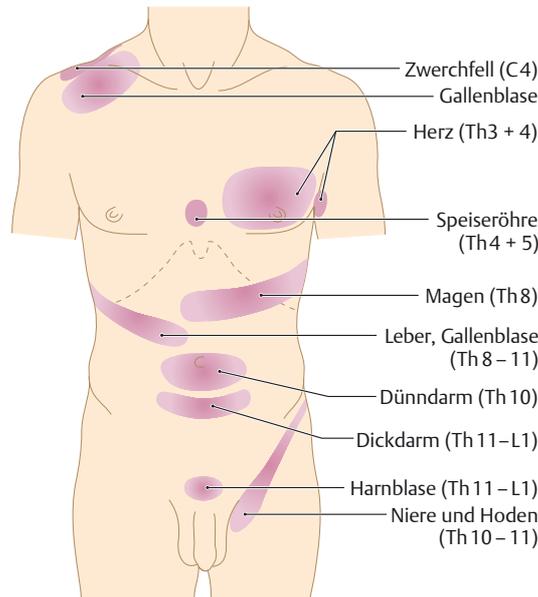
Neben **Dermatomen** gibt es auch **Myotome** (alle Muskeln, die von einem Rückenmarksegment innerviert werden) und **Sklerotome** (alle Knochen mit ihrem Periost, die von einem Segment versorgt werden), allerdings ist die Verwendung dieser Begriffe klinisch nur in Spezialdisziplinen gebräuchlich.

► Klinik.

Bei Kenntnis der **Versorgungsgebiete** der verschiedenen Rückenmarksegmente (Dermatome für die Haut, Myotome für die Muskeln) kann von sensorischen oder motorischen Ausfällen auf den Ort der Läsion im Nervensystem geschlossen werden (sog. **neurologisch-topische Diagnostik**).

Auf der Ebene der α -Motoneurone gibt es einen ähnlichen Sicherheitsfaktor wie bei der Innervation der Haut (s. o.). Die Motoneurone für einen Muskel liegen nicht nur in einem Rückenmarksegment, sondern sind meist in Form von **Motoneuron-Säulen** (S. 1182) über mehrere Segmente verteilt. Dieses Prinzip stellt ebenfalls eine motorische Restversorgung eines Muskels sicher, wenn eine Vorderwurzel geschädigt ist.

7.13 Head-Zonen



Die Abbildung zeigt einige der Head-Zonen in der Haut bei Erkrankung innerer Organe. Farblich hervorgehoben sind jeweils die zentralen Dermatome der Zonen; aus der Beschriftung geht hervor, dass die überempfindlichen Hautareale oft mehrere Dermatome beinhalten. Einer der Gründe dafür ist, dass viele Eingeweide sensorisch von mehreren Rückenmarksegmenten innerviert werden. Eine Besonderheit stellt die Head-Zone der Gallenblase in der Haut der Schulter dar. Die Ursache liegt in der sensorischen Innervation des Peritoneums im Bereich des rechten Zwerchfells durch den N. phrenicus, der aus dem 4. zervikalen Segment entspringt. Bei pathologischen Veränderungen der Gallenblase können die Nozizeptoren in diesem Peritoneumbereich mit gereizt werden, die zu Hinterhornneuronen im Segment C4 projizieren. Der afferente Weg für die Head-Zone des Herzens an der Innenseite des linken Oberarms könnte über die Nn. intercostobrachiales (Äste der Rr. cutanei laterales der Nn. intercostales Th 2 und Th 3) erfolgen (Abb. 7.12b).

Quelle: Bommas-Ebert U, Teubner P, Voß R, Hrsg. Kurzlehrbuch Anatomie und Embryologie. 3. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2011

Im Gegensatz zu den Rr. anteriores der Thorakalsegmente, die direkt an ihren Innervationsort ziehen, bilden die **Rr. anteriores** der Spinalnerven aus den Hals-, Lenden-, Sakral- und Kokzygealsegmenten in ihrem weiteren Verlauf Nervengeflechte, die sog. **Plexus** (Tab. 7.3). Innerhalb dieser Plexus kommt es durch eine Umlagerung der Fasern aus mehreren Segmenten zur Bildung der peripheren Nerven. Nervenplexus entstehen während der Entwicklung der Extremitätenknospen durch Auswachsen und Umlagerung von Muskeln und anderen Geweben der ventrolateralen Körperwand. Die Muskeln nehmen bei den Umlagerungen ihre Innervation mit.

► **Merke.** Nervenplexus werden nur von den Rr. anteriores der Spinalnerven gebildet (nicht von den Rr. posteriores).

► **Klinik.** Die Tatsache, dass durch die Plexusbildung die meisten Extremitätenmuskeln ihre motorische Versorgung aus mehreren Rückenmarksegmenten erhalten, ist ein **Sicherheitsfaktor**: Wenn nur ein Segment oder eine Vorderwurzel zerstört wird, ist der Muskel geschwächt, aber nicht völlig gelähmt.

Außer in Thorakalsegmenten bilden die Rr. anteriores der Spinalnerven in ihrem weiteren Verlauf Nervengeflechte (**Plexus**, Tab. 7.3). Diese Plexusbildung führt zu einer Umgruppierung der Fasern der einzelnen Spinalnerven, d. h. ein peripherer Nerv enthält Fasern aus mehreren Segmenten.

► **Merke.**

► **Klinik.**

7.3 Plexusbildung durch Rr. anteriores der Spinalnerven

Plexus	beteiligte Segmente	Lage	Versorgungsgebiet
Plexus cervicalis , sog. Halsnervengeflecht (S. 888)	C 1–C 4	vor den kranialen Ursprüngen des M. scalenus medius und des M. levator scapulae	Kopf, Hals, Zwerchfell, z. T. Schulter
Plexus brachialis , sog. Armnervengeflecht (S. 462)	C 5–Th 1	von der (hinteren) Skalenuslücke bis zur Achselhöhle	Schulter, Arme, Brust, Rücken
Plexus lumbalis , sog. Lendenervengeflecht (S. 378)	L 1–L 4	hinter dem Ursprung des M. psoas major (S. 344)	Hüfte, Genitalien, Oberschenkel, Unterschenkel (sensorisch)
Plexus sacralis , sog. Kreuzbeinervengeflecht (S. 378)	L 4–S 3	innen auf dem M. piriformis (S. 350)	Gesäß, Oberschenkel, Unterschenkel, Fuß
Plexus coccygeus (S. 378)	S 4–S 5 meist plus einem Kokzygealsegment	im kleinen Becken vor dem Os coccygis	Haut von Steißbein und Anus (sensorisch)

Hirnnerven (Nervi craniales)

Genauso wie die Spinalnerven besitzen auch die meisten der aus dem Hirnstamm entspringenden Hirnnerven afferente und efferente Fasern. Die Zellkörper der afferenten Anteile bilden kurz vor Eintritt des Nervs in den Hirnstamm die sog. **Hirnnervenganglien**, die Ursprungszellen der motorischen Fasern liegen in den motorischen Hirnnervenkernen. Die Hirnnerven (S. 966) versorgen mit ihren somatischen Anteilen den Kopf-Hals-Bereich. Im Gegensatz zu den Spinalnerven enthalten sie Fasern mit **7 Qualitäten** (Tab. 7.4). Neben den bei den Spinalnerven (s. o.) beschriebenen sind das zusätzlich speziell somatoafferent, speziell viszeroafferent und speziell viszeroafferent.

Nicht alle Hirnnerven (**12 Hirnnervenpaare**, Tab. 7.5) enthalten Fasern aller Qualitäten, so gibt es z. B. rein motorische Hirnnerven wie den N. abducens, der einen der äußeren Augenmuskeln versorgt (M. rectus lateralis). Die meisten enthalten jedoch sowohl motorische als auch sensorische Anteile, viele zusätzlich noch autonome Fasern. Der **N. vagus** („der Umherschweifende“) hat seinen Namen daher, dass er alle Organe des Thorax und viele Organe des Bauchraums versorgt. Der **N. opticus** ist entwicklungsgeschichtlich eine Ausstülpung des Gehirns und stellt daher streng genommen eine ZNS-Bahn und keinen peripheren Nerven dar. Details zu den Hirnnerven siehe Kap. Nerven im Kopfbereich – Hirnnerven (S. 966).

Hirnnerven (Nervi craniales)

Die meisten Hirnnerven (S. 966) haben ihren Ursprung in den Kernen des Hirnstamms. Die Somata ihrer afferenten Fasern liegen in den **Hirnnervenganglien**. Ihr somatischer Anteil versorgt den Kopf-Hals-Bereich. Hirnnerven enthalten Fasern mit **7 Qualitäten** (Tab. 7.4).

Es gibt **12 Hirnnervenpaare** (Tab. 7.5).

Details zu den Hirnnerven s. Kap. Nerven im Kopfbereich – Hirnnerven (S. 966).

7.4 Einteilung der Leitungsbahnen nach ihren Faserqualitäten

Faserqualität	beteiligte Nerven	Funktion
allgemein somatoafferent (ASA)	Spinal- und Hirnnerven	Oberflächen- und somatische Tiefensensibilität (von Haut und Bewegungsapparat)
allgemein viszeroafferent (AVA)	Spinal- und Hirnnerven	Eingeweidesensibilität
speziell somatoafferent (SSA)	Hirnnerven	z. B. Hören, Gleichgewichtssinn
speziell viszeroafferent (SVA)	Hirnnerven	Geschmack, Geruch

7.4 Einteilung der Leitungsbahnen nach ihren Faserqualitäten (Fortsetzung)

Faserqualität	beteiligte Nerven	Funktion
allgemein somatoefferent (ASE)	Spinal- und Hirnnerven	zu Skelettmuskeln
allgemein viszeroefferent (AVE)	Spinal- und Hirnnerven	autonome Fasern zu Gefäßen, Eingeweiden und Drüsen
speziell viszeroefferent (SVE)	Hirnnerven	motorische Fasern zu quergestreiften Muskeln im Kopf-Hals-Bereich, die von den Schlundbogenmuskeln abstammen (sog. Branchiomotorik)

7.5

7.5 Hirnnerven und ihre hauptsächlichsten Faserqualitäten

Hirnnerv	Qualität
I N. olfactorius	rein sensorisch, Geruch (SVA)
II N. opticus	rein sensorisch, Sehen (SSA)
III N. oculomotorius	gemischt (ASE, AVE)
IV N. trochlearis	rein motorisch (ASE)
V N. trigeminus	gemischt (ASA, SVE)
VI N. abducens	rein motorisch (ASE)
VII N. facialis, inkl. N. intermedius	gemischt (AVE, SVE), Geschmack (SVA)
VIII N. vestibulocochlearis	sensorisch, Hören, Gleichgewicht (SSA)
IX N. glossopharyngeus	gemischt (AVA, AVE, SVE), Geschmack (SVA)
X N. vagus	gemischt (ASA, AVA, AVE, SVE), Geschmack (SVA)
XI N. accessorius	rein motorisch (SVE)
XII N. hypoglossus	rein motorisch (ASE)

7.5 Funktionelle Einteilung des Nervensystems

7.5.1 Somatisches Nervensystem

Funktion

Das somatische (animalische) Nervensystem dient der Reizaufnahme und -verarbeitung sowie der reflexartigen und willkürlichen Bewegung.

Aufbau

Den afferenten Anteil bilden von Rezeptoren kommende Fasern, den efferenten die Axone der Motoneurone. Hinzu kommen für beide Teile die zentralen Bahnen des ZNS, s. Kap. ZNS – funktionelle Systeme (S. 1171).

Leitung sensorischer Information

Die Reizaufnahme erfolgt über Sinneszellen oder rezeptive Nervenendigungen (**Rezeptoren**):

- **Primäre Sinneszellen** gehen direkt in das afferente Axon über.
- **Sekundäre Sinneszellen** besitzen eine Synapse am Übergang zum afferenten Axon.

7.5 Funktionelle Einteilung des Nervensystems

7.5.1 Somatisches Nervensystem

Funktion

Das somatische (animalische) Nervensystem dient mit seinem afferenten sensorischen Anteil der Aufnahme und Verarbeitung von Umwelt- und körpereigenen Reizen, während sein efferenter motorischer Anteil reflexartige und willkürliche Bewegungen steuert.

Aufbau

Zum somatischen peripheren Nervensystem gehören auf der afferenten Seite die Nervenfasern von den verschiedenen Rezeptoren (s. u.) der Körperperipherie, auf der efferenten Seite die Axone der Motoneurone. Der zentrale Anteil wird von Bahnen des ZNS gebildet, s. auch Kap. ZNS – funktionelle Systeme (S. 1171).

Leitung sensorischer Information

Die sensorische Information wird über Sinneszellen oder rezeptive Nervenendigungen (**Rezeptoren**) aufgenommen. Man unterscheidet allgemein zwei Typen von Sinneszellen:

- **Primäre Sinneszellen** gehen direkt in das afferente Axon ohne Zwischenschaltung einer Synapse über (Beispiel: Mechanorezeptoren und Nozizeptoren).
- **Sekundäre Sinneszellen** besitzen eine Synapse am Übergang zum afferenten Axon (Beispiel: Haarzellen des Innenohrs).

Anmerkung: Hier werden unter Rezeptoren spezialisierte anatomische Strukturen verstanden, die Reize aufnehmen. Derselbe Begriff wird auch für **Rezeptormoleküle** verwendet, wie sie z. B. in der Membran von Nervenzellen als Bindungsstellen für Neurotransmitter vorkommen.

Durch Einwirkung eines **Reizes** auf den Rezeptor wird ein **Rezeptorpotenzial** ausgelöst, dessen Größe von der Reizstärke abhängt. Der **adäquate** Reiz ist die Reizform, die den Rezeptor mit dem geringsten Energieaufwand erregt. Die Reizstärke wird über die **Frequenz** der Aktionspotenziale in der afferenten Faser kodiert, nicht über die **Amplitude** des Aktionspotenzials. Je nach dem adäquaten Reiz können Rezeptoren in verschiedene Typen eingeteilt werden (Tab. 7.6).

Unter einem **adäquaten Reiz** versteht man die Reizform, die den Rezeptor mit dem geringsten Energieaufwand erregt. Es werden verschiedene Rezeptortypen unterschieden (Tab. 7.6).

Rezeptortyp	adäquater Reiz	Beispiel
Mechanorezeptor	Dehnung, Druck	Berührungsrezeptoren der Haut
Chemorezeptor	chemische Stoffe (u. a. Duftstoffe, CO ₂ -Konzentration im Blut)	Riechzellen der Nasenschleimhaut, Zellen des Glomus caroticum
Thermorezeptor	Temperaturänderungen	Kälterezeptoren der Haut
Nozizeptor	Gewebeschädigung	polymodale Nozizeptoren

► **Merke.** Ein Rezeptor kann auch durch **inadäquate Reize** erregt werden, z. B. die Photorezeptoren der Netzhaut durch einen Faustschlag aufs Auge, der zum „Sterbesehen“ führt. Für die Erregung eines Rezeptors durch einen inadäquaten Reiz sind höhere Energien erforderlich als für die Erregung durch den adäquaten Reiz.

► **Merke.**

Die afferenten Fasern treten über die **Radix posterior** in das Rückenmark ein. Die synaptische Umschaltung auf das nächste Neuron erfolgt meist im Hinterhorn und ist **oligo-** oder **polysynaptisch**, d. h. die afferente Faser wird über wenige oder viele Synapsen auf das Neuron umgeschaltet, dessen Axon dann endgültig nach kranial projiziert. In der Regel wird die Information über mindestens **drei afferente Neurone** aus der Peripherie zur Großhirnrinde (Kortex) geleitet:

- **Primär afferentes Neuron:** Dieses Neuron erstreckt sich vom Rezeptor in der Körperperipherie bis zur ersten Synapse im Rückenmark oder Hirnstamm und kann eine Länge von über einem Meter erreichen. Es entspricht dem afferenten Anteil der Spinalnerven, dementsprechend liegt sein Soma in den Spinalganglien, bei Hirnnerven in den Hirnnervenganglien.
- **Zweites (sekundär afferentes) Neuron:** Nach synaptischer Umschaltung auf das zweite Neuron steigt die Information im Rückenmark bzw. Hirnstamm zu höheren Zentren (z. B. Thalamus) auf.
- **Drittes afferentes Neuron:** Es reicht vom Thalamus bis zur Hirnrinde (Kortex). Im Großhirnkortex wird der Reiz erkannt und bewusst. Die sensorischen Rückenmarksbahnen sind durch **mindestens zwei Synapsen** unterbrochen, typischerweise im Rückenmark bzw. Hirnstamm und dem Thalamus. An jedem Neuron mit Synapsen finden Verarbeitungsprozesse statt. Die Unterbrechung der aufsteigenden Rückenmarkstrakte durch Synapsen hat wahrscheinlich den Sinn, die neuronale Information vor Erreichen des Zielgebiets zu modulieren. Das letzte Neuron der Bahn zieht dann zur Hirnrinde. Im Kortex wird die Sinnesinformation bewusst, sie wird zu einer Sinneswahrnehmung. Mit Ausnahme des Schmerzsinns haben alle Sinnesmodalitäten auf dem Kortex spezielle (primäre) Zentren, in denen ausschließlich die Information von der entsprechenden Sinnesmodalität verarbeitet wird.

Die bekannteste **monosynaptische Verbindung** im Rückenmark und Hirnstamm ist die zwischen den primären Endigungen der Muskelspindeln (s. u.) und den α -Motoneuronen.

Somatoafferenzen

Die **afferente Seite** bilden die **deszendierenden motorischen Bahnen** des ZNS und die **Motoneurone** des peripheren somatischen Nervensystems. Das Soma der peripheren efferenten Nervenzellen befindet sich im Vorderhorn des Rückenmarks bzw. in den motorischen Hirnnervenkernen des Hirnstamms (s. o.). Die motorischen Fasern verlassen das Rückenmark über die Vorderwurzel und ziehen dann zur Muskulatur, wo die Erregung der quergestreiften Muskelfasern über eine spezielle Form der Synapse erfolgt, der **neuromuskulären Endplatte**. Der Transmitter ist hier **Acetylcholin** (ACh).

Sensorische Information von den Rezeptoren der Körperperipherie erreicht das Rückenmark über die Hinterwurzel. Die Informationsleitung und -verarbeitung im somatischen System erfolgt über mindestens **3 afferente Neurone**:

- das **primär afferente Neuron** beginnt am Rezeptor und endet mit seiner Synapse im Rückenmark oder Hirnstamm. Dort erfolgt die Umschaltung auf
- das **zweite (sekundär afferente) Neuron**, in welchem die Information im Rückenmark bzw. Hirnstamm zu höheren Zentren aufsteigt. Nach Umschaltung durch eine weitere Synapse folgt
- das **dritte afferente Neuron**, welches zur Hirnrinde führt. Dort wird die Sinnesinformation erkannt und bewusst (Sinneswahrnehmung).

Somatoafferenzen

Die **afferente Seite** des peripheren somatischen Systems wird durch die **Motoneurone** gebildet. Sie übertragen die Information an den **neuromuskulären Endplatten** über den **Transmitter Acetylcholin** auf die quergestreiften Muskelzellen. Die somatisch-efferente Seite des ZNS stellen die deszendierenden motorischen Bahnen dar.

7.5.2 Autonomes Nervensystem

Funktion

Das autonome (vegetative, viszerale) Nervensystem steuert die Funktion innerer Organe und ist nicht dem Willen unterworfen.

Aufbau

Es besteht aus 3 Komponenten:

- **Sympathisches Nervensystem** (Pars sympathica)
- **Parasympathisches Nervensystem** (Pars parasympathica)
- **Enterisches** (intramurales) **Nervensystem**

► Merke.

Sympathikus und Parasympathikus

Sympathikus

Sympathikus: Die Somata der Ursprungsneurone des Sympathikus liegen im **Seitenhorn** der Rückenmarkssegmente C 8 bis L 1–3.

Die dünn markhaltigen Axone ziehen über die Vorderwurzel und den **R. communicans albus** zum **autonomen Ganglion**. Dort erfolgt die Umschaltung auf das zweite Neuron. Die Fasern laufen über den **R. communicans griseus** zurück zum Spinalnerv und dann zusammen mit dem Nerv zu den Zielorganen (Effektoren, Abb. 7.14).

Das erste Neuron wird als **prä-**, das zweite als **postganglionär** bezeichnet. Im Bereich des oberen Zervikal- und des unteren Lumbalmarks gehen die sympathischen Fasern nicht direkt aus dem Rückenmark hervor, sondern stammen aus den o. g. Ursprungssegmenten (C 8 bis L 1–3). Die Ganglien der einzelnen Segmente bilden mit den sie verlängernden Fasern den sog. **Grenzstrang (Truncus sympathicus**, Tab. 7.7).

7.5.2 Autonomes Nervensystem

Funktion

Das autonome (vegetative, viszerale) Nervensystem steuert die Aktivität von inneren Organsystemen. Beispiele für eine solche Steuerung sind die Beeinflussung von Puls und Blutdruck sowie der Darmmotorik. Wie der Name andeutet, ist das autonome Nervensystem unabhängig vom somatischen Nervensystem und dem Willen nicht unterworfen. Seine Funktionen laufen weitgehend unbewusst ab.

Aufbau

Das autonome Nervensystem besteht nach der klassischen Einteilung aus 3 Komponenten:

- **Sympathisches Nervensystem** (Pars sympathica)
- **Parasympathisches Nervensystem** (Pars parasympathica)
- **Enterisches** (intramurales) **Nervensystem** (Plexus entericus)

Der Begriff „sympathische/parasympathische Afferenzen“ sollte vermieden werden, weil das Soma dieser sensorischen Fasern im Spinal- oder Hirnnervenganglion liegt. Die Fasern gehören daher zum viszeralem Nervensystem. Die Afferenzen benutzen nur für eine bestimmte Verlaufsstrecke autonome Nerven. Allerdings werden an manchen Stellen in der Literatur auch die viszeralem Afferenzen zum autonomen Nervensystem gezählt.

► Merke.

Das sympathische und parasympathische Nervensystem ist ein **effereutes** Nervensystem (Abb. 7.16). Es besteht aus einer Kette von **zwei Neuronen** mit einer dazwischengeschalteten Synapse in einem der autonomen Ganglien (s. u.).

Sympathikus und Parasympathikus

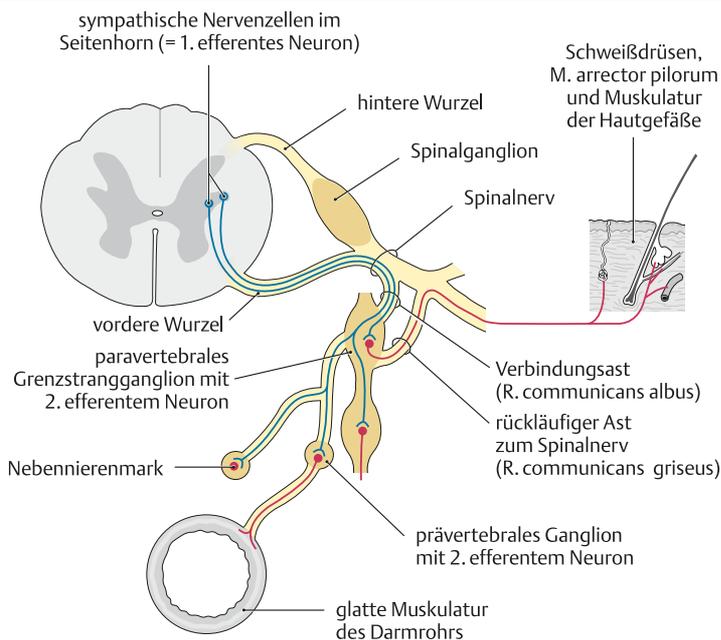
Sympathikus

Die Ursprungsneurone des Sympathikus liegen im **Seitenhorn** des Rückenmarks (Ncl. intermediolateralis) in allen Segmenten des Brustmarks und reichen noch ein bis zwei Segmente in das Hals- und Lendenmark hinein. Damit erstrecken sich die Ursprungsneurone von C 8 bis L 1–3.

Die Axone dieser Zellen sind dünn markhaltig (daher rührt der Name **R. albus** = weiß). Sie verlassen das Rückenmark über die Vorderwurzel und ziehen dann vom Spinalnerv über den **R. communicans albus** zu ihrem jeweiligen sog. **Grenzstrangganglion**. Auf beiden Seiten der Wirbelsäule (paravertebral) ist jeweils ein Grenzstrang vorhanden. Das autonome Grenzstrangganglion wird aus den Somata des zweiten efferenten Neurons gebildet, welches hier synaptisch mit dem ersten verschaltet ist. Die Zellen des autonomen Ganglions sind multipolar (S. 81) mit vielen Dendriten und einem Axon. Nach Umschaltung im Ganglion ziehen marklose Fasern über den **R. communicans griseus** (griseus = grau, wegen der marklosen Fasern) zum Spinalnerven zurück und verlaufen mit ihm zu den Zielorganen (Effektoren, Abb. 7.14).

Das erste Neuron wird als **präganglionär**, das zweite als **postganglionär** bezeichnet. Im oberen Zervikalmark (kranial von C 8) sowie im kaudalen Lumbal- und gesamten Sakralmark gibt es keine sympathischen Ursprungsneurone und damit keine **Rr. communicantes albi** mehr. Die präganglionären Fasern kommen aus o. g. Ursprungssegmenten und werden in Ganglien des jeweiligen Bereiches (Ggl. cervicalia bzw. sacralia) auf **Rr. communicantes grisei** umgeschaltet. Diese bilden zusammen mit den sympathischen Ganglien der Thorakal- und Lumbalsegmente (Ggl. thoracica und lumbalia) und den die Ganglien verbindenden Fasern (**Rr. interganglionares**) den sog. **Grenzstrang (Truncus sympathicus**, Tab. 7.7). Dieser verläuft von der Schädelbasis bis zum Steißbein auf beiden Seiten der Wirbelsäule. Allgemein entfallen je 2 sympathische Grenzstrangganglien (links und rechts) auf jedes Rückenmarksegment. Eine Ausnahme von dieser Regel ist der Halsgrenzstrang, der statt aus je 8 nur aus je 3 Ganglien besteht (Ggl. cervicale superius, medium und inferius, s. Tab. 7.7).

7.14 Verlauf der sympathischen Fasern



Sympathische Fasern laufen über die Rr. communicantes zwischen Spinalnerv und Grenzstrang: Im R. communicans albus verlaufen präganglionäre sympathische Fasern, im R. communicans griseus postganglionäre Fasern (nach Umschaltung im paravertebralen Grenzstrangganglion). Weitere Umschaltstellen sind prävertebrale Ganglien, die vor der Wirbelsäule liegen. Eine Besonderheit des Nebennierenmarks (S. 780) ist die direkte Versorgung des Organs durch präganglionäre Fasern.

Quelle: nach Schönke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssysteme. Illustrationen von Voll M u. Wesker K. 6. Aufl. Stuttgart: Thieme; 2022

7.7 Truncus sympathicus

Abschnitt	Ganglien	Lage	Funktion und Bemerkungen
Zervikalabschnitt (präganglionäre Fasern aus C 8 und den oberen Thorakalsegmenten)	3 Ggll. cervicalia:		Abgabe von Ästen zum Herzen (Nn. cardiaci), die steil nach kaudal verlaufen.
	▪ superius	direkt unter der Schädelbasis	Umschaltung aller sympathischen Fasern zum Gehirn und zu großen Teilen des Kopfes (Augen-, Nasen-, Mundhöhle, Speicheldrüsen). Die postganglionären Fasern bilden Geflechte um Äste der A. carotis interna und externa (S. 883) bis zu der von ihnen innervierten Struktur (Effektor), d. h. zunächst nicht über Anlagerung an andere Nerven.
	▪ medium	in Höhe des 6. Halswirbels	oft fehlend oder rudimentär
	▪ inferius	ventral des Kopfes der 1. Rippe, dorsal vom Ursprung der A. vertebralis	bildet durch Verschmelzung mit dem 1. thorakalen Ganglion das Ggl. stellatum
Thorakal- und oberer Lumbalabschnitt (aus C 8–L 2)	10–11 Ggll. thoracica 4–5 Ggll. lumbalia	segmental neben Brust- bzw. Lendenwirbelsäule	Umschaltstelle für sympathisch innervierte Strukturen der Haut im Bereich der Rumpfwand. Fasern zu inneren Organen im Bauch- und Beckenraum laufen meist ohne Umschaltung durch die Grenzstrangganglien hindurch, bilden z. T. Nerven (wie z. B. N. splanchnicus major aus Th 5–Th 9, N. splanchnicus minor aus Th 9–Th 11) und erreichen nach Umschaltung in den prävertebralen Ganglien (s. u.) ihre Effektoren.
unterer Lumbal- und Sakralabschnitt (aus Th 12–L 2)	ca. 4 Ggll. sacralia Ggl. impar	auf dem Kreuzbein unpaarig vor dem Steißbein	

► **Merke.** Die Ganglien des somatischen Systems werden aus afferenten, die des autonomen Systems aus **efferenten** Fasern gebildet. Im Gegensatz zu Spinalganglien sind in autonomen Ganglien **Synapsen** vorhanden.

► **Merke.**

Zur Versorgung der Organe der **Bauchhöhle** entspringen im Brustmark zusätzlich sympathische Nerven, die unabhängig vom Spinalnerv ihre Effektoren erreichen: **N. splanchnicus (thoracis) major** (Th 5–9) bzw. **minor** (Th 9–11). Diese Nerven bestehen aus präganglionären Fasern, sie durchlaufen ohne synaptische Umschaltung die Grenzstrangganglien und haben ihre Synapsen in den **prävertebralen Ganglien** (S. 864), die vor der Wirbelsäule im Bauchraum liegen:

- Der N. splanchnicus major endet hauptsächlich im paarigen **Ggl. coeliacum** – auch Ggl. aorticum genannt – direkt kaudal vom Zwerchfell. Wegen der strahlenförmig einmündenden Faserbündel aus dem Sympathikus und dem parasympathischen

N. splanchnicus major und **minor** entspringen im Brustmark und verlaufen unabhängig vom Spinalnerv. Ihre Umschaltung erfolgt erst in den **prävertebralen Ganglien** im Bauchraum:

- Der N. splanchnicus thoracicus major endet im paarigen **Ggl. coeliacum** (Ggl. aorticum, Solarplexus)
- Der N. splanchnicus thoracicus minor endet im **Ggl. mesentericum sup.** und **inf.**