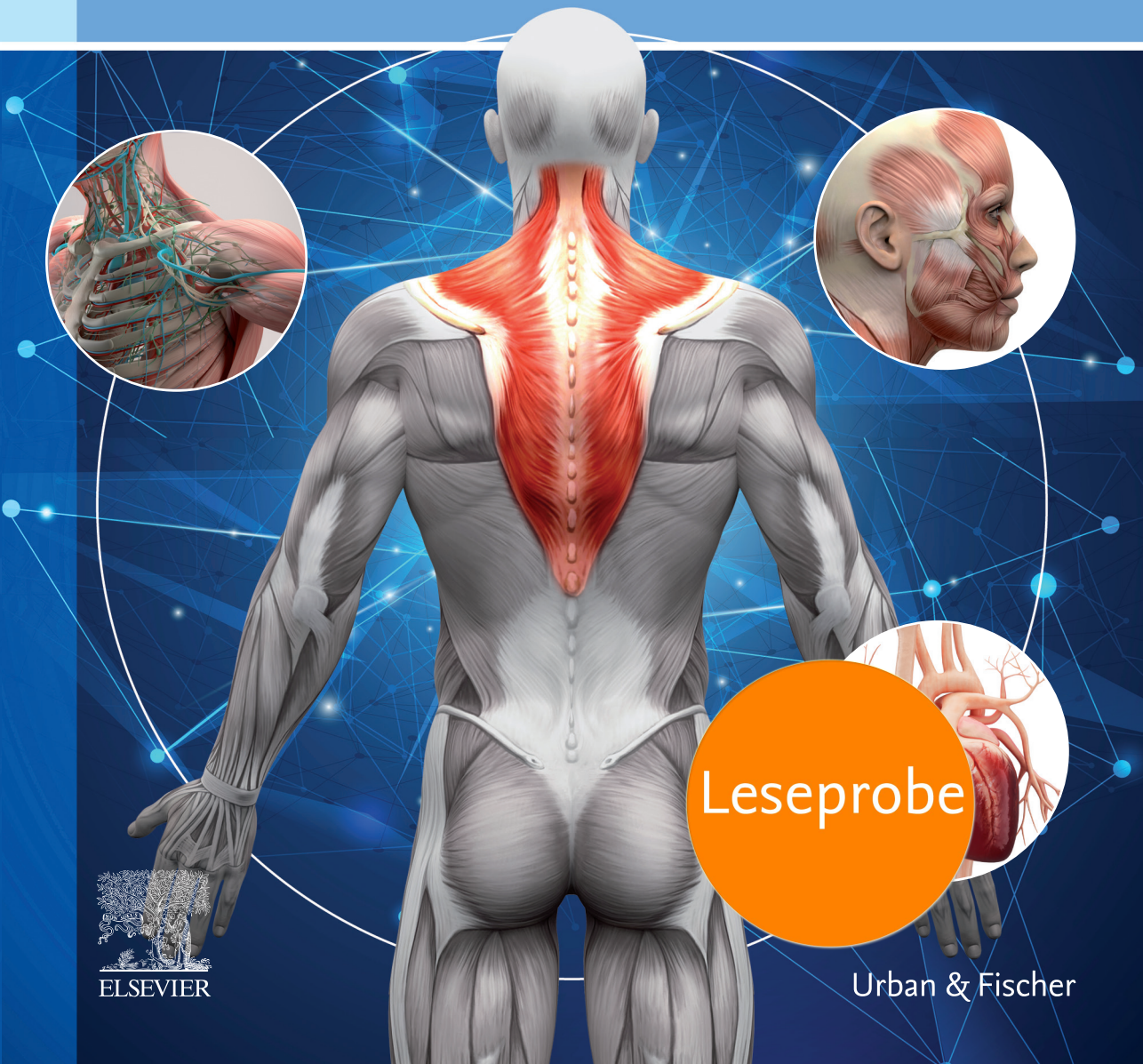
E.-J. Speckmann W. Wittkowski

21. Auflage

Handbuch Anatomie

Bau und Funktion des menschlichen Körpers



Leseprobe

ELSEVIER

Urban & Fischer

Mit diesem Lehrbuch leichter lernen und verstehen

. . . durch eine klare Orientierung

- **Farbleitsystem:** Jedes Kapitel ist in einer eigenen *Kapitelfarbe* gestaltet.

- **Abbildungen und Tabellen:** bilden zusammen mit den *Legenden* separate kleine Lerneinheiten.

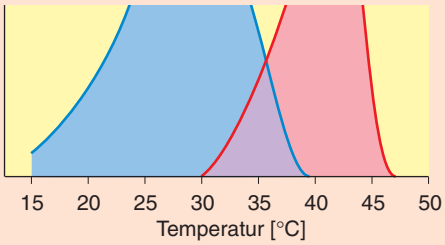


Abb. 5-4 Entladungsraten (Zahl der Aktionspotenziale pro Sekunde) . . .

. . . durch einen strukturierten Lerntext

Eine **Kurzinformation**, ein charakterisierendes **Übersichtsbild** und ein **Fallbeispiel** zum Selbst-Lösen leiten jedes Kapitel ein. Am Ende eines jeden Kapitels findet sich die **Auflösung** des Fallbeispiels.

Texthervorhebungen: Wichtige Inhalte und Fachbegriffe sind **fett** gedruckt.

Verschiedene **Textkästen** erleichtern das Lernen:

Z — Z = **Zusammenfassung:** Zusammenfassungen wichtiger Inhalte zum leichteren Lernen und Wiederholen

K — K = **Krankheitslehre:** Krankhafte Veränderungen der dargestellten physiologischen Vorgänge

G — G = **Gesundheitsvorsorge/Prophylaxe:** Anregungen und Beispiele für vorbeugende Maßnahmen

P — P = **Pflegehinweis:** Praxisorientierte Pflegeaspekte

Ü — Ü = **Übung:** Praktische Übungen zur Selbsterfahrung der Anatomie und der physiologischen Prozesse des Körpers

. . . durch Wiederholungsfragen

An jedem Kapitelende finden sich ca. 10 Wiederholungsfragen, die die Kernpunkte des Kapitels nochmals aufgreifen und eine kompakte Stoffwiederholung ermöglichen.

Wissenswertes im Überblick

f = weiblich; m = männlich

Häufig benutzte Abkürzungen in der Medizin

ACh	= Acetylcholin
ACTH	= adreno-corticotropes Hormon
ADH	= antidiuretisches Hormon
ADP	= Adenosindiphosphat
AEP	= akustisch evoziertes Potenzial
ANF	= atrialer natriuretischer Faktor
Anti-A	= Antikörper im Plasma zur Blutgruppe B
Anti-B	= Antikörper im Plasma zur Blutgruppe A
Anti-D	= Antikörper im Plasma von rh-negativen Individuen
AP	= Aktionspotenzial
ATP	= Adenosintriphosphat
AV-Rhythmus	= Rhythmus des AV-Knotens
$avDO_2$	= arteriovenöse O_2-Differenz
BSG	= Blutsenkungsgeschwindigkeit
dpt	= Dioptrien
EEG	= Elektroenzephalogramm
EKG	= Elektrokardiogramm
EMG	= Elektromyogramm
EOG	= Elektrookulogramm
EP	= evozierte Potenziale
f	= Frequenz
FSH	= follikelstimulierendes Hormon
GFR	= glomeruläre Filtrationsrate
5-HT	= 5-Hydroxytryptamin, Serotonin
Hb	= Hämoglobin
HCG	= Choriongonadotropin
HDL	= high density lipoprotein
HLA	= human leukocyte antigen
HMV	= Herzminutenvolumen
HZV	= Herzzeitvolumen
IFN	= Interferone
Ig	= Immunglobuline
LDL	= low density lipoprotein
LH	= luteinisierendes Hormon
MCH	= mittlerer Hämoglobingehalt des Erythrozyten
MP	= Membranpotenzial
NA	= Noradrenalin
pCO_2	= Kohlendioxidpartialdruck
pO_2	= Sauerstoffpartialdruck
PRL	= Prolaktin
PTT	= partial thromboplastin time
RBF	= renaler Blutfluss
REM	= Rapid-eye-movement-Schlaf
RhD^-	= Rhesus-negativ
RhD^+	= Rhesus-positiv
RQ	= respiratorischer Quotient
SEP	= somatosensorisch evoziertes Potenzial
STH	= somatotropes Hormon
T	= absolute Temperatur
T_3	= Trijodthyronin
T_4	= Thyroxin
TSH	= thyroideastimulierendes Hormon
VIP	= vasoaktives intestinales Peptid
V_T	= Atemzugvolumen

Häufig benutzte Abkürzungen in der Medizin

ZNS	= Zentralnervensystem
ZVD	= zentraler Venendruck

Abkürzungen von häufig verwendeten anatomischen Bezeichnungen

Einzahl		Mehrzahl	
A.	= Arteria	Aa.	= Arteriae
Lig.	= Ligamentum	Ligg.	= Ligamenta
M.	= Musculus	Mm.	= Musculi
N.	= Nervus	Nn.	= Nervi
R.	= Ramus	Rr.	= Rami
V.	= Vena	Vv.	= Venae

Abkürzungen von Ortsbezeichnungen als Bestandteile anatomischer Begriffe

	lateinisch	deutsch
ant.	= anterior	= vorderer
caud.	= caudalis	= unten
dext.	= dexter	= rechts
dist.	= distalis	= weiter vom Rumpf entfernt
dors.	= dorsalis	= hinten (rückwärts)
ext.	= externus	= außen (i.S. von oberflächlich)
inf.	= inferior	= unterer
int.	= internus	= innen (i.S. von tief)
lat.	= lateralis	= außen (i.S. von seitlich)
med.	= medialis	= innen (als Gegensatz von seitlich)
	= medius	= mittlerer (von drei)
palm.	= palmaris	= in oder nach der Hohlhand zu
post.	= posterior	= hinterer
prof.	= profundus	= tief
prox.	= proximalis	= näher zum Rumpf liegend
sin.	= sinister	= links
sup.	= superior	= oberer
superf.	= superficialis	= oberflächlich
ventr.	= ventralis	= vorn (bauchwärts)

Bewegungsrichtungen

Flexion → Beugung

Extension → Streckung

Abduktion → vom Körper weg

Adduktion → zum Körper hin

Rotation → Drehung, Kreiselung

Achsen und Ebenen

1) **Vertikale (longitudinale) Achse** → Längsachse des Körpers
2) **Transversale (horizontale) Achse** → Querachse
3) **Sagittale Achse** → verläuft von der Hinter- zur Vorderfläche des Körpers
4) **Mediansagittalebene** → teilt den Körper in zwei annähernd gleiche Hälften (Symmetrieebene)
5) **Sagittalebene** → Paramedianebene, jede parallel zur Mediansagittalebene stehende Ebene
6) **Frontale Ebene** → eine Ebene parallel zur Stirn
7) **Transversale Ebenen** → stehen senkrecht zur Mediansagittalebene und zu einer Frontalebene. Bei aufrechtem Stand liegen sie horizontal.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung: Gesamtsystem Organismus und funktionelle Ausrichtung 1

2. Bau des menschlichen Körpers im Überblick 5
2.1 Lagebeziehungen der Organsysteme des Körpers 6
2.2 Bildgebende Verfahren 12

3. Zellen und Gewebe 37
3.1 Zelle mit Zellorganellen 39
3.2 Zellteilung (Mitose) 46
3.3 Zelltod 48
3.4 Gewebe 48

4. Nervensystem – Allgemeine Grundlagen 55
4.1 Bauelemente des Nervensystems 57
4.2 Grundfunktionen der Nervenzellen 61
4.3 Gliederung und Oberflächenstrukturen von Gehirn und Rückenmark 65
4.4 Hirnnerven und Rückenmarksnerven 69
4.5 Innerer Aufbau von Gehirn und Rückenmark 71
4.6 Architektur der Hirnrinde 75
4.7 Hirn- und Rückenmarkshäute 76
4.8 Blutversorgung von Gehirn und Rückenmark 77
4.9 Gehirn-Rückenmarksflüssigkeit (Liquor cerebrospinalis) 81
4.10 Hirnfunktionen im Spiegel des Elektroenzephalogramms (EEG) 83
4.11 Schlaf-Wach-Rhythmus 87

5. Sensorisches System 91
5.1 Bauelemente und Grundfunktionen des sensorischen Systems 93
5.2 System der somato-viszeralen Sensibilität: Empfindung von Druck, Berührung, Temperatur und Schmerz 96
5.3 Visuelles System: Sehen 107
5.4 Auditorisches System: Hören 119
5.5 Phonetisches System: Sprechen 125
5.6 Vestibuläres System: Empfindung von Beschleunigungen 127
5.7 Gustatorisches System: Schmecken 131
5.8 Olfaktorisches System: Riechen 134
5.9 Efferente Kontrolle, Erregungsbegrenzung und Kontrastbildung 137
5.10 Sensorische Assoziationssysteme: Bewusste Wahrnehmung 139
5.11 Lernen und Gedächtnis 140

6. Motorisches System 145
6.1 Allgemeine Motorik: Bauelemente und Grundfunktionen 147
6.2 Spezielle Motorik: Bewegungsapparat 160
6.3 Spezielle Motorik: Haltemotorik und Zielmotorik 212

7. Verdauungssystem und Resorption 227
7.1 Energiebedarf 229
7.2 Ernährung 230
7.3 Verdauungstrakt 235
7.4 Verdauung und Resorption 253

8. Atmung 263
8.1 Obere Luftwege 265
8.2 Untere Luftwege 268
8.3 Gasaustauschfläche: Lungen 273
8.4 Atemmechanik: Einatmung und Ausatmung 275
8.5 Sauerstoffaufnahme 279
8.6 Kohlendioxidabgabe 280
8.7 Aufgabe der Atmung im Säure-Basen-Haushalt 282

9. Herz-Kreislauf-System 285
9.1 Struktur und Funktionsprinzip 287
9.2 Herz 288
9.3 Funktionen des Herzens 294
9.4 Gefäße 301
9.5 Organdurchblutung 310

10. Nierensystem und Wasserhaushalt 319
10.1 Harnbildende Organe 321
10.2 Harnableitende Organe 325
10.3 Wasseraustausch zwischen Blut und Gewebe 326
10.4 Funktion der Nierenkörperchen 329
10.5 Funktion der Nierentubuli 331
10.6 Aufgabe der Niere im Säure-Basen-Haushalt 334
10.7 Füllung und Entleerung der Harnblase 335

11. Blut und Abwehrsystem 339
11.1 Blutplasma 341
11.2 Rote Blutkörperchen (Erythrozyten) 344
11.3 Weiße Blutkörperchen (Leukozyten) 347
11.4 Abwehrsystem 350
11.5 Lymphatische Organe und Lymphgefäße 356
11.6 Blutplättchen (Thrombozyten) 363
11.7 Blutgerinnung 365

12 Koordination spezialisierter Organfunktionen: Vegetatives Nervensystem 371
12.1 Ausbreitung und Zielorgane des peripheren vegetativen Nervensystems 373
12.2 Erregungsverarbeitung im peripheren vegetativen Nervensystem 380
12.3 Organisation des zentralen vegetativen Nervensystems 387

13 Koordination spezialisierter Organfunktionen: Endokrines System 389
13.1 Wirkung von Hormonen und Aufbau des endokrinen Systems 391
13.2 Übergeordnete endokrine Systeme 392
13.3 Endokrine Teilsysteme 395

14. Temperaturregelung 409
14.1 Temperaturfelder des Körpers und Körpertemperatur 411
14.2 Wärmebildung und Wärmetransport 412
14.3 Einstellung der Körpertemperatur 413
14.4 Fieber, Hyperthermie und Hypothermie 414
14.5 Akklimatisation 415

15. Fortpflanzung 417
15.1 Männliche Geschlechtsorgane 419
15.2 Weibliche Geschlechtsorgane 424
15.3 Ablauf und Regelung der Bildung männlicher und weiblicher Keimzellen 428
15.4 Befruchtung und Keimentwicklung bis zur Implantation 433
15.5 Entwicklung des Embryos sowie Ausbildung von Embryonalhüllen und Placenta 435
15.6 Entwicklung des Feten 443
15.7 Schwangerschaft und Geburt 447
15.8 Entwicklung des Neugeborenen 451
15.9 Vererbung 452

16. Kindheit 455
16.1 Prinzipien der kindlichen Entwicklung: Wachstum und Differenzierung 457
16.2 Entwicklungsstadien 459
16.3 Prävention im Kindesalter 462

17. Alter 465
17.1 Ursachen des Alterungsprozesses 467
17.2 Veränderungen der Organsysteme 467
17.3 Häufige Erkrankungen und Syndrome im Alter 472
17.4 Lebensweise und Prävention im Alter 472
17.5 Sterben und Tod 474

Anhang 475
Glossar 476
Herleitung griechischer Begriffe 481
Abbildungsnachweis 483
Sachverzeichnis 485

1 Einleitung: Gesamtsystem Organismus und funktionelle Ausrichtung

Jedes Lebewesen braucht für seine Existenz eine geeignete **Umwelt.** Der Organismus steht in enger Wechselwirkung mit dieser Umwelt. Darauf ist die gesamte funktionelle Organisation des Menschen ausgerichtet.

Die **Wechselwirkung** mit der Umwelt umfasst zum einen die bewusste Wahrnehmung der Außenwelt durch den Organismus. Diese Funktion übernimmt das Sinnessystem, das als **sensorisches System** bezeichnet wird (Abb. 1-1). Zum anderen reagiert der Organismus auf die Umwelt oder wirkt auf diese durch ein Bewegungssystem ein, das **motorisches System** genannt wird (Abb. 1-1). Beide Systeme besitzen als wesentlichen Baustein Nervengewebe und sind deshalb insgesamt dem **Nervensystem** zuzurechnen. So ermöglicht das Nervensystem mit dem Gehirn als zentralem Bestandteil dem menschlichen Organismus, mit seiner Umwelt in wechselseitige Beziehung zu treten. Gleichzeitig bildet es die materielle Grundlage für das Bewusstsein, für geistige und seelische Vorgänge. Insgesamt ist damit das Nervensystem als **Persönlichkeitsteil** des Organismus beschreibbar.

Sensorisches und motorisches System, die eine direkte Verbindung mit der Umwelt herstellen, können ihre Funktion nur aufrechterhalten, wenn genügend Substrate (z. B. Nährstoffe) für ihren **Stoffwechsel** zur Verfügung stehen und die anfallenden End- und Zwischenprodukte des Stoffwechsels abgeführt werden. Verschiedene Organe, die sich als **Versorgungsteil** des Organismus zusammenfassen lassen, leisten diese Zubringerdienste (Abb. 1-1):

- Die Aufnahme der Stoffwechselsubstrate aus der Nahrung und aus der Atemluft übernimmt der Magen-Darm-Kanal mit seinen Anhangorganen bzw. die Lunge.
- Für den Stofftransport im Organismus sorgen die Organe des Blutkreislaufs.
- Das Ausscheiden der Stoffwechselendprodukte erfolgt über Darm, Niere und Lunge.

Zahlreiche spezialisierte Organe übernehmen also die Einzelfunktionen im Versorgungsteil des Organismus. Für die einwandfreie Funktion des Organismus ist es notwendig, dass die Organe zu einer Gesamtleistung koordiniert werden. Diese Aufgabe übernehmen das **vegetative Nervensystem** und das **endokrine System** (Abb. 1-1). Beide Koordinationssysteme sind aufeinander abgestimmt.

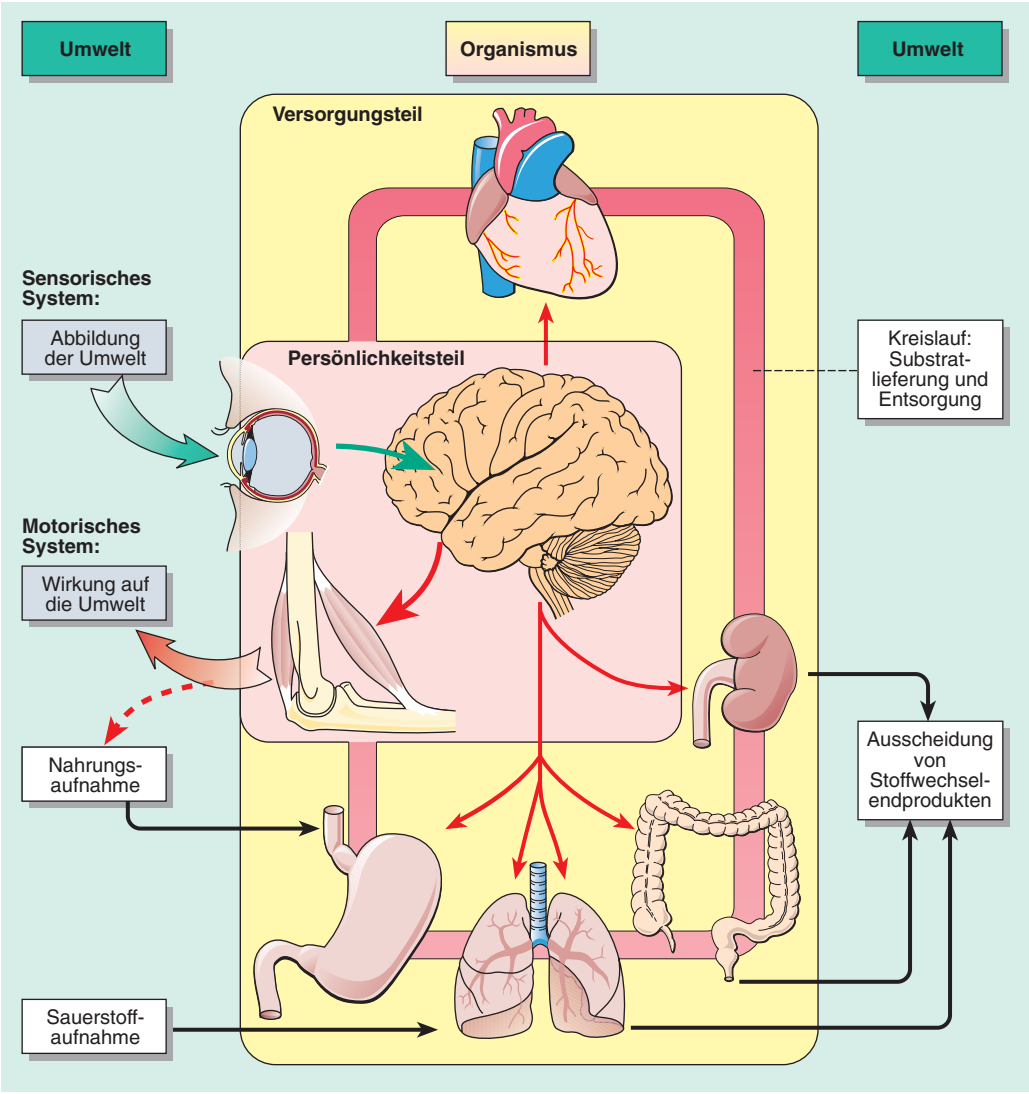


Abb. 1-1 Funktionen von Persönlichkeits- und Versorgungsteil des Organismus. Der Persönlichkeitsteil (rosa) steht über das sensorische (grüne Pfeile) und das motorische System (dicke rote Pfeile) in Wechselwirkung mit der Umwelt. Der Versorgungsteil (gelb) stellt mit seinen verschiedenen Organen die energetische Versorgung des Persönlichkeitsteils sicher. Die verschiedenen Organfunktionen werden vom Persönlichkeitsteil über das vegetative Nervensystem und das endokrine System (dünne rote Pfeile) koordiniert. [L106-R127]

Die **Fortpflanzung** erfordert zusätzliche geschlechtsspezifische Funktionssysteme. Abb. 1-2 zeigt, dass im männlichen wie im weiblichen Organismus Keimzellen gebildet werden (Eierstock und Hoden).

Wenn die männliche Keimzelle in den weiblichen Organismus gelangt, kann es zu einer Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keimzelle kommen. Durch diesen Vorgang der Befruchtung entsteht ein neues Lebewesen. Der weibliche Organismus bildet die direkte Umwelt für das Kind und übernimmt seine Versorgung bis zur Geburt (Abb. 1-2). Nach der Geburt ändern sich die Umweltbedingungen für das Kind. Sie entsprechen dann den Verhältnissen beim erwachsenen Organismus, wie sie oben skizziert sind.

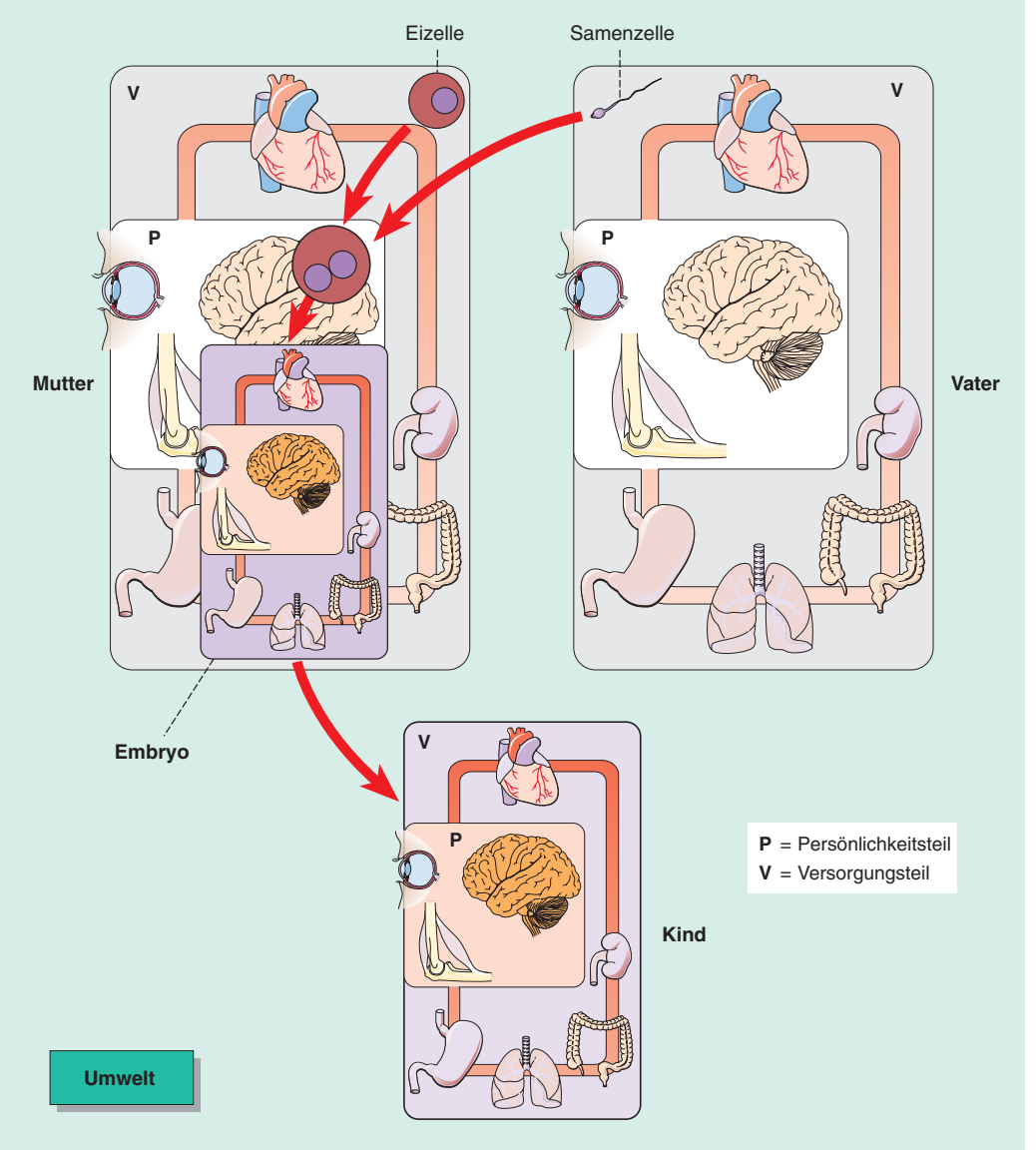


Abb. 1-2 Fortpflanzung. Nach Verschmelzung von Ei- und Samenzelle entsteht ein neuer Mensch. Zunächst ist der Versorgungsteil der Mutter seine Umwelt. Nach der Geburt hat er dieselbe Umwelt wie Mutter und Vater. [L106-R127]

2 Bau des menschlichen Körpers im Überblick

2.1 Lagebeziehungen der Organsysteme des Körpers 6

2.2 Bildgebende Verfahren 28
2.2.1 Röntgendiagnostik 28
2.2.2 Sonographie 29
2.2.3 Magnetresonanztomographie (MRT) 29
2.2.4 Nuklearmedizinische Verfahren 29

2.1 Lagebeziehungen der Organsysteme des Körpers

Der Umgang mit Patienten erfordert in allen medizinischen und pflegerischen Bereichen ein hohes Maß an Vertrautheit mit dem Bau des menschlichen Körpers. Dabei sind sowohl die Form und Größe (Morphologie) der einzelnen Organe und Organsysteme als auch ihre räumliche Beziehung zum Gesamtkörper (Topographie) von Bedeutung. Darüber hinaus ist es für die alltägliche Praxis wichtig, sich bildlich vorzustellen, wie sich die Organe zur Körperoberfläche verhalten (Projektion auf die Körperoberfläche). Einführend wird daher in einer Serie von Abbildungen ein Überblick über die Topographie und die Projektion aller wichtigen Organe gegeben.

Die gebräuchlichen Begriffe zur Lagebeschreibung der einzelnen Organe sind aus Abb. 2-1 zu ersehen. Des Weiteren wird die Lage der inneren Organe von Brust- und Bauchraum in verschiedenen Ansichten des Rumpfes gezeigt (Abb. 2-2 bis 2-5). Einen Überblick über das motorische System mit Skelett und Muskelgruppen einschließlich der versorgenden Nerven und Gefäße geben die Abb. 2-6 und 2-7.

Inzwischen sind verschiedene bildgebende Verfahren entwickelt worden, die in der klinischen Diagnostik eingesetzt werden. Bei Anwendung dieser Verfahren wird die Anatomie des Körpers in Schnittbildern (Tomographie) gezeigt. Zur Einführung werden in Abb. 2-8 bis 2-19 einige typische Schnittbilder (Computertomogramme und Magnetresonanztomogramme) der radiologischen Diagnostik abgebildet und jeweils mithilfe einer Zeichnung erläutert.

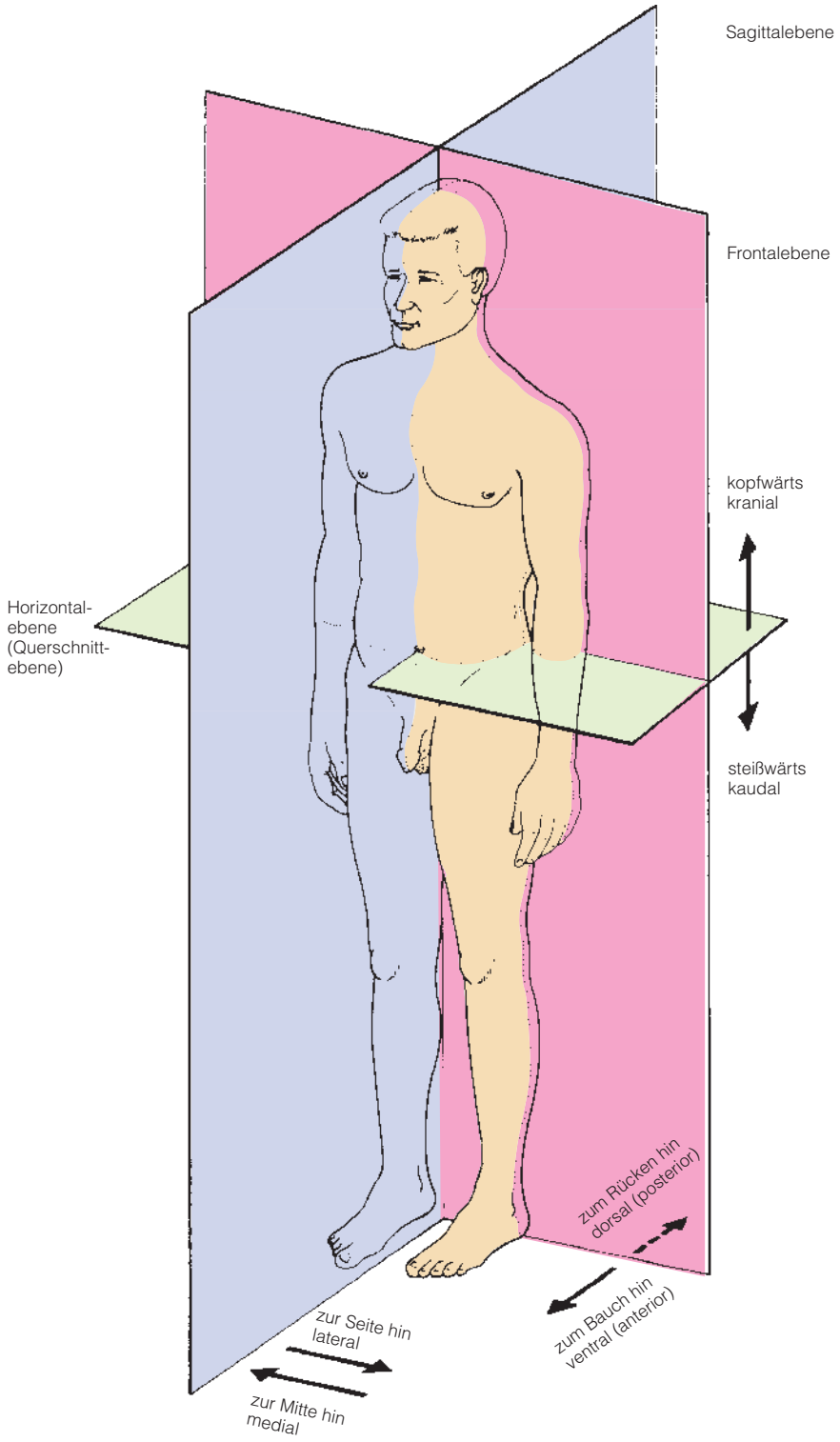


Abb. 2-1 Die wichtigsten Ebenen des menschlichen Körpers sowie Richtungsbezeichnungen zur Beschreibung der Lage der Körperteile. [L113/L106-R127]

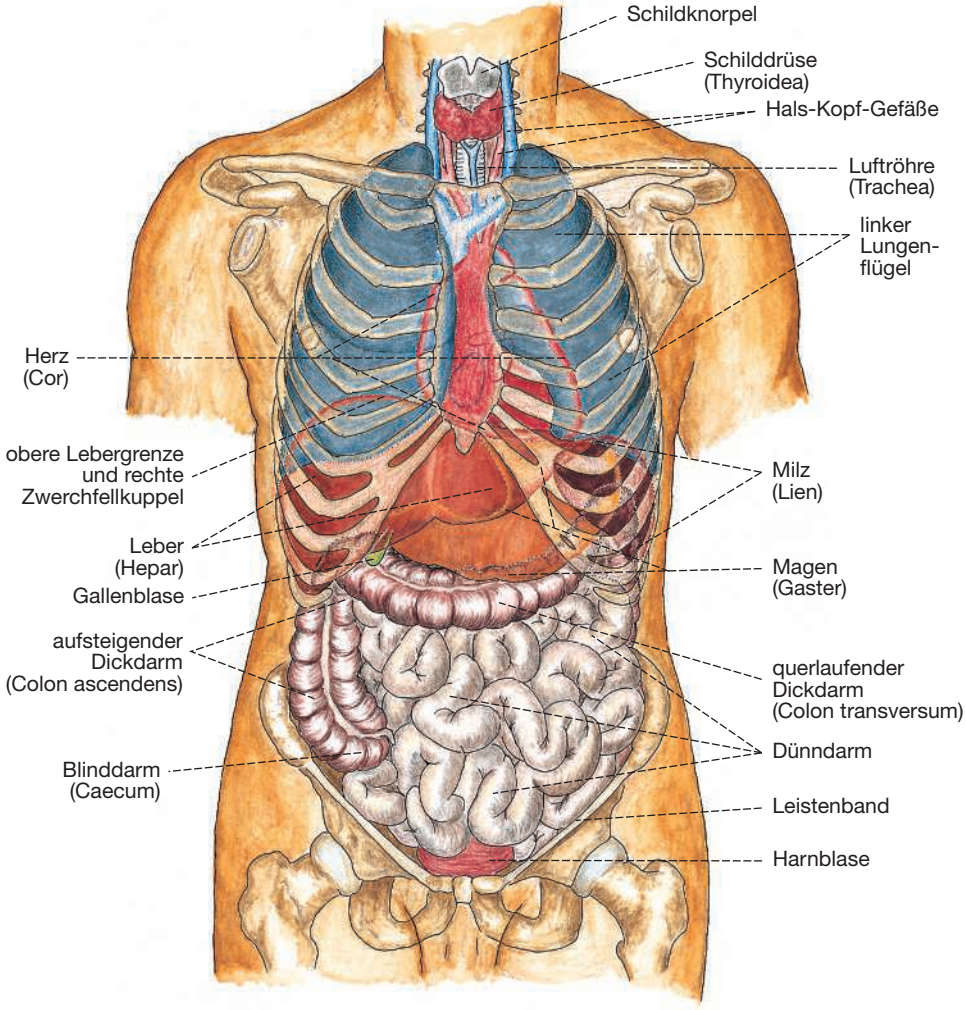


Abb. 2-2 Brust- und Bauchorgane in der Ansicht von vorne. Bezeichnungen mit deutschen Namen, weitere gebräuchliche medizinische Fachausdrücke in Klammern. [L128-R127]

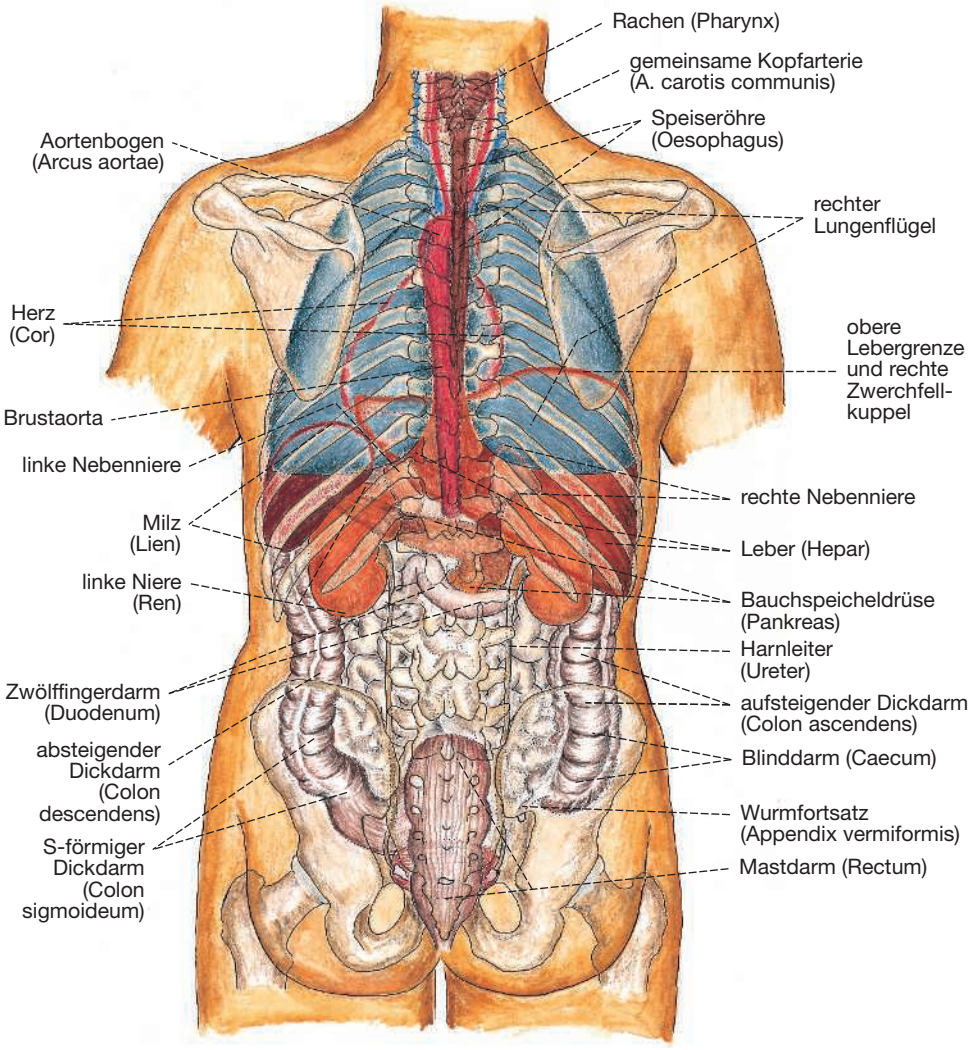


Abb. 2-3 Brust- und Bauchorgane in der Ansicht von hinten. Bezeichnungen mit deutschen Namen, weitere gebräuchliche medizinische Fachausdrücke in Klammern. [L128-R127]

10 Nierensystem und Wasserhaushalt

10.1 Harnbildende Organe 321
10.1.1 Die Nieren: Lage und Gliederung 321
10.1.2 Die Nieren: Feinbau 321

10.2 Harnableitende Organe 325
10.2.1 Nierenbecken 325
10.2.2 Harnleiter 325
10.2.3 Harnblase 326
10.2.4 Harnröhre 326

10.3 Wasseraustausch zwischen Blut und Gewebe 326

10.4 Funktion der Nierenkörperchen 329

10.5 Funktion der Nierentubuli 331
10.5.1 Transport von Elektrolyten 332
10.5.2 Transport von Glukose 332
10.5.3 Transport von Wasser 332

10.6 Aufgabe der Niere im Säure-Basen-Haushalt 334

10.7 Füllung und Entleerung der Harnblase 335

Die Nieren sind an der Kontrolle des Wasser-, Salz- und Säure-Basen-Haushaltes beteiligt. Auf diese Weise halten sie die ionale Zusammensetzung des extrazellulären Raumes konstant. Darüber hinaus scheiden sie stickstoffhaltige Endprodukte aus dem Eiweißstoffwechsel aus.

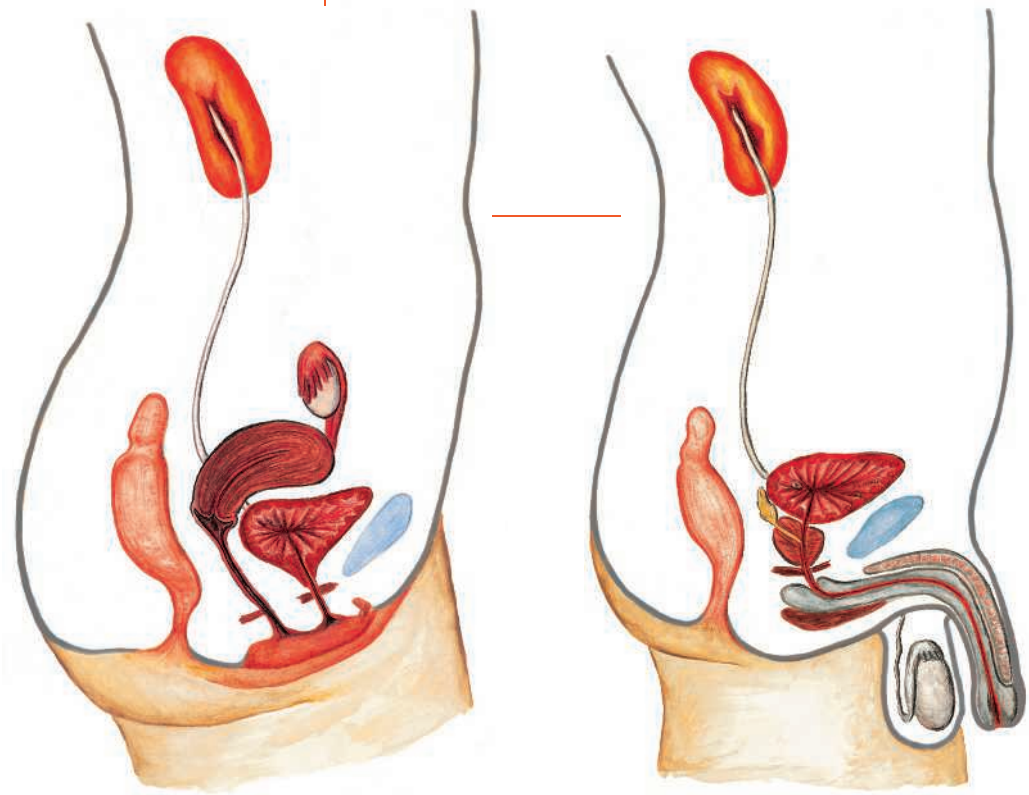


Abb. 10-0 Lage der Harnorgane der linken Körperhälfte bei der Frau und beim Mann. [L128-R127]

Fallbeispiel

Ein 48-jähriger Kaufmann, bei dem seit zwei Jahren ein Bluthochdruck (arterielle Hypertonie) bekannt ist, klagt bei seiner Hausärztin, dass er während der letzten drei Monate immer öfter unter Kopfschmerzen leide. Auch bleibe ihm bei körperlicher Belastung die Luft weg, und er fühle sich richtig schlapp. Selbst das Essen schmecke ihm nicht mehr.

Die Hausärztin stellt bei ihrer gründlichen Untersuchung trockene schuppende Haut und einen Blutdruck von 220/110 mmHg fest. Auf der Thoraxaufnahme sieht man ein links verbreitertes Herz und erweiterte Lungengefäße als Zeichen einer Stauung. Bei der Oberbauchsonographie zeigen sich geschrumpfte Nieren. Die Laborbefunde ergeben erhöhte Werte von Substanzen, die über die Niere ausgeschieden werden müssen mit einem Kreatininspiegel von 574,6 µmol/l (Normalbereich: 40–100 µmol/l) und einem Harnstoffspiegel von 29,2 mmol/l (Normalbereich: 2,8–7,6 mmol/l) im Blutserum. Die Hausärztin veranlasst eine stationäre Aufnahme.

10.1 Harnbildende Organe

Z Die Nieren sind paarig angelegt und befinden sich im hinteren oberen Bauchraum beiderseits der Wirbelsäule. Sie sind in Rinde und Mark gegliedert. Die Harnbildung erfolgt in Nephronen, die jeweils aus Nierenkörperchen und Nierentubuli bestehen.

10.1.1 Die Nieren: Lage und Gliederung

Der Mensch besitzt **zwei** Nieren (Ren; Abbildung 10-1). Sie liegen beiderseits der Wirbelsäule zwischen 12. Brustwirbel und 3. Lendenwirbel mit Kontakt zur hinteren Bauchwand. Mit ihrem oberen Pol berühren sie das Zwerchfell, dorsal liegen sie der 11. und 12. Rippe an. Ihr unterer Pol steht etwas oberhalb des Darmbeinkamms. Beim Einatmen sowie im Stehen senken sich die Nieren bis zu 3 cm. Wegen der Ausdehnung der Leber steht die rechte Niere etwas tiefer als die linke. Die Nieren sind nach lateral konvex, nach medial konkav gekrümmt (Abb. 10-1, 10-2). Die einzelne Niere ist 10 bis 12 cm lang, ihr Querdurchmesser beträgt 5 bis 6 cm. In der Konkavität befindet sich eine Höhlung **(Sinus renalis)** für Ein- und Austritt von Gefäßen und Nerven sowie für das Nierenbecken. Diese Region wird Nierenpforte (Hilus renalis) genannt. Dem oberen Nierenpol ist jeweils eine kleine endokrine Drüse, die **Nebenniere**, angelagert (Kap. 13 „Endokrines System"). Die Niere ist außen von einer derben, bindegewebigen Organkapsel und dann von einem Fettlager, der Nierenfettkapsel, überzogen. Abgegrenzt wird das Fettlager der Niere nach vorne, hinten sowie seitlich durch ein Bindegewebsblatt (Nierenfaszie).

Auf einem Längsschnitt durch die Niere ist mit bloßem Auge die Gliederung in eine äußere **Rindenschicht** und eine innere **Markschicht** zu erkennen (Abb. 10-4). Die Rinde ist fein gekörnt und reich an Blutgefäßen. Das Mark bildet hiluswärts kegelförmige Vorwölbungen, die sog. **Markpyramiden**, die eine feine Längsstreifung erkennen lassen. Die Spitze dieser Pyramiden nennt man **Nierenpapillen.** Auf ihnen befinden sich feinste Öffnungen, aus denen der Harn austritt. Jede Nierenpapille ragt in einen trichterförmig erweiterten Hohlraum, den **Nierenkelch.** Die Nierenkelche führen den Harn in das **Nierenbecken** (Abb. 10-3). Der Harnleiter (Ureter) transportiert den Harn dann weiter zur Harnblase.

10.1.2 Die Nieren: Feinbau

Der Feinbau der Niere lässt sich am besten verstehen, wenn man von ihrem Gefäßsystem ausgeht. Die eintretende Nierenarterie, ein großer Seitenast der Bauchaorta, verzweigt sich im Hilusgebiet baumartig (Abb. 10-2). Ihre Äste verlaufen speichenförmig bis zur Markrindengrenze (Abb. 10-4). Dort biegen sie um und bilden viele Zweige, die in Richtung Organkapsel führen. Davon gehen allseits kleine Zweige (Arteriola afferens) ab, die jeweils in ein arterielles Kapillarknäuel **(Glomerulus)** münden. In diesem entscheidenden Bestandteil der Niere wird aus

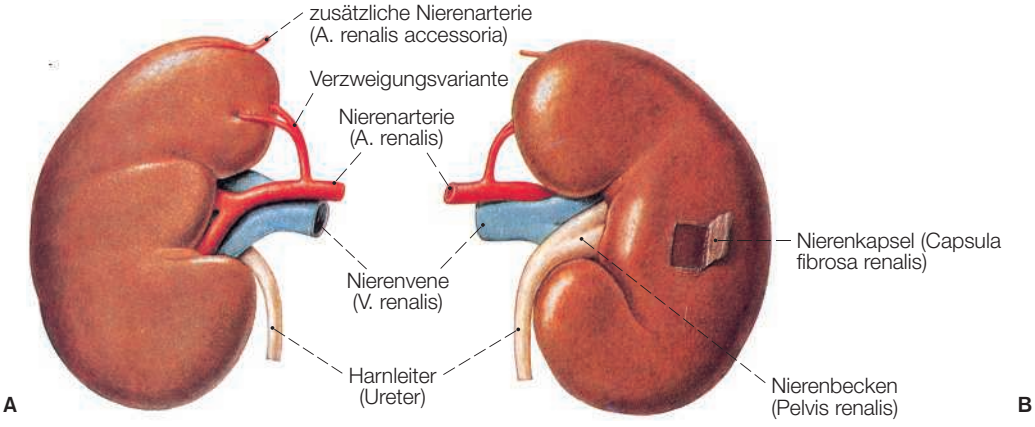


Abb. 10-1 Rechte Niere. [S007-2-16]
A: Ansicht von vorn.
B: Ansicht von hinten.

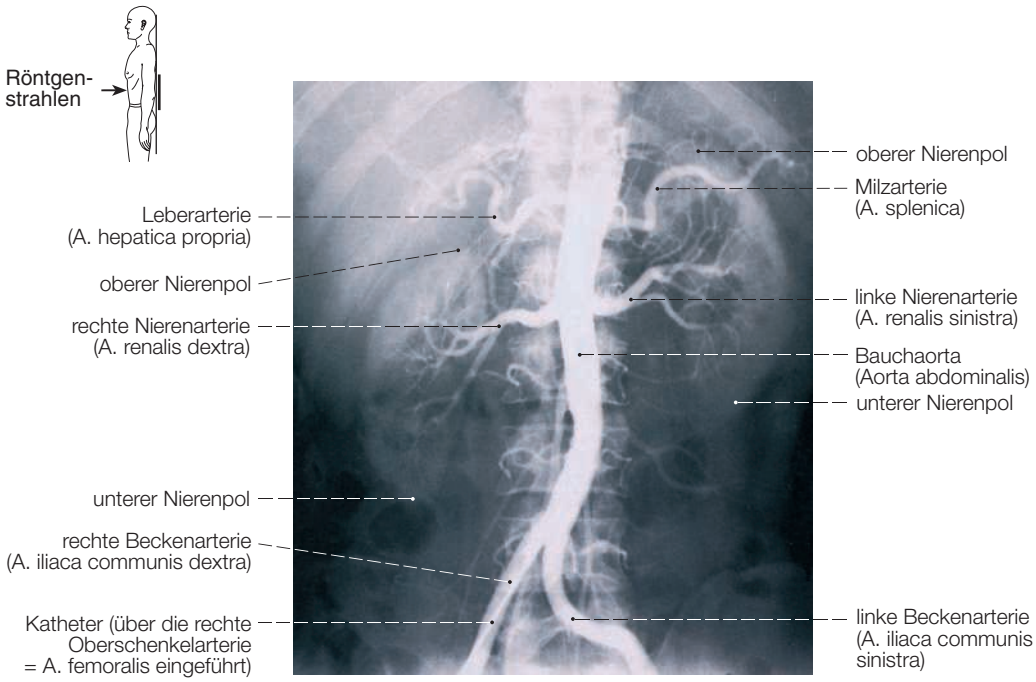


Abb. 10-2 Röntgenbild der mit Kontrastmittelinjektion dargestellten Bauchaorta und ihrer Hauptzweige (Arteriogramm). Oben links: Skizze des Strahlengangs, der dem Röntgenbild zugrunde liegt. [S007-2-19]

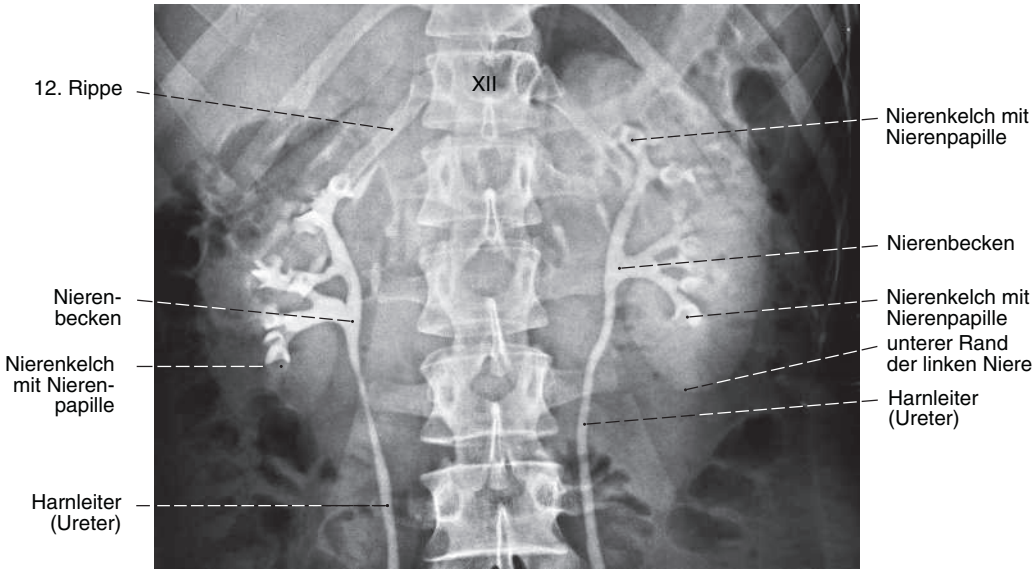


Abb. 10-3 Röntgenbild (mit anterior-posteriorem Strahlengang) von Nierenbecken und Harnleiter (beiderseits) nach Injektion eines Kontrastmittels über einen Blasenkatheter in beide Harnleiter. XII = 12. Brustwirbel. [S007-2-20]

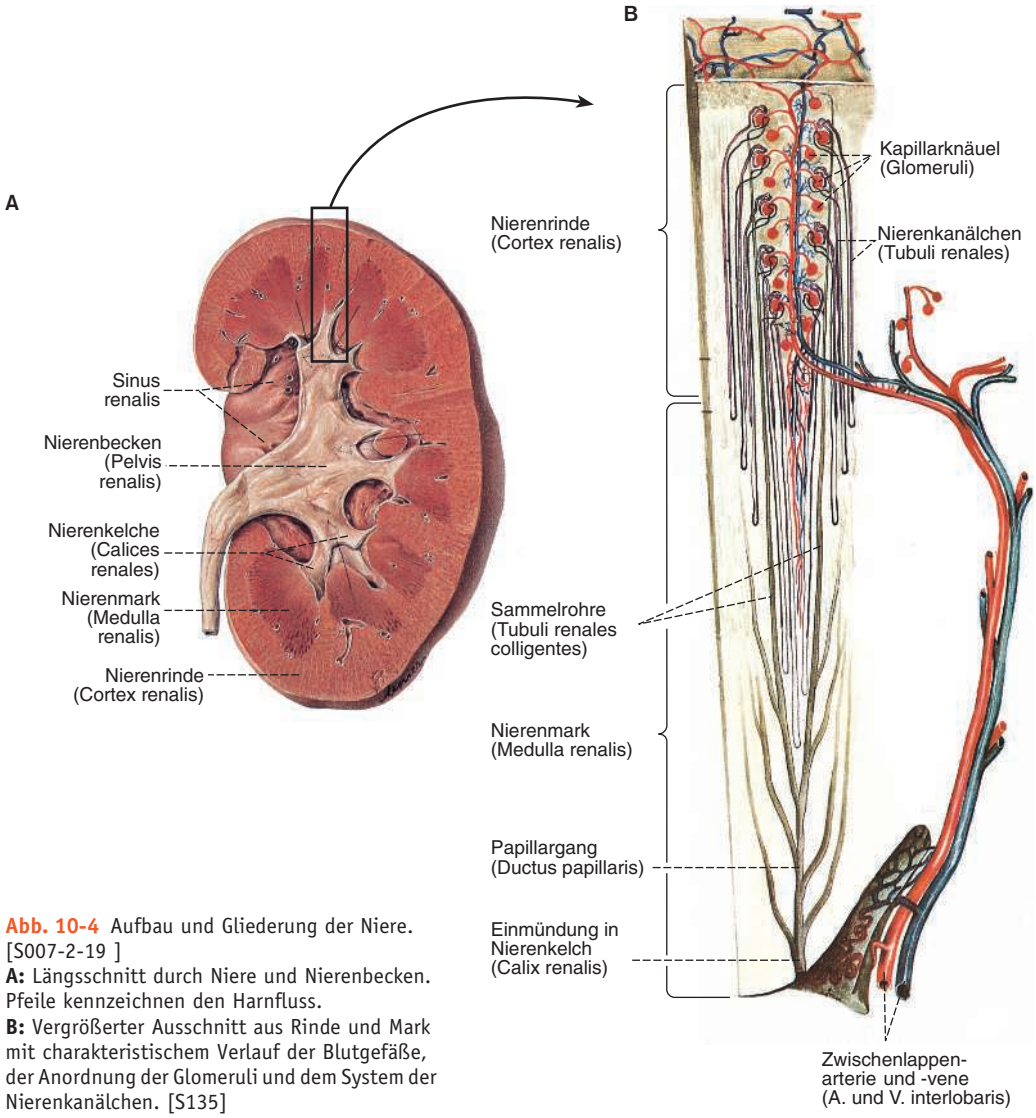


Abb. 10-4 Aufbau und Gliederung der Niere. [S007-2-19]
A: Längsschnitt durch Niere und Nierenbecken. Pfeile kennzeichnen den Harnfluss.
B: Vergrößerter Ausschnitt aus Rinde und Mark mit charakteristischem Verlauf der Blutgefäße, der Anordnung der Glomeruli und dem System der Nierenkanälchen. [S135]

dem arteriellen Blut der **Primärharn** abgepresst und von einem spaltförmigen Kapselraum aufgefangen (Abb. 10-5, 10-6), der durch ein einschichtiges Epithel (**Bowman-Kapsel**) begrenzt ist. Das Kapillarknäuel und die Bowman-Kapsel mit Kapselraum bilden die Nierenkörperchen.

Aus dem Kapselraum geht ein Nierenkanälchen (**Tubulus**) ab. Es bildet den Abflussweg für den Primärharn. Aus den Gefäßschlingen des Glomerulus kommt ein abführendes Blutgefäß (Arteriola efferens), das im Durchmesser etwas dünner ist als das zuführende. Diese blutableitenden Arteriolen bilden ein weiteres Kapillarnetz. Das aus der Bowman-Kapsel abgehende Nierenkanälchen ist zuerst stark gewunden (Tubulus contortus). Es folgt die sog. **Henle-Schleife**, die bis ins Nierenmark hineinreicht, und anschließend ein weiteres gewundenes Stück. Die einzelnen Abschnitte der Nierenkanälchen besitzen jeweils ein einschichtiges Epithel, das verschieden hoch und unterschiedlich mit Organellen ausgestattet ist (Abb. 10-5). Diese unterschiedliche Zelldifferenzierung ermöglicht einen Stoffaustausch zwischen Blutkapillaren und Nierenkanälchen. Schließlich geht das Nierenkanälchen in ein Sammelrohr von größerem Durchmesser über, das mit anderen Sammelrohren zu weiteren Gängen vereinigt auf der Spitze

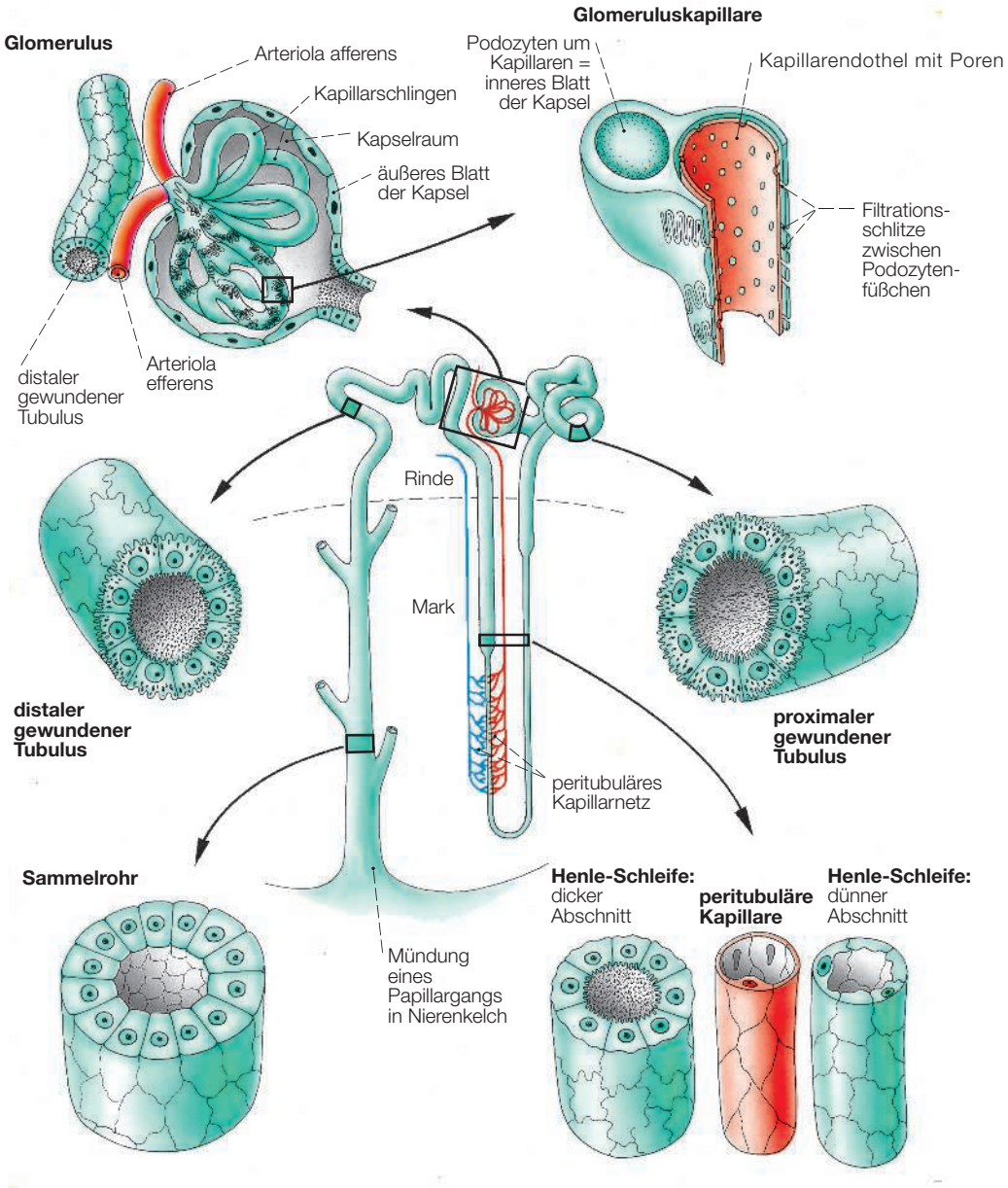


Abb. 10-5 Feinstruktur eines Nephrons mit Ausschnittvergrößerungen seiner verschiedenen Abschnitte. [L106-R127]

der Nierenpapillen mündet. Auf dem beschriebenen Weg wird aus dem Primärharn der sog. **Sekundärharn** oder **Endharn.** Einen Glomerulus mit seinen Nierenkanälchen (Tubulus) bezeichnet man bis zur Einmündung in das Sammelrohr als **Nephron.** In beiden Nieren gibt es etwa 2 bis 3 Millionen Nephrone, die damit die morphologischen und funktionellen Grundeinheiten der Niere darstellen.

An der Stelle, an der die Arteriola afferens in den Glomerulus einmündet und die Arteriola efferens abgeht (Gefäßpol des Glomerulus), ist jeweils das zugehörige Nierenkanälchen angelagert und bildet eine deutliche Verdickung seines Epithels, die Macula densa. Sie ist Teil des sog. juxtaglomerulären Apparats. Darunter versteht man spezialisierte Zellen am Gefäßpol des Glomerulus (Abb. 10-11).

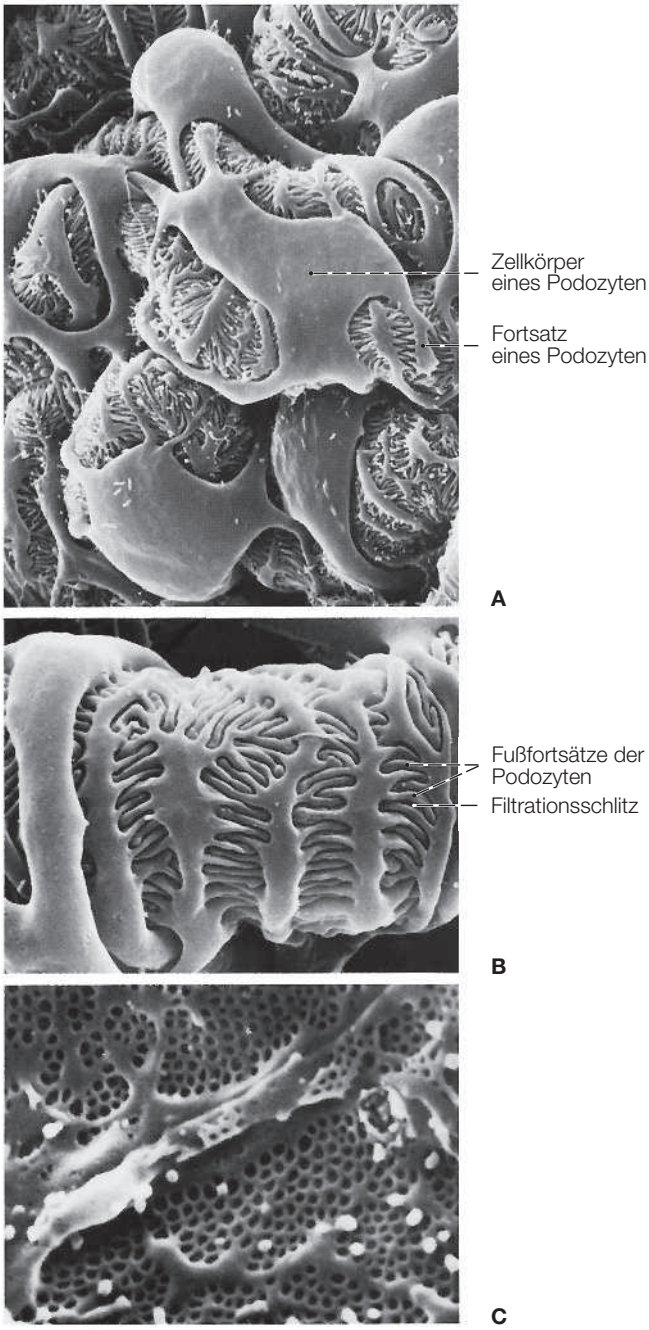


Abb. 10-6 Rasterelektronenmikroskopische Detailaufnahmen eines Glomerulus (vgl. auch Abb. 10-5). [S010-2-15]
A: Mehrere Kapillaren eines Glomerulus umfasst von Podozyten und ihren Fortsätzen in der Ansicht vom Kapselraum. Vergr. 2700fach.
B: Außenansicht einer Glomeruluskapillare, bedeckt von regelmäßig angeordneten Fußfortsätzen der Podozyten, zwischen denen sich die Filtrationsschlitze für das Abpressen des Primärharns befinden. Vergr. 7500fach.
C: Innenansicht einer Glomeruluskapillare. Das Endothel weist zahlreiche rundliche Poren für den Durchtritt von Blutplasma auf. Vergr. 16000fach.

10.2 Harnableitende Organe

Z Der Harn fließt über die Pyramiden des Nierenmarks in das Nierenbecken und weiter durch den Harnleiter in die Harnblase. Der in der Harnblase gesammelte Urin wird über die Harnröhre ausgeschieden.

10.2.1 Nierenbecken

Aus den Sammelrohren fließt der Harn über Papillargänge an den Spitzen der Markpyramiden (Papillen) in die Nierenkelche. Aus dem Zusammenfluss der Nierenkelche bildet sich das Nierenbecken (Abb. 10-3, 10-4).

10.2.2 Harnleiter

Da das Nierenbecken kein Speicherorgan ist, gelangt der Urin gleich in den Harnleiter (Ureter), einen schmalen Verbindungsschlauch zwischen Nierenbecken und Harnblase. Der Harnleiter ist mit Schleimhaut ausgekleidet und besitzt in verschiedenen Schichten angeordnete glatte Muskulatur. Er zieht hinter dem Bauchfell (retroperitoneal) abwärts zum kleinen Becken und gelangt von hinten zum Grund der Harnblase, in die er schlitzartig einmündet (Abb. 10-7, 10-9). Die Form dieser Einmündung verhindert, dass der Harn aus der Blase in den Harnleiter zurückfließen (Reflux) kann. Der Harn wird durch die peristaltischen Kontraktionswellen des Harnleiters vom Nierenbecken zur Blase transportiert. Die Flüssigkeit tritt dabei rhythmisch in die Blase aus. Physiologische **Engstellen des Harnleiters** befinden sich im Ab-

gangsbereich aus dem Nierenbecken, am Übergang in das kleine Becken und beim Durchtritt durch die Harnblasenwand.

K Vor diesen Engstellen können z. B. Harnsteine stecken bleiben und zu Harnstau führen. Dabei können starke, krampfartige Schmerzen auftreten.

10.2.3 Harnblase

Die Harnblase (**Vesica urinaria**) ist ein von Schleimhaut ausgekleideter muskulöser Sack aus netzartig angeordneter glatter Muskulatur (M. detrusor vesicae; Abb. 10-7). Nur der obere Teil ist von Bauchfell bedeckt. Die Harnblase liegt vorne im kleinen Becken unmittelbar hinter dem Schambein. Ihre Wand ist sehr dehnbar. Bei starker Füllung steigt sie mit ihrer oberen Kontur über das Schambein in Richtung Nabel auf. Sie ist dann durch die Bauchdecke zu tasten.

K Bei Harnverhalt kann die Harnblase durch die vordere Bauchwand hindurch punktiert werden (z. B. suprapubischer Blasenkatheter).

Ü Trinken Sie ungefähr einen Liter Flüssigkeit, und ertasten Sie durch die Bauchdecke, wie sich dabei Ihre Harnblase ausdehnt.

Zwischen den Mündungen der Harnleiter und dem Abgang der Harnröhre befindet sich ein dreieckiger Schleimhautbezirk (Trigonum vesicae; Abb. 10-7). Hier ist die Schleimhaut glatt und mit der Muskulatur unverschieblich verwachsen. Die besondere Beschaffenheit der Schleimhaut im Trigonum erleichtert bei der Endoskopie das Auffinden der Harnleitermündungen.

10.2.4 Harnröhre

Beim **Mann** tritt auf der Unterseite der Harnblase die Harnröhre (**Urethra**) aus. Diese durchsetzt zunächst die Vorsteherdrüse (Prostata), dann die quergestreifte Muskulatur des Beckenbodens, die eine querverlaufende Muskelplatte (Diaphragma urogenitale) zwischen den Schambeinästen bildet (Abb. 10-7). Hier umgibt der **ringförmige Schließmuskel** die Harnröhre (M. sphincter urethrae). Bogenförmig durchläuft die Harnröhre dann das männliche Glied, an dessen Spitze sie endet.

P Physiologische Engstellen befinden sich beim Durchtritt durch die Harnblasenwand und Beckenbodenmuskulatur sowie im Bereich der äußeren Mündung. Diese Engstellen sind besonders beim Katheterisieren zu berücksichtigen.

Bei der **Frau** liegt der Abgang der Harnröhre weiter vorne. Sie zieht hinter der Schambeinfuge nach unten und durchsetzt die Beckenbodenmuskulatur (Diaphragma urogenitale; s. Abb. 10-7). An dieser Stelle befindet sich der ringförmige Schließmuskel (M. sphincter urethrae). Als 3 bis 5 cm langer Gang liegt die Harnröhre in der Vorderwand der Scheide. Sie mündet in einem längsverlaufenden Schlitz im Vorhof der Scheide.

K Infektiöse Nierenbecken- und Harnblasenentzündungen (**Pyelitis** und **Zystitis**) gehören zu den häufigsten Erkrankungen des Harnapparates. Vielfach bilden sich dabei Nieren- und Blasensteine. Ein krampfartiges, sehr schmerzhaftes Zusammenziehen (Kontraktion) der glatten Muskulatur von Nierenbecken, Harnleiter oder Harnblase bezeichnet man als **Kolik.** Sie tritt vor allem bei Steinleiden häufig auf.

G Bakteriell bedingte Entzündungen des Nierenbeckens mit Beteiligung des Nierenparenchyms **(Pyelonephritis)** werden fast immer durch aufsteigende Infektionen verursacht, d. h., die Keime gelangen von der Harnblase über die Harnleiter zum Nierenbecken. Häufig spielen dabei Abflusshindernisse wie eine Prostataschwellung oder Harnwegssteine eine Rolle, wodurch sich ein Rückstau von Harn aus der Harnblase in den Harnleiter entwickeln kann. Daher ist es außerordentlich wichtig, Entzündungen der Harnblase bzw. Harnwege rechtzeitig und so wirksam zu behandeln, dass ein Übergreifen auf das Nierenbecken nicht zu befürchten ist.

10.3 Wasseraustausch zwischen Blut und Gewebe

Z Zwischen Blut und Gewebe wird laufend Wasser ausgetauscht. Der zuführende Kapillarschenkel gibt Wasser ab (Filtration) und der abführende nimmt Wasser auf (Resorption). Überschüssig filtriertes Wasser wird über Lymphgefäße abtransportiert.

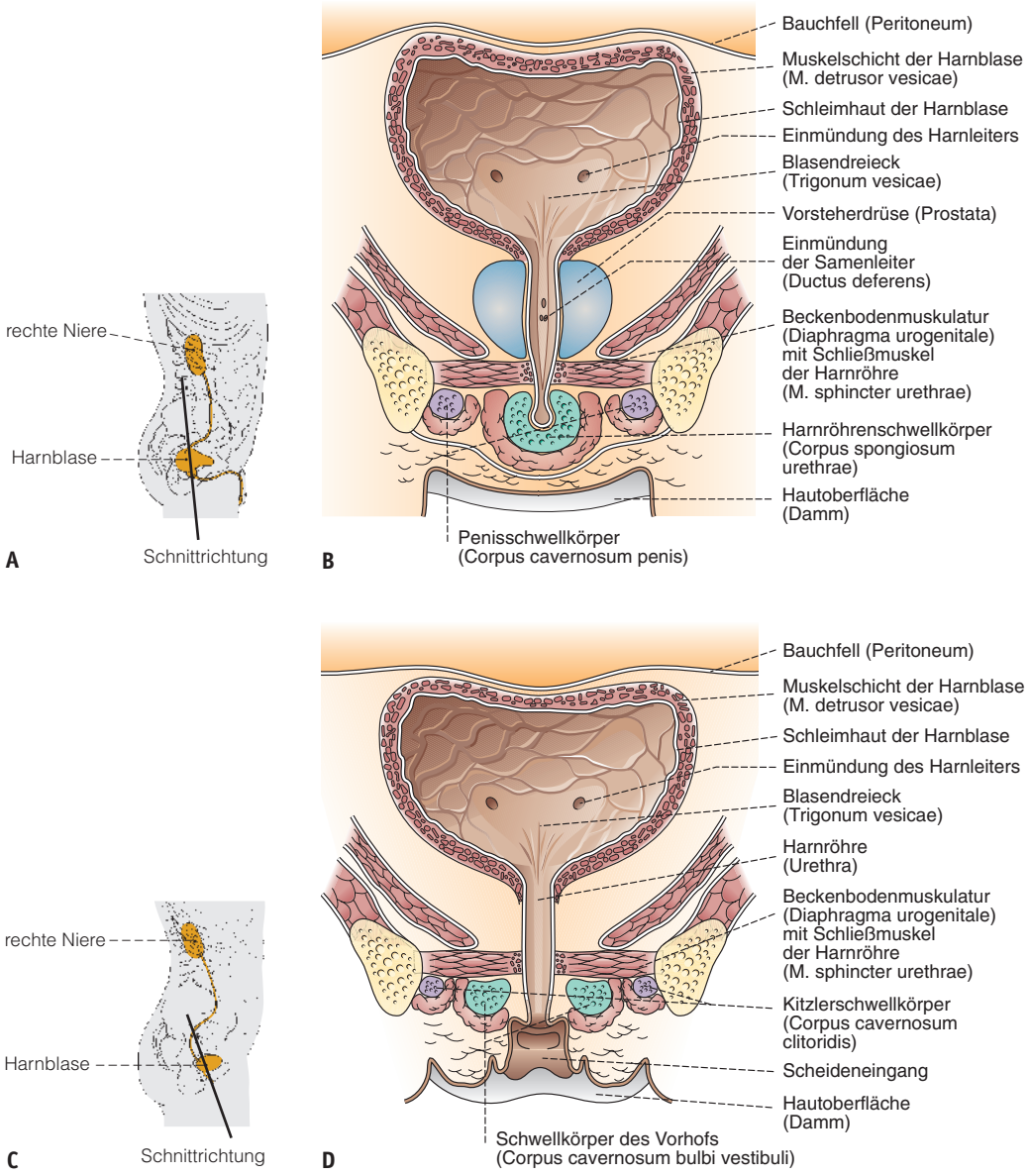


Abb. 10-7 Ableitende Harnwege bei Mann und Frau.
A: Seitenansicht von Niere und ableitenden Harnwegen in Projektion auf die Körperwand. [L128-R127]
B: Frontalschnitt (Schnittrichtung siehe A) durch Harnblase, Prostata und Beckenboden beim Mann. [L106-R127]
C: Seitenansicht von Niere und ableitenden Harnwegen in Projektion auf die Körperwand. [L128-R127]
D: Frontalschnitt (Schnittrichtung siehe C) durch Harnblase, Harnröhre und Beckenboden bei der Frau. [R106-R127]

Im Bereich der **Kapillaren** findet zwischen Blut und Gewebe laufend ein Wasseraustausch statt (Abb. 10-8). In dem Teil der Kapillaren, der aus den Arteriolen hervorgeht (**arterieller Schenkel** der Kapillaren), wird Wasser aus der Kapillare in das Gewebe abgegeben (**Filtration**). In dem Teil der Kapillaren, der in die Venolen einmündet (**venöser Schenkel** der Kapillaren), geht Wasser aus dem Gewebe in die Kapillaren über (**Resorption**).

- Im **arteriellen Kapillarschenkel** spielen für die Wasserbewegung aus der Kapillare zwei Druckkomponenten eine wesentliche Rolle (Abb. 10-8):

– **Hydrostatischer Druck:** Der Blutdruck wirkt als hydrostatischer Druck senkrecht auf die Kapillarwand (P_{stat}). Ihm steht der Flüssigkeitsdruck des Gewebes entgegen. Vonseiten des hydrostatischen Druckes ist dementsprechend der Unterschied (Delta = Δ) von hydrostatischem Druck im arteriellen Kapillarschenkel und von hydrostatischem Druck des Gewebes (ΔP_{stat}) für die Wasserbewegung maßgebend. Dabei zeigt sich, dass der Druck aus der Kapillare bei weitem überwiegt (Abb. 10-8).

– **Osmotischer Druck:** Beim osmotischen Druck (P_{osm}) handelt es sich um die wasseranziehende Kraft gelöster Teilchen (Eiweißkörper, Salze). Die Teilchen des Blutes ziehen das Wasser des Gewebes an und die Teilchen des Gewebes das Wasser des Blutes. Vonseiten des osmotischen Drucks ist dementsprechend der Unterschied (Delta = Δ) von osmotischem Druck im arteriellen Kapillarschenkel und von osmotischem Druck des Gewebes (ΔP_{osm}) für die Wasserbewegung maßgebend. Da die Konzen-

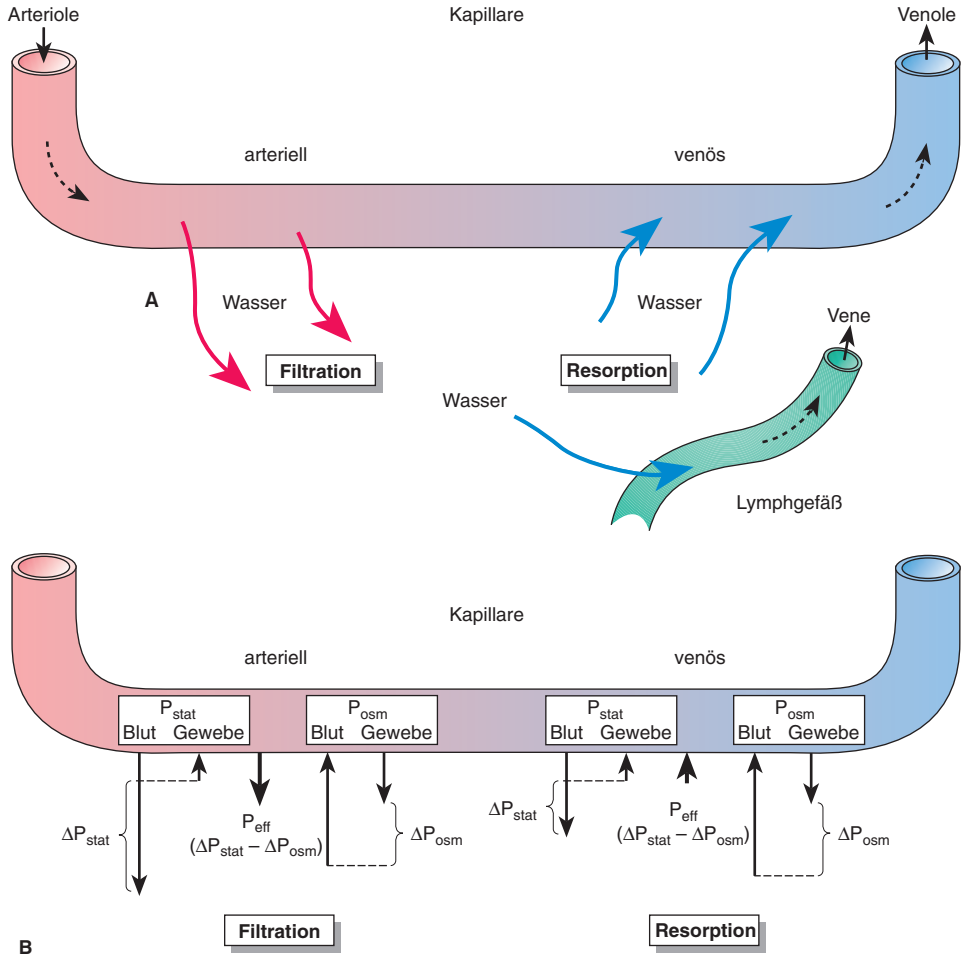


Abb. 10-8 Wasseraustausch zwischen Blut (Kapillare) und Gewebe. A: Flüssigkeitsstrom; B: treibende Kräfte (Drücke), die dem Flüssigkeitsstrom zugrunde liegen. Im arteriellen Schenkel der Kapillare wird Wasser aus der Kapillare in das Gewebe abgepresst (Filtration) und im venösen Schenkel der Kapillare Wasser aus dem Gewebe in das Blut aufgenommen (Resorption). P_{stat} = hydrostatischer Druck. P_{osm} = osmotischer Druck. ΔP_{stat} und ΔP_{osm} = Unterschiede im hydrostatischen und osmotischen Druck zwischen Blut und Gewebe. P_{eff} = effektiver Druck. [L106-R127]
Pfeile = Ausmaß und Richtung der Druckwirkung.

tration der wasseranziehenden Teilchen im Blut höher ist als im Gewebe, überwiegt der Druck in die Kapillaren bei weitem (Abb. 10-8). Verrechnet man die hydrostatischen Druckunterschiede, die das Wasser aus dem Blut heraustreiben, mit den osmotischen Druckunterschieden, die das Wasser in das Blut hineintreiben, so erhält man den tatsächlich wirksamen (effektiven) Druck (P_{eff}):

$$P_{eff} = \Delta P_{stat} - \Delta P_{osm}$$

Dabei überwiegt im arteriellen Schenkel der Kapillare die hydrostatische Druckkomponente, d. h., dass die für die Wasserbewegung tatsächlich wirksame Kraft aus der Kapillare in das Gewebe gerichtet ist, so dass eine Wasserfiltration aus der Kapillare in das Gewebe stattfindet (Abb. 10-8).

- Im **venösen Kapillarschenkel** spielen für die Wasserbewegung in die Kapillare ebenfalls der hydrostatische (P_{stat}) und der osmotische Druck (P_{osm}) eine wesentliche Rolle (Abb. 10-8). Auch hier ist der Unterschied zwischen diesen beiden Drücken im Blut und Gewebe (ΔP_{stat} und ΔP_{osm}) für die Wasserbewegung maßgebend. Im Gegensatz zum arteriellen Kapillarschenkel hat bei einer Verrechnung der Druckunterschiede im venösen Kapillarschenkel die osmotische Druckkomponente das Übergewicht. Das bedeutet, dass die für die Wasserbewegung tatsächlich wirksame Kraft (P_{eff}) aus dem Gewebe in die Kapillare hinein gerichtet ist (Abb. 10-8). Es findet also eine Wasserresorption aus dem Gewebe in die Kapillare statt.

Beim **Wasseraustausch** zwischen Blut und Gewebe ist die Filtration in der Regel größer als die Resorption. Das im Gewebe verbleibende Wasser wird zu einem gewissen Teil über Lymphgefäße in das venöse Blut zurücktransportiert.

K Alle Vorgänge, die die hydrostatischen und osmotischen Drücke im arteriellen und venösen Kapillarschenkel verändern, müssen zu Störungen des Wasseraustausches zwischen Blut und Gewebe führen. Ist das extrazelluläre Flüssigkeitsvolumen vermehrt, spricht man von einem Ödem. Es gibt vor allem drei Mechanismen, die zu einem **Ödem** führen können:

1. Der osmotische Druck des Blutes sinkt ab, beispielsweise bei einem stärkeren Eiweißverlust durch die Nieren (Ödem bei **Nierenkrankheiten**) oder bei einer ungenügenden Eiweißzufuhr **(Hungerödem).** Dadurch sinkt die wasseranziehende Kraft des Blutes. Die Filtration im arteriellen Schenkel der Kapillaren nimmt zu. Gleichzeitig ist die Resorption im venösen Schenkel eingeschränkt (Abb. 10-8).
2. Der hydrostatische Druck im venösen Schenkel der Kapillaren steigt, beispielsweise bei einer venösen Stauung infolge einer verminderten Leistung des rechten Herzens **(Stauungsödem).** Dabei kann der effektive Druck im venösen Schenkel der Kapillaren schließlich seine Richtung umkehren, so dass auch in diesem Kapillarbereich Wasser filtriert wird (Abb. 10-8).
3. Die Lymphwege sind verlegt und das filtrierte Wasser kann deshalb teilweise nicht abfließen (**Lymphödem;** Abb. 10-8).

10.4 Funktion der Nierenkörperchen

Z Im Nierenkörperchen werden Wasser und Stoffe (mit Ausnahme von Blutzellen und Eiweiß) aus dem Kapillarknäuel in den Kapselraum filtriert. Das Filtrat wird als Primärharn bezeichnet.

Verfolgt man den Aufbau der Niere im Verlauf des Blutstroms, so ist festzustellen, dass zwei Kapillargebiete hintereinander geschaltet sind. Mit diesen feinsten Blutröhren wird Kontakt mit dem harnleitenden Rohrsystem aufgenommen (Abb. 10-5, 10-9). Das erste Kapillarsystem ist der **Glomerulus.** Hier treffen die Kapillaren zum ersten Mal auf das harnleitende Rohrsystem. Dazu ist der Glomerulus von einer Kapsel (Bowman-Kapsel) umgeben. Sie bildet auf der den Kapillaren gegenüberliegenden Seite den Kapselraum, der in das Nierenkanälchen übergeht. Nachdem das Blut den Glomerulus durchflossen hat, wird es in einem weiterführenden Gefäß gesammelt und in ein zweites Kapillarnetz überführt. Hier erfolgt der zweite Kontakt mit dem harnleitenden Rohrsystem. An dieser Stelle besteht es aus feinen Nierenkanälchen (**Tubuli**). Sie stellen die unmittelbare Fortsetzung des Kapselraumes dar (Abb. 10-5, 10-9). Die Tubuli münden im weiteren Verlauf in Sammelrohre, die über das Nierenbecken und den Harnleiter mit der Harnblase in Verbindung stehen (Abb. 10-9).

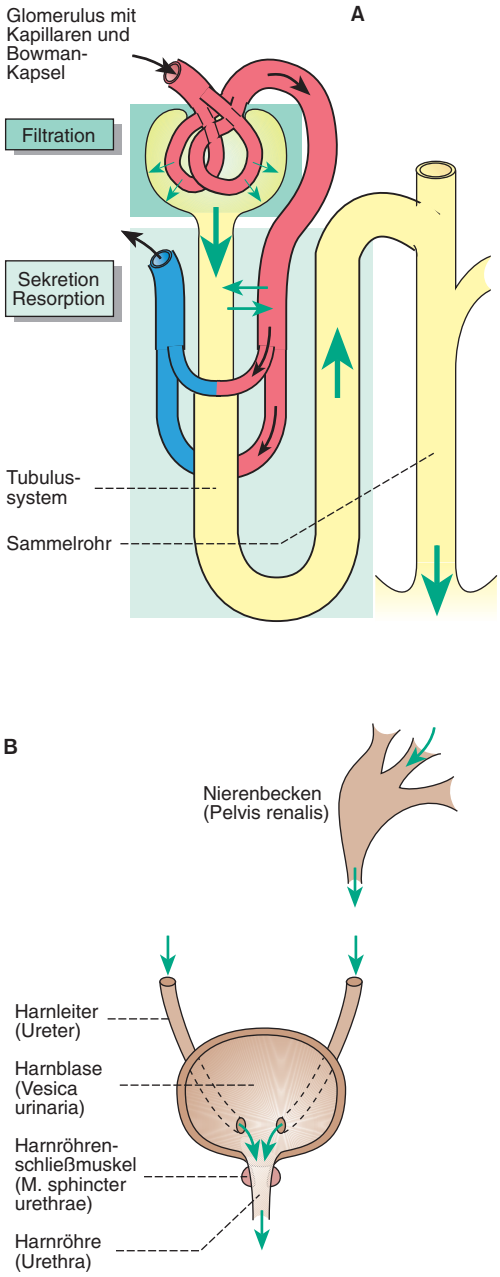


Abb. 10-9 Funktionseinheiten der Niere. [L106-R127]
A: Im Glomerulus findet eine Filtration in den Raum der Bowman-Kapsel statt. Im Bereich des Tubulussystems werden Stoffe und Wasser in das Nierenkanälchen sezerniert und in das Blut resorbiert.
B: Der Harn aus den Tubuli beider Nieren wird über die Harnleiter in die Harnblase abgeführt und unter Kontrolle des M. sphincter urethrae ausgeschieden. Funktionen von Nierenkörperchen und Nierentubulus siehe auch Abb. 10-10 und 10.11.

Der Blutfluss durch die Nieren beträgt 20 % des Herzminutenvolumens (Kap. 9 „Kreislauf"). Für beide Nieren macht das etwa 1,2 Liter pro Minute bzw. 1700 Liter pro Tag aus. Diese hohe Durchblutung der Nieren ist dem Umfang ihrer vielfältigen Aufgaben angepasst.

Die beschriebenen Kontaktstellen zwischen harnleitenden Kanälchen und den Blutkapillaren sind für die Nierenfunktion von herausragender Bedeutung. So laufen im Bereich des Glomerulus **Filtrationsvorgänge** und im Bereich des Tubulussystems **Resorptions-** und **Sekretionsvorgänge** ab (Abb. 10-9).

Im Nierenkörperchen werden Wasser und kleine Moleküle aus dem Kapillarknäuel in den Kapselraum filtriert. Das Filtrat, das als **Primärharn** bezeichnet wird, stellt ein sog. Ultrafiltrat dar. Im Gegensatz zum Blutplasma enthält es kein Eiweiß, hat ansonsten aber dieselbe Zusammensetzung. Für den Durchfluss der im Plasma gelösten Stoffe ist der Bau des glomerulären Filters mit seiner Porengröße entscheidend (Abb. 10-5, 10-6). Bei der Filtration wirken erneut die zwei Drücke, die bereits beim Wasseraustausch zwischen Blut und Gewebe (siehe oben) beschrieben wurden.

- Die erste Druckkomponente ist wiederum der hydrostatische Druck (P_{stat}; Abb. 10-10), der die Filtration im Blutgefäß fördert. Wieder ergibt sich der für die Wasserbewegung maßgebende hydrostatische Druck aus dem Unterschied (Delta = Δ) von statischem Blut- und Kapseldruck (ΔP_{stat}). Dabei überwiegt der Druck aus der Kapillare bei weitem (Abb. 10-10).
- Die zweite Druckkomponente ist auch hier der osmotische Druck (P_{osm}; Abb. 10-10). Da Primärharn und Plasma sich lediglich in ihrem Eiweißgehalt unterscheiden, ist der Unterschied (Delta = Δ) aus osmotischem Druck im Blut und Kapselraum (ΔP_{osm}) gleich der wasseranziehenden Kraft der Bluteiweißkörper (Abb. 10-10). Die hydrostatische Druckkomponente überwiegt im Glomerulus ebenso wie im arteriellen Teil der Kapillaren (Formel; Abb. 10-8).

Das Volumen an Primärharn, das von sämtlichen Glomeruli beider Nieren filtriert wird, beträgt 0,12 Liter pro Minute bzw. 170 Liter pro Tag. Diese sog. **glomeruläre Filtrationsrate** (GFR) hält sich weitgehend konstant, da der Blutdruck, als maßgebende Kraft bei der Filtration, nur geringe Schwankungen aufweist.

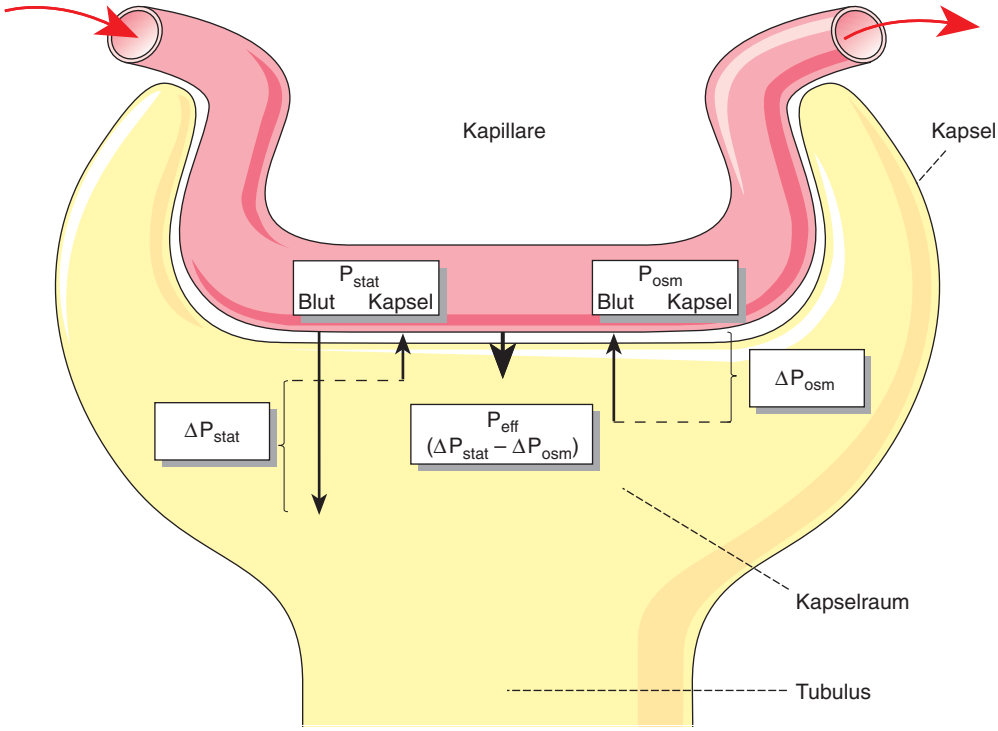


Abb. 10-10 Funktion des Nierenkörperchens. Aus dem Blut (Kapillare) werden Stoffe und Wasser in den Kapselraum filtriert (Ultrafiltrat). [L106-R127]
P_{stat} = hydrostatischer Druck.
P_{osm} = osmotischer Druck.
ΔP_{stat} und ΔP_{osm} = Unterschiede im hydrostatischen und osmotischen Druck von Blut und Kapselraum.
P_{eff} = effektiver Druck.
Pfeile = Ausmaß und Richtung der Druckwirkung.

K Die Funktion der Nierenkörperchen kann beispielsweise durch eine entzündliche Veränderung an den Glomeruli gestört sein **(Glomerulonephritis).** Unter einer Glomerulonephritis versteht man eine entzündliche Veränderung an den Glomeruli, die mit Blut- und Eiweißausscheidung in den Harn einhergeht. Durch Eiweißverlust und die gestörte Ausscheidung von Flüssigkeiten entstehen Ödeme. Bei dieser Erkrankung kann es ebenso wie bei chronisch hohem Blutdruck zu einer Zerstörung der Glomeruli und der Nierenkanälchen kommen.

G Die lang dauernde Einnahme bestimmter Schmerzmittel kann zu schweren entzündlichen und degenerativen Veränderungen des Nierengewebes führen (interstitielle Nephritis).

10.5 Funktion der Nierentubuli

Z In dem System kleiner Kanäle, das sich an das Nierenkörperchen anschließt, werden Stoffe und Wasser zwischen Blutkapillaren und Tubuli ausgetauscht.

Der Primärharn gelangt aus dem Kapselraum des Glomerulus in das Tubulussystem. Hier werden Stoffe aus den Tubuli in die Blutkapillaren aufgenommen (Resorption) und aus den Kapillaren in die Tubuli abgegeben (Sekretion; Abb. 10-9).

Im Glomerulus entsteht ein Filtrat des Blutes (Primärharn), das – abgesehen vom Eiweiß – dieselbe Zusammensetzung wie das Blutplasma hat. So gelangen viele Stoffe, die dem Organismus für seine Funktion unbedingt erhalten bleiben müssen, in das Tubulussystem. Deshalb werden sie beim Durchfluss des Primärharns durch

die Tubuli resorbiert und andere Stoffe zusätzlich sezerniert (abgesondert). Das Ergebnis dieser Vorgänge ist der sog. **Endharn,** der in die ableitenden Harnwege gelangt.

10.5.1 Transport von Elektrolyten

Kalium- und **Natrium**ionen sind beispielsweise für die Funktion von Nerven- und Muskelzellen besonders wichtig (Kap. 4 „Nervensystem – Allgemeine Grundlagen"). Daher werden diese Ionen unter Mitwirkung einer fein abgestimmten Regelung im Tubulussystem resorbiert und sezerniert. In diese Vorgänge ist das endokrine System als wesentlicher Bestandteil eingebunden. Das hierfür wichtige Hormon, das **Aldosteron** (Mineralocorticoid), wird in der Zona glomerulosa der **Nebennierenrinde** (Abb. 13-13) gebildet. Es gelangt über das Blut zur Niere (Abb. 10-11). Dort fördert es im Tubulus die Resorption von Natriumionen und die Sekretion von Kalium- und Wasserstoffionen. Mit der Natriumresorption gelangt Wasser („Lösungswasser für die Ionen") in das Blut zurück.

Die Aldosteronfreisetzung aus der Nebennierenrinde ist von der Natrium- und Kaliumkonzentration im Blut abhängig (Abb. 10-11). Nimmt der Natriumgehalt des Blutes ab, so wird aus Zellen, die sich in der Nähe der Nierenglomeruli befinden (juxtaglomerulärer Apparat), ein Molekül (**Renin**) freigesetzt. Das Renin wirkt durch Umwandlung von Bluteiweißkörpern (Angiotensin) anregend auf die Freisetzung von Aldosteron. Aldosteron gelangt zur Niere und fördert dort die Natriumresorption. Dadurch steigt die Natriumkonzentration im Blut wieder an. In weiterer Folge nimmt die Freisetzung von Renin und damit auch die von Aldosteron wieder ab. Neben dem beschriebenen Renin-Aldosteron-Mechanismus wirkt eine Zunahme der Kaliumionenkonzentration im Blut direkt auf die Zona glomerulosa der Nebennierenrinde und setzt dort Aldosteron frei. Insgesamt schließt sich durch die dargestellten Rückkopplungsvorgänge ein Regelkreis, in dem die Natrium- und Kaliumkonzentrationen im Blut eingestellt werden. Die **Calcium**ionen, die wie Natrium- und Kaliumionen für die Funktion der Nerven- und Muskelzellen von Bedeutung sind, werden ebenfalls unter Beteiligung der Niere und unter Kontrolle des hormonalen Systems in ihrer Konzentration im Blut eingestellt (Kap. 13 „Endokrines System").

K Die Ionenverschiebung zwischen Blutkapillaren und Tubuli ist durch Medikamente beeinflussbar. So lässt sich z. B. die Wirkung von **Aldosteron** medikamentös durch Spironolacton blockieren. Dies vermindert die Resorption von Natrium und seines „Lösungswassers", so dass der Wassergehalt des Körpers gesenkt und einer Ödembildung (z. B. bei Herzkrankheiten) entgegengewirkt wird.

10.5.2 Transport von Glukose

Glukose gehört zu den wesentlichen Energielieferanten im Stoffwechsel der Zellen. Sie wird im Glomerulus uneingeschränkt filtriert und liegt damit im Primärharn in der gleichen Konzentration wie im Blutplasma vor. Während sie durch das Tubulussystem fließt, tritt sie vollständig aus dem Primärharn in das Blut über. Diese Resorption beruht auf einer aktiven Leistung der Epithelzellen im proximalen Tubulus, die in ihrem Ausmaß begrenzt ist.

K Deshalb wird bei einer ausgeprägten Erhöhung der Glukosekonzentration im Blut und damit im Primärharn die mögliche Resorptionsrate überschritten. So kommt es zur Glukoseausscheidung im Harn (Glucosurie). Dies kann bei der Zuckerkrankheit **(Diabetes mellitus)** der Fall sein (Kap. 13 „Endokrines System").

Im Harn werden weitere Substanzen ausgeschieden, deren Bestimmung für die klinische Diagnostik von Bedeutung ist:

- **Kreatinin** (aus dem Muskelstoffwechsel): 1–2,5 g pro Tag
- **Harnstoff** (aus dem Eiweißstoffwechsel): 15–30 g pro Tag
- **Harnsäure** (aus dem Nucleinsäurestoffwechsel): 0,1–1 g pro Tag.

10.5.3 Transport von Wasser

Die Niere ist entscheidend an der Regelung des Wasserhaushalts im Organismus beteiligt. Ein beträchtlicher Teil des im Glomerulus filtrierten Wassers gelangt bei der Natriumresorption in das Blut zurück. Da es sich hierbei um eine zwangsläufige Mitnahme von Lösungswasser handelt, spricht man von einer „**obligaten**" **Wasserresorption.** Die übrigen Wasserverschiebungen zwischen Tubulus und Blutkapillaren stehen unter der Kontrolle eines endokrinen Systems

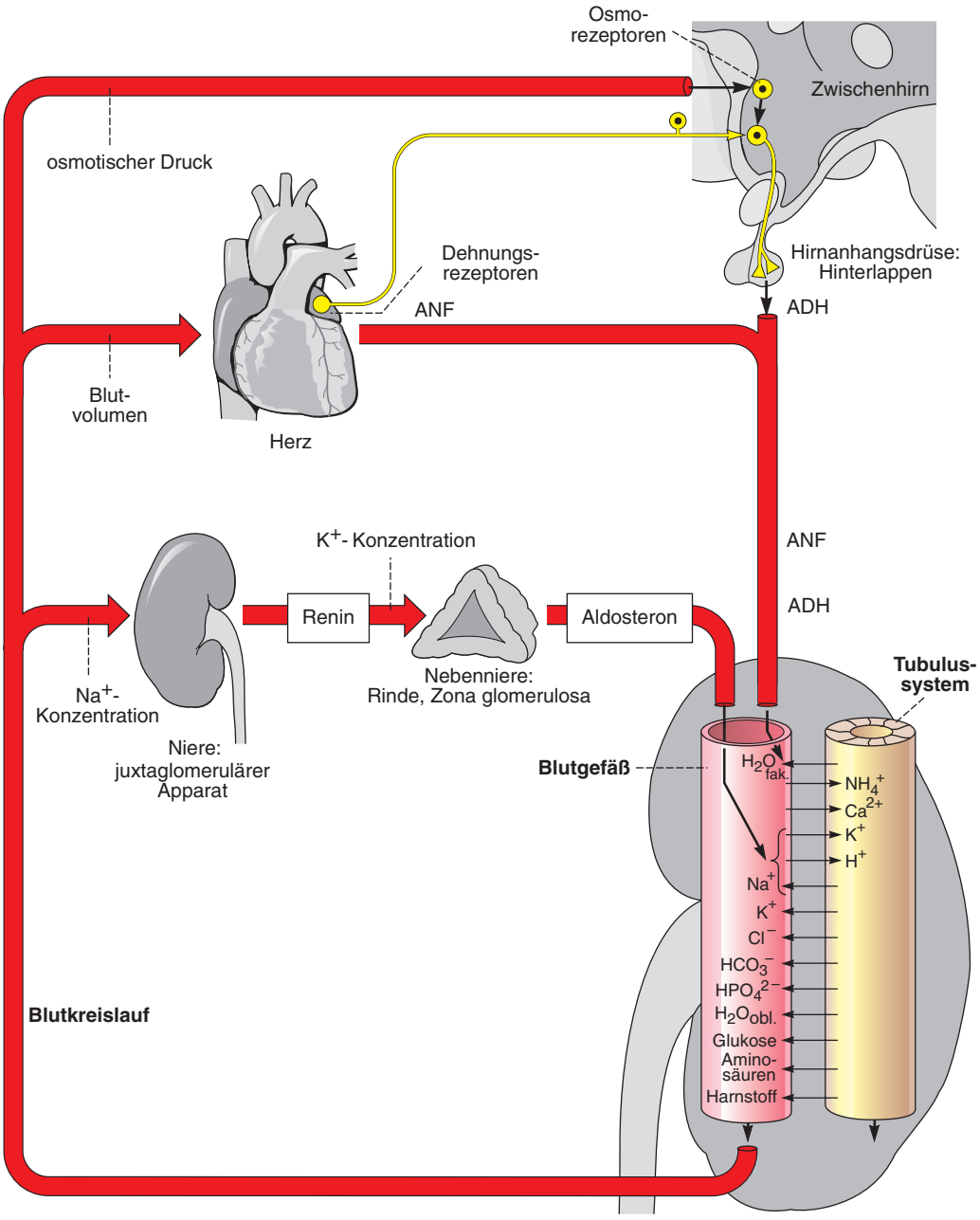


Abb. 10-11 Funktion des Tubulussystems. [L123-R127]
NH_4^+ = Ammoniumionen.
Ca^{2+} = Calciumionen.
K^+ = Kaliumionen.
H^+ = Wasserstoffionen.
Na^+ = Natriumionen.
Cl^- = Chloridionen.
HCO_3^- = Bicarbonationen.
HPO_4^{2-} = Monohydrogenphosphationen.
H_2O_{fak} = fakultative Wasserresorption.
H_2O_{obl} = obligate Wasserresorption.
ADH = antidiuretisches Hormon.
ANF = atrialer natriuretischer Faktor.

(Abb. 10-11). Dabei spielt das im Hypothalamus gebildete **antidiuretische Hormon** (ADH) eine große Rolle. Das ADH gelangt über Nervenfasern zum Hinterlappen der Hirnanhangsdrüse (Hypophyse; Abb. 13-5). Dort wird es durch ein Kapillarnetz in das Blut aufgenommen und zur Niere transportiert. Es fördert den Wassertransport durch das Epithel der Sammelrohre in die Blutkapillaren und wirkt damit einer Ausscheidung von Wasser (Diurese) entgegen.

Produktion und Ausschüttung von ADH stellen einen Regelkreis dar (Abb. 10-11). Regelgrößen sind die Höhe des osmotischen Drucks im Blut und das Blutvolumen. Der osmotische Druck wird durch spezielle Rezeptoren (**Osmorezeptoren**) **im Hypothalamus** gemessen und danach die ADH-Ausschüttung eingestellt. Eine Erhöhung des osmotischen Drucks führt zu einer Steigerung der ADH-Ausschüttung und damit zu einer vermehrten Resorption von Wasser. **Dehnungsrezeptoren,** die sich **im linken Vorhof** des Herzens befinden, registrieren die Volumenänderungen des Blutes. Nervenfasern leiten von diesen Rezeptoren die Informationen zum Hypothalamus. Nimmt die Vorhofdehnung zu, ist die ADH-Ausschüttung gehemmt. So kann eine Zunahme des Blutvolumens durch eine verminderte Resorption und damit durch eine vermehrte Harnausscheidung ausgeglichen werden. Die mithilfe des ADH-Systems kontrollierte Resorption des Wassers ergibt sich aus den aktuellen Gegebenheiten im Wasserhaushalt, dementsprechend als „**fakultative**“ **Wasserresorption** bezeichnet. An der Einstellung des Blutvolumens ist ein weiteres, im Vorhof des Herzens gebildetes Hormon beteiligt. Es bestimmt u. a. über die Natriumresorption in der Niere die Ausscheidung von Wasser (**atrialer natriuretischer Faktor,** ANF).

Die spezielle räumliche Anordnung der Tubuli mit den umgebenden Blutgefäßen und die speziellen funktionellen Eigenschaften der Epithelzellen im Bereich der Henle-Schleife (Abbildung 10-5) spielen bei der Konzentrierung des Harns eine wichtige Rolle. Die dabei wirksamen komplexen Mechanismen werden als **Gegenstromverfahren** („Haarnadelgegenstromprinzip“) zusammengefasst.

10.6 Aufgabe der Niere im Säure-Basen-Haushalt

Z Die Nieren sind an der Einstellung des pH-Wertes im Gewebe beteiligt. Wasserstoffionen können ausgeschieden und Puffersubstanzen wie Bicarbonat im Körper zurückgehalten werden.

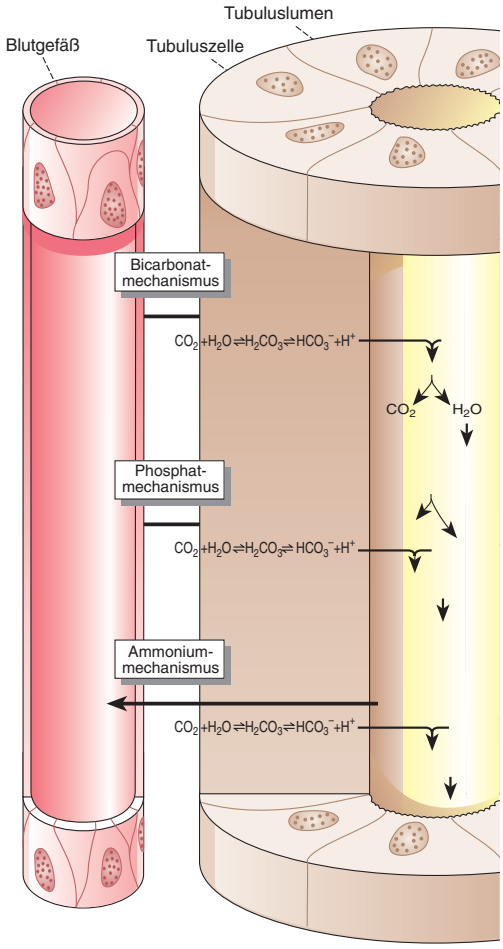


Abb. 10-12 Mechanismen zur Einstellung der Blutreaktion (pH-Wert) durch das Tubulussystem. [L106-R127]
H^+ = Wasserstoffionen.
Na^+ = Natriumionen.
HCO_3^- = Bicarbonationen.
CO_2 = Kohlendioxid.
H_2O = Wasser.
H_2CO_3 = Kohlensäure.
$NaHCO_3$ = Natriumbicarbonat.
$NaHPO_4^-$ = Natriummonohydrogenphosphat.
NaH_2PO_4 = Natriumdihydrogenphosphat.
NaCl = Natriumchlorid (Kochsalz).
NH_3 = Ammoniak.
NH_4Cl = Ammoniumchlorid.

Die Resorptions- und Sekretionsvorgänge im Tubulussystem sind an der Einstellung der Gewebsreaktion (pH-Wert) beteiligt und wirken damit einer **Azidose** bzw. **Alkalose** entgegen (Kap. 8 „Atmung“). Die Vorgänge sind in Abb. 10-12 zusammengestellt. In der Tubuluszelle verbindet sich Kohlendioxid (CO_2) mit Wasser (H_2O) zu Kohlensäure (H_2CO_3), die ihrerseits in Bicarbonat (HCO_3^-) und Wasserstoffionen (H^+) zerfällt.

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3 \rightleftarrows HCO_3^- + H^+$$

H-Ionen aus der Tubuluszelle werden gegen Natriumionen (Na^+) aus dem Tubuluslumen ausgetauscht und damit ausgeschieden. Natrium und Bicarbonat verbinden sich in der Tubuluszelle zu Natriumbicarbonat ($NaHCO_3$), das in das Blut übergeht. Beide Vorgänge verhindern eine Übersäuerung des Organismus (Abbildung 10-12, 10-13). Eine Alkalose wird aufgefangen, indem die beschriebenen Austauschvorgänge vermindert werden.

Der Resorption von Bicarbonat (Basensparmechanismus) und der Ausscheidung von Wasserstoffionen liegen drei Prozesse zugrunde (Abb. 10-12). Sie gehen von drei verschiedenen im Tubuluslumen vorhandenen Natriumsalzen aus:

- Beim ersten Prozess (**Bicarbonatmechanismus**) verbindet sich das sezernierte H-Ion mit dem Bicarbonat im Tubuluslumen zu Kohlensäure, die in Kohlendioxid und Wasser zerfällt. Das Wasser wird ausgeschieden, das Kohlendioxid diffundiert in die Tubuluszelle und steht dort wieder erneut für die Bildung von Bicarbonat zur Verfügung.
- Beim zweiten Prozess (**Phosphatmechanismus**) verbindet sich im Tubuluslumen das sezernierte H-Ion mit Natriummonohydrogenphosphat ($NaHPO_4^-$) zu Natriumdihydrogenphosphat (NaH_2PO_4), das ausgeschieden wird.
- Beim dritten Prozess (**Ammoniummechanismus**) bindet sich das sezernierte H-Ion im Tubuluslumen mit Chlorid an Ammoniak (NH_3). Dadurch entsteht Ammoniumchlorid (NH_4Cl), das gleichfalls ausgeschieden wird. Das Ammoniak entsteht in der Tubuluszelle aus Glutamin.

Die beschriebenen Mechanismen tragen zur Einstellung der Gewebereaktion (**pH-Wert**) durch folgende Vorgänge bei (Abb. 10-13):

- Ausscheidung von Kohlendioxid (CO_2) über die Lunge

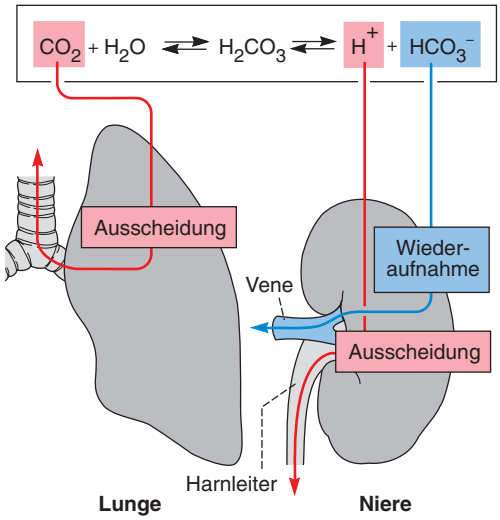


Abb. 10-13 Aufgaben der Niere und Lunge im Säure-Basen-Haushalt. [L123-R127]

- Ausscheidung von H-Ionen (H^+) über die Niere
- Wiederaufnahme von Bicarbonat (HCO_3^-) in der Niere.

Bei der Ansäuerung (Zunahme der H-Ionenkonzentration) des Gewebes verbinden sich H^+ und HCO_3^- zu H_2CO_3, das in CO_2 und H_2O zerfällt (Abb. 10-13). CO_2 wird über die Lunge ausgeschieden. Diese „Entsäuerungsreaktion“ wird dadurch verstärkt, dass in der Niere vermehrt HCO_3^- in das Blut aufgenommen wird, das sich wiederum mit H^+ zu H_2CO_3 verbindet (siehe oben), und dass ebenfalls in der Niere direkt H-Ionen über den Urin ausgeschieden werden. Niere und Lunge arbeiten damit im Säure-Basen-Haushalt eng zusammen.

Ü Nehmen Sie eine Urinprobe, und testen Sie mit einem Indikatorpapierstreifen den Urin-pH.

10.7 Füllung und Entleerung der Harnblase

Z Die Harnblase hat Speicher- und Entleerungsfunktionen. Beide werden durch das Nervensystem kontrolliert.

In der Harnblase wird der Harn aus beiden Nieren gesammelt (Abb. 10-9). Die Harnblase hat eine lang dauernde Speicherfunktion (Konti-

nenz) und kurze Perioden der Entleerung (Miktion). Ihr normales Fassungsvermögen beträgt etwa 0,5 Liter.

In der **Kontinenzphase** nimmt die Harnblase den von den Nieren laufend produzierten Harn auf. Dank der glatten Muskulatur der Blasenwand kommt es trotz eines ständig zunehmenden Blasenvolumens nur zu einem geringen Anstieg des Blaseninnendrucks. Die Kontraktion des quergestreiften Schließmuskels der Harnröhre (M. sphincter urethrae) unterstützt die Kontinenz. Dehnungsrezeptoren registrieren die zunehmende Wandspannung der Harnblase. Nervenfasern leiten das Messergebnis zum Rückenmark. Von dort steigen die Informationen zum Gehirn auf und vermitteln das Gefühl von **Harndrang.** Sie gelangen aber auch zu vegetativen (parasympathischen) Nervenzellen in den Sakralsegmenten des Rückenmarks, die die glatte Muskulatur der Blasenwand (M. detrusor vesicae) kontrollieren, und zu Neuronen des somatischen Nervensystems, die die Kontraktion des M. sphincter urethrae steuern. So wird bei gefüllter Blase die Entleerung ausgelöst (**Miktionsreflex**).

Beim Neugeborenen und bei Kleinkindern bis zu drei Jahren löst nur das Rückenmark den Miktionsreflex aus. Beim Erwachsenen unterliegen die somatischen und vegetativen (parasympathischen) Nervenzellen des Rückenmarks vielfältigen absteigenden Einflüssen aus dem Gehirn, die eine willkürliche Kontrolle ermöglichen. Diese Kontrolle durch das Gehirn entwickelt sich in den ersten Lebensjahren.

Beim Erwachsenen laufen bei der Miktion folgende Vorgänge ab: Die Miktion wird durch eine vom Gehirn ausgehende Hemmung der Nervenzellen eingeleitet, die die Kontraktion des M. sphincter urethrae bestimmen. Dadurch öffnet sich der Schließmuskel. Gleichzeitig werden die parasympathischen Nervenzellen erregt und so eine Kontraktion der glatten Muskulatur der Blasenwand (Detrusormuskel) ausgelöst. Damit erhöht sich der Blaseninnendruck, und die Harnblase entleert sich bei geöffnetem Schließmuskel. Die Miktion endet durch eine Kontraktion des M. sphincter urethrae und eine Erschlaffung des Detrusormuskels.

K Bei einer Schädigung des Rückenmarks oberhalb der Sakralsegmente (Querschnittslähmung) fehlt die Kontrolle des Gehirns über Blasenfüllung und Blasenentleerung. Damit erfolgt wie beim Säugling die Entleerung reflektorisch. Eine Einflussnahme auf diesen Miktionsreflex ist jedoch durch Beklopfen der Bauchdecken möglich. Eine Verletzung der Sakralsegmente selbst löscht auch den Miktionsreflex aus. Größere Mengen von Harn können nicht mehr in der Blase gesammelt werden, da der Schließmuskel gelähmt ist **(Inkontinenz).** Auch eine Schwächung und Senkung der Beckenbodenmuskulatur kann insbesondere bei der älteren Frau zu einer Inkontinenz führen.

Das Volumen des täglich ausgeschiedenen Harns schwankt erheblich. Es ist u. a. abhängig von der Flüssigkeitsaufnahme, dem Wassergehalt der Nahrung, der Wasserausscheidung zur Temperaturregelung (Kap. 14) und der Aktivität des endokrinen Systems. Als Richtgröße beim Erwachsenen gilt ein Harnvolumen von 1 bis 1,5 Liter pro Tag. Eine übermäßige Harnausscheidung wird **Polyurie,** eine verminderte (weniger als 0,5 Liter pro Tag) **Oligurie** und eine fehlende Harnausscheidung **Anurie** genannt.

G Bei einer Schwangerschaft werden die Haltebänder der Gebärmutter gedehnt. Nachfolgend kann es zu einer Senkung der Gebärmutter und mit ihr der Blase kommen, insbesondere dann, wenn die Beckenbodenmuskulatur geschwächt ist. Eine solche Senkung der Beckenorgane beeinträchtigt unter anderem den Verschlussmechanismus der Harnblase mit der Folge einer Harninkontinenz. Präventiv und therapeutisch wird eine gezielte **Beckenbodengymnastik** empfohlen.

K **Nierenkrankheiten** und **Bluthochdruck** (Hypertonie) stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander: Einerseits sind Nierenfunktionsstörungen für die Entstehung einer Hypertonie verantwortlich, andererseits kann eine Hypertonie eine Nierenschädigung verursachen. Nierenfunktionsstörungen, die zu einer Hypertonie führen, können in einer Einschränkung der Nierendurchblutung (z. B. Einengung der Nierenarterien; renovaskuläre Hypertonie) oder in einer Erkrankung des Organgewebes (z. B. Glomerulonephritis; renoparenchymale Hypertonie) bestehen.

Wiederholungsfragen

1. Beschreiben Sie den Verlauf der männlichen und weiblichen Urethra.
2. Erläutern Sie das Zustandekommen der Flüssigkeitsbewegung im Gewebe.
3. Erklären Sie den Begriff „Primärharn“.
4. Was versteht man unter einem „Nephron“?
5. In welcher Weise beeinflussen die Nieren den pH-Wert des Blutes?
6. Welche Stoffe dürfen sich normalerweise nicht im Urin befinden?
7. Was versteht man unter einer Anurie?

Auflösung des Fallbeispiels

Verdachtsdiagnose: Chronische Niereninsuffizienz

Krankheitsbild: Eine chronische Niereninsuffizienz tritt bei allen Krankheiten auf, die nach und nach die Nieren zerstören. Im Anfangsstadium zeigen sich keine oder nur geringe Symptome. Je länger und je mehr harnpflichtige Substanzen zurückgehalten werden, desto deutlicher treten die Symptome einer Harnvergiftung (Urämie) hervor. Im Vordergrund stehen Störungen vonseiten des Herzens und der Blutgefäße, bedingt durch den hohen Blutdruck. In der Regel geht die chronische Niereninsuffizienz auch mit einer Blutarmut (Anämie) einher.

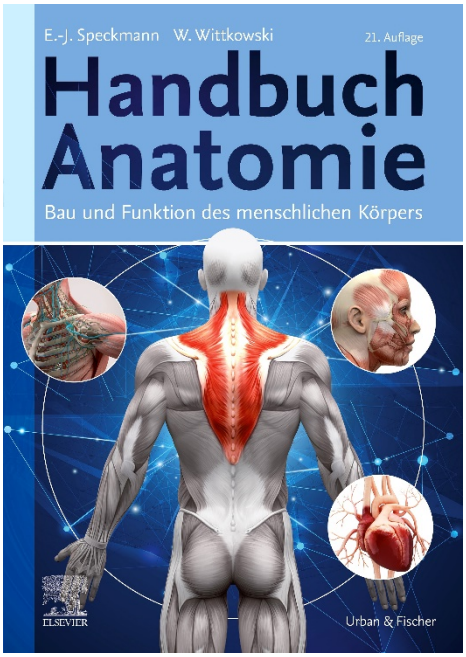
Ursachen: Als wichtigste Ursachen gelten chronische Nierenentzündungen in Form der Glomerulonephritis oder Pyelonephritis und Nierenbeteiligung im Rahmen einer Zuckerkrankheit (Diabetes mellitus).

Vorkommen und Häufigkeit: Epidemiologische Daten einer chronischen Niereninsuffizienz sind insgesamt unsicher. Das ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Anfangsstadien diagnostisch kaum erfasst werden können, zum anderen darauf, dass zahlreiche Grundkrankheiten der Niere in eine chronische Niereninsuffizienz mit erst dann statistisch erfassbarem Bild einmünden. Nach Angaben der Europäischen Dialyse- und Transplantationsgesellschaft rechnet man pro Jahr mit sechs bis sieben Patienten pro 100 000 Einwohner, bei denen das Endstadium einer chronischen Niereninsuffizienz eintritt.

Diagnostik: Bei der körperlichen Untersuchung fällt die trockene, schmutzig-gelb getönte Haut auf. Typisch ist ein Bluthochdruck (arterielle Hypertonie). Frühstadien entziehen sich der routinemäßigen Labordiagnostik. In späteren Stadien genügen in der klinischen Praxis die Bestimmungen von Kreatinin und Harnstoff, um die Nierenfunktion abschätzen zu können. Als bildgebendes Verfahren ist die Sonographie der Niere von Bedeutung.

Therapie: Sie verfolgt drei Ziele: Therapie des Grundleidens, Hemmung des Fortschreitens der Insuffizienz und Behandlung von Symptomen und eventuellen Komplikationen.

Günstige Sonderausgabe!



Dieses bewährte Standardwerk erklärt Ihnen Bau und Funktion des menschlichen Körpers. Übersichtlich, verständlich und kompakt sind alle wichtigen Inhalte der menschlichen Anatomie und Physiologie dargestellt:

- Übersichtsbild, Fallbeispiel und Zusammenfassung leiten in alle Themen ein.
- Wiederholungsfragen testen Ihr Wissen zu allen Themen.
- Alle Strukturen sind jeweils lateinisch und deutsch benannt.
- Ein Glossar erläutert alle wichtigen Fachbegriffe.
- Inhalte zur Krankheitslehre, Prophylaxe und zur praxisorientierten Pflege vertiefen das Verständnis.
- Zahlreiche Abbildungen und Fotos verdeutlichen komplexe Inhalte.

Hervorragend geeignet für alle, die im Gesundheits- und Pflegebereich tätig oder in Studium oder Ausbildung sind, und für alle, die wissen wollen, wie der menschliche Körper funktioniert.

Handbuch Anatomie
Bau und Funktion des menschlichen Körpers

Speckmann, E.-J.; Wittkowski, W.
2020. 520 S., kt.
ISBN: 978-3-437-26193-0

ELSEVIER elsevier.de

Empowering Knowledge