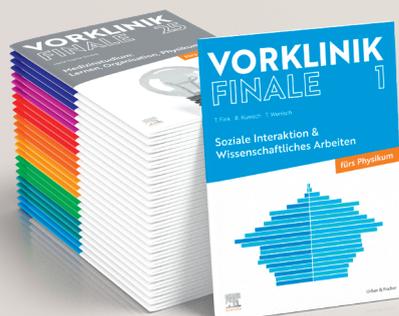
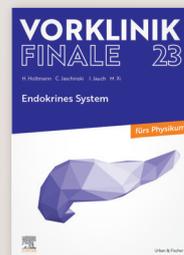
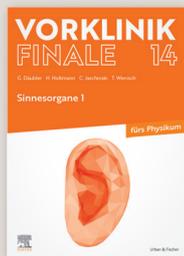


VORKLINIK FINALE

LESEPROBE

Alle Organe – alle Fächer – alles drin!



ELSEVIER

www.elsevier.de

VORKLINIK FINALE

Alle Organe – alle Fächer – alles drin!

Vorklinik Finale sind Prüfungsskripten für das Physikum, die nach Organsystemen gegliedert sind. Bereits in der Vorklinik können sie dir helfen, dich in den vielen neuen Inhalten zu orientieren und Themen im Gesamtüberblick einzuordnen.

Das ist drin:

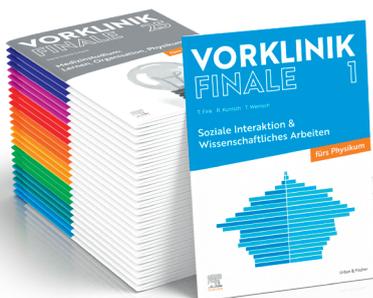
- Zur Vorbereitung auf das Physikum findest du in Heft 1–24 alle relevanten Inhalte inkl. Lernhilfen.
- Kleine Lerneinheiten in Heften, die du rasch abhaken kannst. Das hält die Motivation oben!
- Heft 25 gibt dir Tipps für den Start ins Medizinstudium und fürs Lernen, und enthält Lern- und Kreuzpläne fürs Physikum.

Zusammenhänge verstehen – organbasiert geht's besser!

- Du wiederholst die Inhalte organbasiert in einem sinnvollen Zusammenhang.
- Relevante klinische Inhalte sind immer direkt integriert.
- Du bist gut vorbereitet auf den klinischen Abschnitt, denn da geht es organbasiert weiter.
- Doppelte Inhalte, die bei fächerbasierter Darstellung häufig auftreten, sind hier bereits zusammengefasst.

Aktiv lernen bringt dich weiter!

- Besonders prüfungsrelevante Inhalte sind farbig hinterlegt.
- Fragen zum Selbsttest und/oder zur Vorbereitung auf mündliche Prüfungen.
- An jedem Kapitelende gibt es eine Seite mit Vorschlägen, wie du Inhalte durch Zeichnen wiederholen kannst.



ELSEVIER

www.elsevier.de

Übersicht aller Hefte

- 1 Soziale Interaktion & Wissenschaftliches Arbeiten
- 2 Atome und Naturgesetze
- 3 Moleküle und Stoffumwandlungen
- 4 Biomoleküle
- 5 Zellbiologie, Allgemeine Histologie & Mikrobiologie
- 6 Molekularbiologie, Meiose & Embryologie
- 7 Bewegungsapparat 1
- 8 Bewegungsapparat 2
- 9 Motorik und Bewegungsabläufe
- 10 Kopf und Hals
- 11 Nervensystem
- 12 Zentralnervensystem
- 13 Bewusstsein, Corticale Interaktion & Therapiemethoden
- 14 Sinnesorgane 1
- 15 Sinnesorgane 2
- 16 Lunge und Atmung
- 17 Herz-Kreislauf-System
- 18 Blut und Immunsystem
- 19 Gastrointestinaltrakt
- 20 Verdauung & Abbau von Nährstoffen
- 21 Energiestoffwechsel & Anabole Stoffwechselwege
- 22 Harnorgane und Elektrolythaushalt
- 23 Endokrines System
- 24 Geschlechtsorgane und Reproduktion
- 25 Medizinstudium: Lernen, Organisation, Physikum

Übersicht nach Heften/Organen

Diese Übersicht zeigt dir alle Hefte und Kapitel der Vorklinik-Finale-Reihe. Daneben sind jeweils die zugehörigen Fächer vermerkt.
Tipp: Eine Übersicht nach Fächern findest du am Ende dieses Heftes.

Heft 1 Soziale Interaktion & Wissenschaftliches Arbeiten

1	Individuum, Gesellschaft, Normen	Psych-Soz
2	Arzt und Patient	Psych-Soz
3	Gesundheitssystem	Psych-Soz
4	Messen und Rechnen	Physik
5	Methodische Grundlagen	Psych-Soz

Heft 2 Atome und Naturgesetze

1	Struktur der Materie	Biochemie, Chemie, Physik
2	Mineralstoffe und Spurenelemente	Biochemie, Chemie
3	Wärmelehre	Physik
4	Elektrizität und Magnetismus	Physik, Physiologie
5	Ionisierende Strahlung	Physik

Heft 3 Moleküle und Stoffumwandlungen

1	Chemische Bindung	Chemie
2	Stereochemie	Chemie
3	Funktionelle Gruppen und Stoffklassen	Chemie
4	Stoffumwandlungen/chemische Reaktionen	Chemie

Heft 4 Biomoleküle

1	Kohlenhydrate	Biochemie, Chemie
2	Aminosäuren, Peptide, Proteine	Biochemie, Chemie
3	Fettsäuren, Lipide	Biochemie, Chemie
4	Nukleinsäuren, Nukleotide, Chromatin	Biochemie, Chemie
5	Vitamine und Co-Enzyme	Biochemie, Chemie
6	Thermodynamik und Kinetik	Biochemie, Chemie

Heft 5 Zellbiologie, Allgemeine Histologie & Mikrobiologie

1	Zellen, Organellen	Biologie, Biochemie, Histologie, Physiologie
2	Transportprozesse	Biologie, Biochemie, Physiologie
3	Signaltransduktion	Biologie, Biochemie, Physiologie
4	Zellzyklus, Zellteilung, Zelltod	Biologie, Biochemie, Physiologie
5	Histologische Methoden und allgemeine Gewebelehre	Histologie
6	Gewebe	Histologie
7	Mikrobiologie	Biologie

Heft 6 Molekularbiologie, Meiose & Embryologie

1	Enzyme	Biochemie
2	DNA-Replikation und -Transkription	Biochemie
3	Translation und Proteinprozessierung	Biochemie
4	Biochemische Verfahren	Biochemie
5	Vererbungslehre	Biologie

6	Meiose und Entwicklung der Gameten	Biologie, Biochemie, Anatomie
7	Embryologie	Anatomie

Heft 7 Bewegungsapparat 1

1	Allgemeine Anatomie	Anatomie
2	Binde- und Stützgewebe	Biochemie, Histologie
3	Obere Extremität	Anatomie

Heft 8 Bewegungsapparat 2

1	Untere Extremität	Anatomie
2	Leibeswand	Anatomie

Heft 9 Motorik und Bewegungsabläufe

1	Bewegungslehre	Physik
2	Muskeltypen	Biochemie, Histologie, Physiologie
3	Motorik	Physiologie
4	Rückenmark und Reflexe	Physiologie
5	Bewegungsabläufe im ZNS	Physiologie
6	Arbeits- und Leistungsphysiologie	Physiologie

Heft 10 Kopf und Hals

1	Entwicklung von Kopf und Hals	Anatomie
2	Schädel, Muskulatur, Kopf- und Halseingeweide	Anatomie
3	Hirn- und Halsnerven, vegetative Innervation	Anatomie
4	Arterien, Venen, Lymphsystem	Anatomie
5	Angewandte und topografische Anatomie	Anatomie

Heft 11 Nervensystem

1	Nervengewebe	Histologie
2	Gliederung des Nervensystems	Anatomie, Histologie
3	Funktionsprinzipien des Nervensystems	Physiologie
4	Neurotransmitter und Rezeptoren	Biochemie, Physiologie
5	Vegetatives Nervensystem	Physiologie

Heft 12 Zentralnervensystem

1	Entwicklung des Zentralnervensystems	Anatomie
2	Encephalon	Anatomie
3	Stammhirn	Anatomie
4	Rückenmark, Systeme und Bahnen	Anatomie
5	Liquorräume und Meningen	Anatomie
6	Gefäßversorgung und Topografie des ZNS	Anatomie

Heft 13 Bewusstsein, Corticale Interaktion & Therapiemethoden

1	Bewusstsein und corticale Interaktion	Physiologie, Psych-Soz
2	Therapiemethoden und ihre Grundlagen	Psych-Soz

Heft 14 Sinnesorgane 1

1	Schwingung, Wellen, Akustik	Physik, Physiologie
2	Hör- und Gleichgewichtsorgan	Anatomie, Histologie
3	Hörvorgang und Gleichgewichtssinn	Physiologie
4	Haut und Hautanhangsgebilde	Histologie
5	Somato-viszerale Sensorik	Physiologie

Heft 15 Sinnesorgane 2

1	Optik	Physik
2	Sehorgan	Anatomie, Histologie
3	Sehen	Physiologie
4	Chemische Sinne	Anatomie, Histologie, Physiologie

Heft 16 Lunge und Atmung

1	Entwicklung von Pleuraperikardhöhle, Herz und Schlundbogenarterien	Anatomie, Histologie
2	Anatomie der Atmungsorgane	Anatomie, Histologie
3	Mechanik des Kreislaufsystems	Physik
4	Atemung	Physiologie
5	Gasaustausch	Physiologie

Heft 17 Herz-Kreislauf-System

1	Aufbau des Herzens	Anatomie, Histologie
2	Nerven und Gefäße der Brusteingeweide	Anatomie
3	Physiologie des Herzens	Physiologie
4	Anatomie und Physiologie des Kreislaufsystems	Anatomie, Histologie, Physiologie

Heft 18 Blut und Immunsystem

1	Blut und Blutplasma	Histologie, Physiologie
2	Erythrozyten, Hämoglobin & Sauerstofftransport	Biochemie, Physiologie
3	Thrombozyten, Hämostase und Fibrinolyse	Histologie, Physiologie
4	Leukozyten und Immunsystem	Anatomie, Biochemie, Histologie, Physiologie

Heft 19 Gastrointestinaltrakt

1	Mundhöhle, Rachen, Speiseröhre	Anatomie, Histologie, Physiologie
2	Magen-Darm-Trakt	Anatomie, Physiologie
3	Organe des Magen-Darm-Kanals	Anatomie, Histologie, Physiologie
4	Leber, Gallenblase und Pankreas	Anatomie, Histologie, Physiologie
5	Blutgefäße, Lymphgefäße, vegetative Innervation	Anatomie

Heft 20 Verdauung & Abbau von Nährstoffen

1	Ökologie, Energie- und Wärmehaushalt	Biochemie, Biologie, Physiologie
2	Nahrungsaufnahme	Biochemie, Physiologie
3	Abbau der Kohlenhydrate	Biochemie
4	Fettsäureabbau und Ketonkörperstoffwechsel	Biochemie
5	Aminosäurestoffwechsel und Harnstoffzyklus	Biochemie

Heft 21 Energiestoffwechsel & Anabole Stoffwechselwege

1	Citratzyklus und Atmungskette	Biochemie
2	Gluconeogenese und Glykogenstoffwechsel	Biochemie
3	Lipidsynthese	Biochemie
4	Nukleotidstoffwechsel	Biochemie
5	Stoffwechsel der Leber	Biochemie
6	Fettgewebe	Biochemie

Heft 22 Harnorgane und Elektrolythaushalt

1	Harnorgane	Anatomie, Histologie
2	Nierenfunktion	Physiologie, Biochemie
3	Säure-Basen-Reaktionen	Chemie
4	Säure-Basen-Haushalt	Physiologie, Biochemie
5	Wasser- und Elektrolythaushalt	Physiologie, Biochemie

Heft 23 Endokrines System

1	Endokrines System	Biochemie, Histologie, Physiologie
2	Epiphyse	Histologie
3	Hypothalamus-Hypophysen-System	Biochemie, Histologie, Physiologie
4	Endokrines Pankreas	Biochemie, Histologie
5	Schilddrüse	Anatomie, Biochemie, Histologie, Physiologie
6	Nebenschilddrüsen	Anatomie, Biochemie, Histologie, Physiologie
7	Endokrine Funktionen der Niere	Physiologie, Biochemie
8	Nebenniere	Anatomie, Biochemie, Histologie, Physiologie
9	Diffuses neuroendokrines System (DNES)	Anatomie, Histologie
10	Gewebshormone	Biochemie, Physiologie

Heft 24 Geschlechtsorgane und Reproduktion

1	Entwicklung der Geschlechtsorgane	Anatomie
2	Weibliche Geschlechtsorgane	Anatomie, Histologie, Physiologie
3	Männliche Geschlechtsorgane	Anatomie, Histologie, Physiologie
4	Angewandte und topografische Anatomie	Anatomie
5	Blutgefäße, Lymphgefäße, vegetative Innervation	Anatomie
6	Sexualhormone	Biochemie, Physiologie
7	Sexualität und Reproduktion	Physiologie, Psych-Soz
8	Schwangerschaft und Geburt	Anatomie, Histologie, Physiologie

Heft 25 Medizinstudium: Lernen, Organisation, Physikum

1	How To ... Vorklinik
2	How To ... Physikum
3	Lernpläne
4	Kreuzen

Übersicht nach Fächern

Du vermisst die Fächer? Bitte sehr, hier siehst du die Kapitel der Vorklinik-Finale-Reihe nach Fächern sortiert!
Viele Kapitel kombinieren Inhalte mehrerer Fächer und werden deshalb mehrfach genannt.
Die Übersicht nach Heften/Organen findest du am Anfang dieses Heftes.

Anatomie

Allgemeine Embryologie

Heft 06 | 6 Meiose und Entwicklung der Gameten

Heft 06 | 7 Embryologie

Bewegungsapparat

Heft 07 | 1 Allgemeine Anatomie

Heft 07 | 3 Obere Extremität

Heft 08 | 1 Untere Extremität

Heft 08 | 2 Leibeswand

Kopf, Hals, Nervensystem

Heft 10 | 1 Entwicklung von Kopf und Hals

Heft 10 | 2 Schädel, Muskulatur, Kopf- und Halseingeweide

Heft 10 | 3 Hirn- und Halsnerven, vegetative Innervation

Heft 10 | 4 Arterien, Venen, Lymphsystem

Heft 10 | 5 Angewandte und topografische Anatomie

Heft 11 | 2 Gliederung des Nervensystems

Heft 12 | 1 Entwicklung des Zentralnervensystems

Heft 12 | 2 Encephalon

Heft 12 | 3 Stammhirn

Heft 12 | 4 Rückenmark, Systeme und Bahnen

Heft 12 | 5 Liquorräume und Meningen

Heft 12 | 6 Gefäßversorgung und Topografie des ZNS

Sinnesorgane

Heft 14 | 2 Hör- und Gleichgewichtsorgan

Heft 15 | 2 Sehorgan

Heft 15 | 4 Chemische Sinne

Lunge, Herz, Kreislauf, Immunsystem

Heft 16 | 1 Entwicklung von Pleuraperikardhöhle, Herz und Schlundbogenarterien

Heft 16 | 2 Anatomie der Atmungsorgane

Heft 17 | 1 Aufbau des Herzens

Heft 17 | 2 Nerven und Gefäße der Brusteingeweide

Heft 17 | 4 Anatomie und Physiologie des Kreislaufsystems

Heft 18 | 4 Leukozyten und Immunsystem

Gastrointestinaltrakt

Heft 19 | 1 Mundhöhle, Rachen, Speiseröhre

Heft 19 | 2 Magen-Darm-Trakt

Heft 19 | 3 Organe des Magen-Darm-Kanals

Heft 19 | 4 Leber, Gallenblase und Pankreas

Heft 19 | 5 Blutgefäße, Lymphgefäße, vegetative Innervation

Endokrines System

Heft 23 | 5 Schilddrüse

Heft 23 | 6 Nebenschilddrüsen

Heft 23 | 8 Nebenniere

Heft 23 | 9 Diffuses neuroendokrines System (DNES)

Harn- und Geschlechtsorgane

Heft 22 | 1 Harnorgane

Heft 24 | 1 Entwicklung der Geschlechtsorgane

Heft 24 | 2 Weibliche Geschlechtsorgane

Heft 24 | 3 Männliche Geschlechtsorgane

Heft 24 | 4 Angewandte und topografische Anatomie

Heft 24 | 5 Blutgefäße, Lymphgefäße, vegetative Innervation

Heft 24 | 8 Schwangerschaft und Geburt

Histologie

Allgemeine Histologie

Heft 05 | 1 Zellen, Organellen

Heft 05 | 5 Histologische Methoden und allgemeine Gewebelehre

Heft 05 | 6 Gewebe

Bewegungsapparat

Heft 07 | 2 Binde- und Stützgewebe

Heft 09 | 2 Muskeltypen

Kopf, Hals, Nervensystem

Heft 11 | 1 Nervengewebe

Heft 11 | 2 Gliederung des Nervensystems

Sinnesorgane

Heft 14 | 2 Hör- und Gleichgewichtsorgan

Heft 14 | 4 Haut und Hautanhangsgebilde

Heft 15 | 2 Sehorgan

Heft 15 | 4 Chemische Sinne

Lunge, Herz, Kreislauf, Immunsystem

Heft 16 | 1 Entwicklung von Pleuraperikardhöhle, Herz und Schlundbogenarterien

Heft 16 | 2 Anatomie der Atmungsorgane

Heft 17 | 1 Aufbau des Herzens

Heft 17 | 4 Anatomie und Physiologie des Kreislaufsystems

Heft 18 | 1 Blut und Blutplasma

Heft 18 | 3 Thrombozyten, Hämostase und Fibrinolyse

Heft 18 | 4 Leukozyten und Immunsystem

Gastrointestinaltrakt

Heft 19 | 1 Mundhöhle, Rachen, Speiseröhre

Heft 19 | 3 Organe des Magen-Darm-Kanals

Heft 19 | 4 Leber, Gallenblase und Pankreas

Endokrines System

Heft 23 | 1 Endokrines System

Heft 23 | 2 Epiphyse

Heft 23 | 3 Hypothalamus-Hypophysen-System

Heft 23 | 4 Endokrines Pankreas

Heft 23 | 5 Schilddrüse

Heft 23 | 6 Nebenschilddrüsen

Heft 23 | 8 Nebenniere

Heft 23 | 9 Diffuses neuroendokrines System (DNES)

Harn- und Geschlechtsorgane

Heft 22 | 1 Harnorgane

Heft 24 | 2 Weibliche Geschlechtsorgane

Heft 24 | 3 Männliche Geschlechtsorgane

Heft 24 | 8 Schwangerschaft und Geburt

Biochemie

Grundlagen

Heft 02 | 1 Struktur der Materie

Heft 02 | 2 Mineralstoffe und Spurenelemente

Heft 04 | 1 Kohlenhydrate

Heft 04 | 2 Aminosäuren, Peptide, Proteine

Heft 04 | 3 Fettsäuren, Lipide

Heft 04 | 4 Nukleinsäuren, Nukleotide, Chromatin

Heft 04 | 5 Vitamine und Co-Enzyme

Heft 04 | 6 Thermodynamik und Kinetik

Zellbiologie, Molekularbiologie, Meiose

Heft 05 | 1 Zellen, Organellen

Heft 05 | 2 Transportprozesse

Heft 05 | 3 Signaltransduktion

Heft 05 | 4 Zellzyklus, Zellteilung, Zelltod

Heft 06 | 1 Enzyme

Heft 06 | 2 DNA-Replikation und -Transkription

Heft 06 | 3 Translation und Proteinprozessierung

Heft 06 | 4 Biochemische Verfahren

Heft 06 | 6 Meiose und Entwicklung der Gameten

Bewegungsapparat, Nervensystem, Immunsystem

Heft 07 | 2 Binde- und Stützgewebe

Heft 09 | 2 Muskeltypen

- Heft 11 | 4 Neurotransmitter und Rezeptoren
- Heft 18 | 2 Erythrozyten, Hämoglobin & Sauerstofftransport
- Heft 18 | 4 Leukozyten und Immunsystem

Anabole und katabole Stoffwechselwege

- Heft 20 | 1 Ökologie, Energie- und Wärmehaushalt
- Heft 20 | 2 Nahrungsaufnahme
- Heft 20 | 3 Abbau der Kohlenhydrate
- Heft 20 | 4 Fettsäureabbau und Ketonkörperstoffwechsel
- Heft 20 | 5 Aminosäurestoffwechsel und Harnstoffzyklus
- Heft 21 | 1 Citratzyklus und Atmungskette
- Heft 21 | 2 Gluconeogenese und Glykogenstoffwechsel
- Heft 21 | 3 Lipidsynthese
- Heft 21 | 4 Nukleotidstoffwechsel
- Heft 21 | 5 Stoffwechsel der Leber
- Heft 21 | 6 Fettgewebe

Niere, Säure-Basen-, Wasser- und Elektrolythaushalt

- Heft 22 | 2 Nierenfunktion
- Heft 22 | 4 Säure-Basen-Haushalt
- Heft 22 | 5 Wasser- und Elektrolythaushalt

Endokrines System

- Heft 23 | 1 Endokrines System
- Heft 23 | 3 Hypothalamus-Hypophysen-System
- Heft 23 | 4 Endokrines Pankreas
- Heft 23 | 5 Schilddrüse
- Heft 23 | 6 Nebenschilddrüsen
- Heft 23 | 7 Endokrine Funktionen der Niere
- Heft 23 | 8 Nebenniere
- Heft 23 | 10 Gewebshormone
- Heft 24 | 6 Sexualhormone

Physiologie

Zellphysiologie

- Heft 02 | 4 Elektrizität und Magnetismus
- Heft 05 | 1 Zellen, Organellen
- Heft 05 | 2 Transportprozesse
- Heft 05 | 3 Signaltransduktion
- Heft 05 | 4 Zellzyklus, Zellteilung, Zelltod

Bewegungsapparat und Motorik

- Heft 09 | 2 Muskeltypen
- Heft 09 | 3 Motorik

Nerven und Sinne

- Heft 09 | 4 Rückenmark und Reflexe
- Heft 09 | 5 Bewegungsabläufe im ZNS
- Heft 09 | 6 Arbeits- und Leistungsphysiologie
- Heft 11 | 3 Funktionsprinzipien des Nervensystems

- Heft 11 | 4 Neurotransmitter und Rezeptoren
- Heft 11 | 5 Vegetatives Nervensystem
- Heft 13 | 1 Bewusstsein und corticale Interaktion
- Heft 14 | 1 Schwingung, Wellen, Akustik
- Heft 14 | 3 Hörvorgang und Gleichgewichtssinn
- Heft 14 | 5 Somatoviszzerale Sensorik
- Heft 15 | 3 Sehen
- Heft 15 | 4 Chemische Sinne

Atmung, Kreislauf, Blut, Immunsystem

- Heft 16 | 4 Atmung
- Heft 16 | 5 Gasaustausch
- Heft 17 | 3 Physiologie des Herzens
- Heft 17 | 4 Anatomie und Physiologie des Kreislaufsystems
- Heft 18 | 1 Blut und Blutplasma
- Heft 18 | 2 Erythrozyten, Hämoglobin & Sauerstofftransport
- Heft 18 | 3 Thrombozyten, Hämostase und Fibrinolyse
- Heft 18 | 4 Leukozyten und Immunsystem

Verdauung, Energie- und Wärmehaushalt

- Heft 19 | 1 Mundhöhle, Rachen, Speiseröhre
- Heft 19 | 2 Magen-Darm-Trakt
- Heft 19 | 3 Organe des Magen-Darm-Kanals
- Heft 19 | 4 Leber, Gallenblase und Pankreas
- Heft 20 | 1 Ökologie, Energie- und Wärmehaushalt
- Heft 20 | 2 Nahrungsaufnahme

Niere, Säure-Basen-, Wasser- und Elektrolythaushalt

- Heft 22 | 2 Nierenfunktion
- Heft 22 | 4 Säure-Basen-Haushalt
- Heft 22 | 5 Wasser- und Elektrolythaushalt

Endokrines System

- Heft 23 | 1 Endokrines System
- Heft 23 | 3 Hypothalamus-Hypophysen-System
- Heft 23 | 5 Schilddrüse
- Heft 23 | 6 Nebenschilddrüsen
- Heft 23 | 7 Endokrine Funktionen der Niere
- Heft 23 | 8 Nebenniere
- Heft 23 | 10 Gewebshormone

Geschlechtsorgane und Reproduktion

- Heft 24 | 2 Weibliche Geschlechtsorgane
- Heft 24 | 3 Männliche Geschlechtsorgane
- Heft 24 | 6 Sexualhormone
- Heft 24 | 7 Sexualität und Reproduktion
- Heft 24 | 8 Schwangerschaft und Geburt

Biologie

- Heft 05 | 1 Zellen, Organellen
- Heft 05 | 2 Transportprozesse
- Heft 05 | 3 Signaltransduktion
- Heft 05 | 4 Zellzyklus, Zellteilung, Zelltod
- Heft 05 | 7 Mikrobiologie
- Heft 06 | 5 Vererbungslehre
- Heft 06 | 6 Meiose und Entwicklung der Gameten
- Heft 20 | 1 Ökologie, Energie- und Wärmehaushalt

Chemie

- Heft 02 | 1 Struktur der Materie
- Heft 02 | 2 Mineralstoffe und Spurenelemente
- Heft 03 | 1 Chemische Bindung
- Heft 03 | 2 Stereochemie
- Heft 03 | 3 Funktionelle Gruppen und Stoffklassen
- Heft 03 | 4 Stoffumwandlungen/chemische Reaktionen
- Heft 22 | 3 Säure-Basen-Reaktionen
- Heft 04 | 6 Thermodynamik und Kinetik
- Heft 04 | 1 Kohlenhydrate
- Heft 04 | 2 Aminosäuren, Peptide, Proteine
- Heft 04 | 3 Fettsäuren, Lipide
- Heft 04 | 4 Nukleinsäuren, Nukleotide, Chromatin
- Heft 04 | 5 Vitamine und Co-Enzyme

Physik

- Heft 01 | 4 Messen und Rechnen
- Heft 02 | 1 Struktur der Materie
- Heft 02 | 3 Wärmelehre
- Heft 02 | 4 Elektrizität und Magnetismus
- Heft 02 | 5 Ionisierende Strahlung
- Heft 09 | 1 Bewegungslehre
- Heft 14 | 1 Schwingung, Wellen, Akustik
- Heft 15 | 1 Optik
- Heft 16 | 3 Mechanik des Kreislaufsystems

Med. Psychologie, Med. Soziologie

- Heft 01 | 1 Individuum, Gesellschaft, Normen
- Heft 01 | 2 Arzt und Patient
- Heft 01 | 3 Gesundheitssystem
- Heft 01 | 5 Methodische Grundlagen
- Heft 13 | 1 Bewusstsein und corticale Interaktion
- Heft 13 | 2 Therapiemethoden und ihre Grundlagen
- Heft 24 | 7 Sexualität und Reproduktion

Herzlich willkommen bei Vorklinik Finale!

Hier findest du alle Inhalte, die du für das Physikum brauchst!

Egal ob du am Beginn des Medizinstudiums stehst oder schon kurz vor dem Physikum, ob du in einem Regel- oder Reformstudiengang studierst – Vorklinik Finale unterstützt dich beim effizienten Lernen und Überblick gewinnen!

Gliederung nach Organen:

Durch die Gliederung nach Organen bzw. Organsystemen stehen hier die Inhalte zusammen, die zusammengehören: Die Biochemie, Physiologie und Histologie der Muskeltypen – alles in einem Kapitel. Physik/Optik, Anatomie der Augen und Physiologie des Sehens – direkt aufeinander folgend. Das hat mehrere **Vorteile**:

- Zum einen wird viel deutlicher, warum du naturwissenschaftliche Grundlagen lernst.
- Zum anderen bereitet dich diese Darstellung optimal auf den klinischen Abschnitt und die ärztliche Tätigkeit vor.
- Und außerdem: Bei der Darstellung nach Fächern werden viele Inhalte doppelt dargestellt, damit die Inhalte einem logischen Aufbau folgen. Im Vorklinik Finale sind diese Inhalte bereits zusammengefasst, das erleichtert dir das Lernen! Selbstverständlich sind **alle** relevanten Inhalte der Fächer enthalten.

Das steckt drin:

Vorklinik Finale erläutert dir von Heft 1 bis Heft 6 wichtige Grundlagen – diese lassen sich keinem Organsystem zuordnen, da musst du leider durch! – und führt dich von Heft 7 bis Heft 24 einmal durch alle Organsysteme. **Heft 25 gibt dir wertvolle Tipps zum Lernen im vorklinischen Abschnitt und zur Vorbereitung auf das Physikum.** Schau doch mal rein!

Du kannst die Hefte auf unterschiedliche Art nutzen:

- Während des vorklinischen Abschnitts, um dir einen Überblick über den gesamten Lernstoff zu verschaffen und Inhalte einzuordnen.
- Während des vorklinischen Abschnitts, um schnell zu sehen, wie Inhalte aus den einzelnen Fächern bei einem bestimmten Organsystem zusammenkommen.
- Und natürlich zur Vorbereitung auf das Physikum.

Alles drin und Überblick garantiert!

Ganz vorne und ganz hinten im Heft findest du jeweils eine Gesamtübersicht, einmal nach Organen und einmal nach Fächern.

Wir wünschen dir viel Freude und Erfolg im Medizinstudium!

So nutzt du die Vorklinik-Finale-Hefte

Navigation

Du siehst am Anfang jedes Kapitels und Teilkapitels, welche Fächer enthalten sind:

 **Physik, Physiologie**

Wie bereits erwähnt, gibt es ganz vorne und ganz hinten im Heft jeweils eine **Gesamtübersicht**, einmal nach Organen und einmal nach Fächern.

Diese Markierungen weisen auf wichtige Inhalte hin

MERKE

Hier erhältst du wichtige Tipps und Hinweise.

KLINIK

Hier findest du relevante klinische Inhalte.

FOKUS

Hier stehen klinische Inhalte aus dem Fokuserkrankungs-Netzwerk gemäß Entwurf des neuen NKLM. Sie wurden damit als besonders wichtig für den vorklinischen Abschnitt definiert, und wir empfehlen, sie besonders aufmerksam anzusehen!

Besonders prüfungsrelevante Inhalte sind gelb hinterlegt.

Aktives Lernen und Überblick behalten

CHECK-UP

Am Ende jedes Teilkapitels stehen einige Verständnisfragen zum Selbstcheck. Das vermeidet ein „Gelesen, aber nicht gelernt“.

Jetzt bist du dran!

Überblick gewinnen

Diese Kästen findest du am Ende jedes Teilkapitels. Sie erinnern dich daran, dass du dir die Inhalte kurz zusammenfasst, so dass du dir Schritt für Schritt Überblick verschaffst. Die Stichwörter werden am Ende des Kapitels weiterverwendet (siehe unten).

Jetzt bist du dran!

Am Ende jedes Kapitels haben wir dir diese Seite zur Bearbeitung vorbereitet. Sie schlägt dir verschiedene Aufgaben vor, wie du den Inhalt noch einmal aktiv wiederholen kannst.

Zeichenaufgabe / Anregungen zur weiteren Wiederholung

Studierende höherer Semester geben euch Tipps, wie ihr wichtige Inhalte aktiv zu Papier bringt. Ideal zum Wiederholen, allein und in Lerngruppen, auch zur mündlichen Vorbereitung.

Überblick gewinnen

Du hast ja bereits am Ende jedes Unterkapitels einige Stichwörter notiert. Hier kannst du daraus eine Mindmap oder Liste erstellen und damit aktiv Überblick gewinnen.

Henrik Holtmann, Christoph Jaschinski, Isa Jauch, Michelle Xi

Vorklinik Finale 23

Endokrines System

1. Auflage

Unter Verwendung von Inhalten von:
Oliver Adolph, Ludwig Schlemm



Inhaltsverzeichnis

1	Endokrines System	1	6	Nebenschilddrüsen	31
1.1	Funktionsprinzipien	1	6.1	Makroskopischer Aufbau	31
1.2	Hormone	2	6.2	Feinstruktur	31
1.3	Hormonrezeptoren	4	6.3	Kalzium- und Phosphathaushalt	32
1.4	Endokrine Drüsen	7			
2	Epiphyse	9	7	Endokrine Funktionen der Niere	35
2.1	Feinstruktur	9	7.1	Renin	35
2.2	Funktion	9	7.2	Erythropoetin (EPO)	35
			7.3	Kalzitriol (Vitamin D)	35
			7.4	Weitere renale Hormone	35
3	Hypothalamus-Hypophysen-System	11	8	Nebenniere	37
3.1	Übersicht	11	8.1	Entwicklung	37
3.2	Feinstruktur	11	8.2	Makroskopischer Aufbau	37
3.3	Hypothalamus	13	8.3	Topografie	37
3.4	Regelkreise	14	8.4	Blutversorgung	37
3.5	Hypothalamische und adenohipophysäre Hormone	14	8.5	Feinstruktur der Nebenniere	37
3.6	Nichtglandotrope Hormone	15	8.6	Nebenniere und Paraganglien	39
3.7	Hormone der Neurohypophyse	18	8.7	Hormone der Nebennierenrinde	39
			8.8	Katecholamine	42
4	Endokrines Pankreas	21	9	Diffuses neuroendokrines System (DNES)	47
4.1	Feinstruktur der Pankreasinseln	21	9.1	Aufbau und Bestandteile	47
4.2	Insulin	21			
4.3	Glukagon	24	10	Gewebshormone	49
5	Schilddrüse	27	10.1	Eicosanoide	49
5.1	Entwicklung	27	10.2	Biogene Amine	50
5.2	Makroskopischer Aufbau	27	10.3	Kinine	51
5.3	Feinstruktur	28	10.4	Stickstoffmonoxid	51
5.4	Schilddrüsenhormone	28		Register	54

1

Endokrines System

1.1 Funktionsprinzipien

Isa Jauch, Voraufgabe: Oliver Adolph und Ludwig Schlemm

Biochemie, Physiologie

Die Kommunikation zwischen Organsystemen und zwischen Zellen eines Organismus ist Grundlage für die Homöostase und ermöglicht eine adäquate Reaktion auf innere und äußere Reize. Das **endokrine System** gehört neben dem **Nervensystem** zu den übergeordneten Regulationssystemen des menschlichen Körpers. Beide steuern zahlreiche Körperfunktionen in einem komplexen Netzwerk aus Neurotransmittern und Botenstoffen. In den letzten Jahren ist die Kenntnis von Rezeptoren, Signalwegen und lokalen Botenstoffen wie Zytokinen und Wachstumsfaktoren stark gewachsen. Oft verschwimmen dabei die Grenzen: So wird z. B. EPO (> Kap. 7.2) in der Niere gebildet und gelangt wie ein Hormon über den Blutweg zu seinen Zielzellen im Knochenmark. Dort besitzt es jedoch typische Wirkungen eines Interleukins und Wachstumsfaktors: Es fördert Zellwachstum und -differenzierung. Die Einteilung der Botenstoffe des menschlichen Körpers ist > Tab. 1.1 zu entnehmen.

Im Vergleich zum Nervensystem, das Signale schnell übermittelt, setzen hormonale Signale verzögert ein und wirken oft länger. Dennoch bestehen zwischen beiden Systemen zahlreiche Verbindungen. Diese finden sich sowohl in den Effektororganen als auch in den höheren Kontrollzentren des ZNS. Die höchste Hierarchieebene bei der Kontrolle der vegetativen Körperfunktionen ist der **Hypothalamus**. Er enthält **neuroendokrine Zellen**, welche auf neuronale Signale hin selbst Hormone produzieren können. Zusätzlich besitzt der Hypothalamus direkte und indirekte Verbindungen zur Hypophyse, die zahlreiche **glandotrope Hormone** produziert. Diese steuern wiederum die Hormonproduktion in endokrinen Drüsen des Körpers, wie der Schilddrüse, den Gonaden, der Leber oder der Nebennierenrinde.

Endokriner Regelkreis Regelkreise halten durch eine ständige Überwachung, Kommunikation und Anpassung gewisse Größen im menschlichen Körper konstant (z. B. Körpertemperatur und Blut-pH-Wert) und sorgen für die Regulation lebenswichtiger Körperfunktionen. Das RAAS ist ein Beispiel eines **endokrinen Regelkreises** (> Abb. 1.1). Es stellt u. a. den Blutdruck ein. Wichtige Elemente eines Regelkreises sind:

- **Regelgröße:** Messgröße, die reguliert wird (in diesem Fall der Blutdruck)
- **Sollwert:** physiologischer Zielwert der Regelgröße (wird durch komplexe zentralnervöse und zelluläre Mechanismen eingestellt)
- **Istwert:** derzeitiger Wert der Regelgröße (aktueller Blutdruckwert)
- **Störgröße:** Effekte, die den Wert der Regelgröße verändern (z. B. ein Blutverlust)
- **Sensor:** Rezeptoren zur Detektion des Istwerts (z. B. Zellen der MD)
- **Stellglieder:** physiologische Parameter, welche der Einstellung der Regelgröße dienen (z. B. der Gefäßwiderstand, intravasales Volumen)
- **Stellgrößen:** neuronale oder endokrine Mechanismen, welche die Stellglieder direkt beeinflussen (z. B. die Hormonkonzentrationen von Renin, AT II, Aldosteron im Blut)
- **Negatives Feedback:** Häufig hemmt ein Hormon/Botenstoff am Ende eines hierarchisch gegliederten Systems die Produktion übergeordneter Hormone (z. B. hemmt AT II die Reninproduktion).
- **Positives Feedback:** Seltener führt die Steigerung der Konzentration eines Effektorhormons zur vermehrten Freisetzung eines übergeordneten Hormons, das die Freisetzung des Effektorhormons fördert.

Tab. 1.1 Einteilung der Botenstoffe

Typ	Beispiele	Mechanismus der Signalweiterleitung
Klassische Hormone	<ul style="list-style-type: none"> • Corticotropin-Releasing-Hormon • Thyreotropin • Insulin • Kortisol • Adrenalin • Thyroxin ... 	Endokrin: produziert in endokrinem Organ, Transport über den Blutweg zu diversen Zielorganen
Zytokine <ul style="list-style-type: none"> • Interleukine • Wachstumsfaktoren • Interferone • Chemokine 	<ul style="list-style-type: none"> • IL-1, IL-6 • EGF, VEGF, TGF-β • Interferon-α • IL-8, C5b 	Meist produziert von (mobilen) Zellen des Bindegewebes und Wirkung überwiegend lokal: <ul style="list-style-type: none"> • Parakrin: durch Diffusion auf Zellen der Umgebung • Autokrin: auf die Bildungszelle selbst • Juxtakrin: Botenstoff und Rezeptor sind membrangebunden, kommunizierende Zellen haben eine physische Bindung

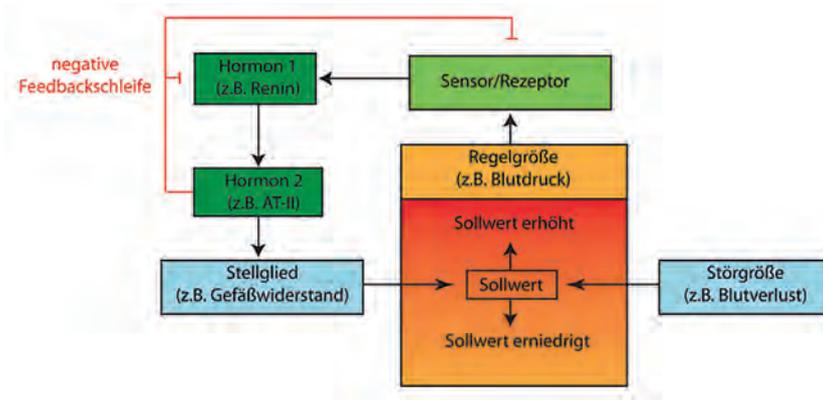


Abb. 1.1 Prinzip eines endokrinen Regelkreises mit der kaskadenartigen Aktivierung mehrerer Hormone [L253]

Jetzt bist du dran!

Überblick gewinnen

Notiere dir ca. 5 Stichwörter aus diesem Unterkapitel.

1.2 Hormone

Isa Jauch, Voraufgabe: Ludwig Schlemm und Oliver Adolph

Biochemie, Physiologie

MERKE

Hormone sind vom Körper gebildete Signalmoleküle, die eine gerichtete Reaktion der Zielzelle auslösen. Die Zielzelle muss hierfür den zum Signalmolekül passenden Rezeptor tragen. Die **Ligand-Rezeptor-Kopplung** erfolgt nach dem **Schlüssel-Schloss-Prinzip**.

Hormone lassen sich anhand ihrer Struktur, ihrer Eigenschaften und ihres Bildungsort unterscheidern und klassifizieren (> Abb. 1.2).

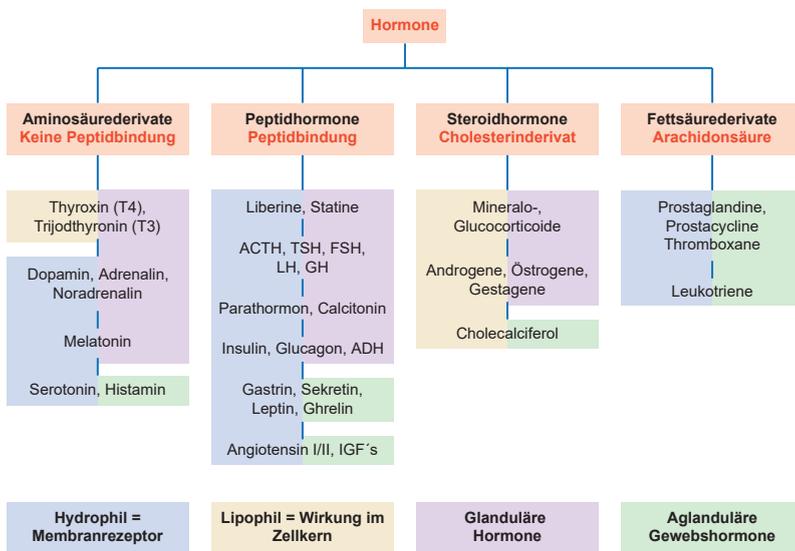


Abb. 1.2 Einteilung der Hormone nach Struktur, Eigenschaften und Bildungsort [L231]

1.2.1 Einteilung nach Bildungsort

Je nach Bildungsort unterscheidet man glanduläre und aglanduläre Hormone

Glanduläre Hormone

Glanduläre Hormone werden in spezialisierten, anatomisch definierten endokrinen Drüsen produziert. Über das Blut gelangen sie zu den Zielzellen. Übergeordnete Hormone, die auf endokrine Drüse wirken, nennt man **glandotrope Hormone**.

Endokrine Drüsen sind:

- **Hypothalamus** und **Hypophyse**
- **Schilddrüse** und **Nebenschilddrüsen**
- **Nebennierenrinde** und **-mark**
- Endokriner Anteil des **Pankreas**
- **Gonaden** (Testes und Ovarien)
- Plazenta

Die in Hypothalamus und Nebennierenmark produzierten Hormone werden auch als neurosekretorische Hormone bezeichnet, da sie von spezialisierten Nervenzellen gebildet werden.

Aglanduläre Hormone

Die aglandulären Hormone oder auch **Gewebshormone** werden von einzelnen, in verschiedenen Geweben verstreuten Zellen gebildet. Beispiele sind Histamin, Serotonin, Prostaglandine, Stickstoffmonoxid und γ -Aminobuttersäure (GABA). Sie wirken meist parakrin oder autokrin, seltener endokrin.

Im **Magen** finden sich beispielsweise **Gastrin**-produzierende G-Zellen, **Somatostatin**-produzierende D-Zellen und **Histamin**-produzierende Enterochromaffin-like-Zellen (ECL-Zellen). Zu den Gewebshormonen zählt auch die große Gruppe der **Zytokine**.

1.2.2 Einteilung nach Struktur

Gemäß ihrer chemischen Struktur kann man vier Hormonklassen unterscheiden:

- **Aminosäurederivate**
- **Peptidhormone**
- **Steroidhormone**
- **Fettsäurederivate**

Die strukturellen Unterschiede bestimmen beispielsweise die Halbwertszeit der Hormone und die Transportform im Blut, aber auch die Rezeptorklassen, an welchen die Hormone binden können.

Aminosäurederivate

Zu den Aminosäurederivaten gehören die **biogenen Amine** Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin und die **Schilddrüsenhormone** Thyroxin (T_4) und Trijodthyronin (T_3). Hinzu kommen Serotonin und Histamin, die aus Tryptophan bzw. Histidin entstehen. Aminosäurederivate haben **keine Peptidbindung**. Außer den Schilddrüsenhormonen wirken alle Hormone dieser Gruppe über **membranständige Rezeptoren**.

MERKE

Achtung: T_3 und T_4 sind lipophil, wirken über **nukleäre Rezeptoren** und werden im Blut proteingebunden transportiert.

Peptidhormone

Peptid- oder Proteohormone verfügen über **Peptidbindungen** und bestehen aus einer oder mehreren Peptidketten. Häufig werden sie aus größeren Vorstufen durch limitierte Proteolyse gebildet. Peptidhormone werden in Vesikeln gespeichert und bei Bedarf durch **Exozytose** freigesetzt. Ihre Halbwertszeit im Blut beträgt meist wenige Minuten und nur selten länger als eine Stunde und hängt von der Molekülgröße und dem Grad der **Glykosylierung** ab. Sie wirken über **membranständige Rezeptoren**.

Steroidhormone

Steroidhormone sind **Cholesterinderivate** und besitzen als gemeinsames Strukturelement das aus **17 C-Atomen** bestehende **Sterangerüst**. Entsprechend können sie Membranen passieren und wirken über **nukleäre Rezeptoren** auf ihre Zielzellen. Da sie nicht vesikulär gespeichert werden, müssen sie auf einen Sekretionsreiz hin stets neu produziert werden.

Fettsäurederivate

Eicosanoide (von griechisch εἴκοσι = zwanzig) sind die wichtigsten Vertreter der Fettsäurederivate. Sie entstehen aus der **C-20-Fettsäure Arachidonsäure**. Eicosanoide wirken meist über membranständige, G-Protein-gekoppelte Rezeptoren. Es gibt jedoch auch Eicosanoide, die an den nukleären Rezeptor PPAR- γ (Peroxisome Proliferator Activated Receptor Gamma) binden.

1.2.3 Hormonbildung

Je nach chemischer Struktur des Hormons erfolgt die Bildung auf typischen Synthesewegen:

- **Biogene Amine** entstehen durch Decarboxylierung aus Aminosäurevorläufern, z. B. Serotonin, Histamin, Dopamin.
- **Schilddrüsenhormone** werden extrazellulär in Follikeln durch Jodierung von Tyrosinresten des Thyreoglobulins synthetisiert.
- **Peptid- und Proteohormone** werden im exozytotischen Pathway synthetisiert und häufig im Golgi-Apparat proteolytisch aktiviert. **Prä-Prohormone** besitzen eine ER-Signalsequenz, die zunächst abgespalten wird. **Prohormone** werden dann in ER und Golgi-Apparat posttranslational modifiziert (z. B. glykosyliert) und durch **Prohormon-Konvertasen** proteolytisch gespalten. Zudem können sie in Granula bis zu ihrer Freisetzung gespeichert werden. Diese Speicherung kann dauerhaft (konstitutiv) erfolgen oder auf spezifische Reize hin (reguliert). Zur effektiven Abgabe ins Blut sind endokrine Organe häufig mit einem dichten, großvolumigen Kapillarnetz (**Sinusoide**) durchzogen.
- **Steroidhormone** werden aus Cholesterin in ER und Zytosol gebildet und besitzen lipophilen Charakter.
- **Fettsäurederivate** entstehen durch Umbauprozesse von Fettsäuren, z. B. Prostaglandine und Leukotriene aus Arachidonsäure.

Tab. 1.2 Wichtige Transportproteine lipophiler Hormone

Transportprotein	Transportierte Hormone
Albumin	Steroidhormone, Schilddrüsenhormone, Kalzitriol
Retinolbindendes Protein (RBP)	Vitamin A
Transkortin (CBG)	Kortisol, Aldosteron, Progesteron
Sexualhormonbindendes Globulin (SHBG)	Androgene, Östrogene
Transthyretin, Thyroxin-bindendes Globulin (TBG)	T ₄ , T ₃
Growth-Hormon-bindendes Protein (GHBP)	Growth Hormon (GH)
Transcaliferin (DBP)	Kalzitriol (Vitamin D ₃)

1.2.4 Hormontransport

Hydrophile Hormone, wie die meisten Proteohormone mit Ausnahme von Growth Hormon (GH) und Insulin-Like-Growth-Faktor (IGF), können frei im Blut zirkulieren. **Hydrophobe Hormone** wie Steroidhormone oder auch T₄ und T₃ sind selbst in Wasser nicht löslich und müssen deshalb zum Transport im Blut an bestimmte Proteine binden. Diese werden in der Leber produziert. Die Produktion wird reguliert und unterliegt Umweltbedingungen, sodass sich die Konzentration eines Transportproteins im Blut ändern kann. Dies kann die Wirkung des transportierten Hormons beeinflussen, da Hormone nicht an ihre Rezeptoren binden können, während sie noch an ihre Transportproteine gebunden sind. Eine Übersicht über Transportproteine und transportierte Hormone bietet > Tab. 1.2.

1.2.5 Hormonaktivierung

Einige Hormone werden als inaktive Vorstufen synthetisiert und transportiert und erst in der Peripherie aktiviert. Hierzu gehört z. B. T₄, das in seinen Zielzellen durch eine **5'-Dejodase** in das biologisch aktivere T₃ umgewandelt wird. Testosteron wird durch die **5-Reduktase** zu 5-Dihydrotestosteron reduziert.

CHECK-UP

- Was sind typische Produktionsorte glandulärer Hormone?
- Welche strukturellen Hormonklassen gibt es?
- Über welche Rezeptortypen wirken Peptidhormone und Steroidhormone?

Jetzt bist du dran!

Überblick gewinnen

Notiere dir ca. 5 Stichwörter aus diesem Unterkapitel.

1.3 Hormonrezeptoren

Isa Jauch, Voraufgabe: Oliver Adolph und Ludwig Schlemm

Biochemie, Physiologie

Hormone wirken, indem sie an Hormonrezeptoren der Zielzelle binden. Da die meisten Hormone spezifische Reaktionen in spezifischen Zellen auslösen sollen, ist die Rezeptor-Ligand-Interaktion **hochspezifisch**. Man unterscheidet drei große Rezeptorklassen:

- **Membranrezeptoren**
- **Ligandengesteuerte Ionenkanäle**
- **Intrazelluläre Rezeptoren**

Die Kenntnis der Rezeptoren und ihrer Signalkaskaden spielt v. a. in der Pharmakologie eine wichtige Rolle, da viele Medikamente als Agonisten (z. B. orale Kontrazeptiva, synthetische Insuline) oder Antagonisten (z. B. β -Blocker, Aldosteron-Antagonisten) an Hormonrezeptoren wirken.

1.3.1 Membranrezeptoren

G-Protein-gekoppelte Rezeptoren G-Protein-gekoppelte Rezeptoren (GPCR) haben sieben helikale Transmembrandomänen und werden auch heptahelikale Rezeptoren genannt. Sie interagieren mit **heterotrimeren G-Proteinen** im Zellinneren (> Abb. 1.3) und setzen je nach gekoppeltem Protein spezifische Signalkaskaden in Gang.

Beispiele für Hormone, die an GPCR binden, sind: **Katecholamine**, **TSH** (Thyroidea-stimulierendes Hormon), **Gastrin**, **ACTH** (adrenokortikotropes Hormon), **ADH** (antidiuretisches Hormon), **Parathormon** und **Kalzitinin**.

Rezeptor-Tyrosinkinasen Rezeptor-Tyrosinkinasen bestehen aus einer extrazellulären Ligandenbindungsstelle, einer Transmembrandomäne und einem **zytosolischen Teil** mit Tyrosinresten und **Tyrosinkinaseaktivität** (> Abb. 1.3). Über das kleine G-Protein **Ras** können entweder mitogenaktivierte Proteinkinasen (MAPK) oder über die Phosphatidylinositol-3-Kinasen (PI3K) die Proteinkinase B aktiviert werden. Oder es kommt zur Aktivierung der PLC γ , die wie die PLC β PIP₂ in DAG und IP₃ spaltet. Dies führt zur Freisetzung von Ca²⁺ und Aktivierung der PKC.

Hormone, die über Rezeptortyrosinkinasen wirken, sind z. B. **Insulin** und **PDGF** (Platelet-derived Growth Factor).

Rezeptor-Serin-/Threoninkinasen Nach Ligandenbindung an Rezeptor-Serin/Threoninkinasen werden Serin- und Threoninreste von assoziierten Proteinen phosphoryliert. Dies führt zur Aktivierung von **transkriptionsregulierenden** Proteinen.

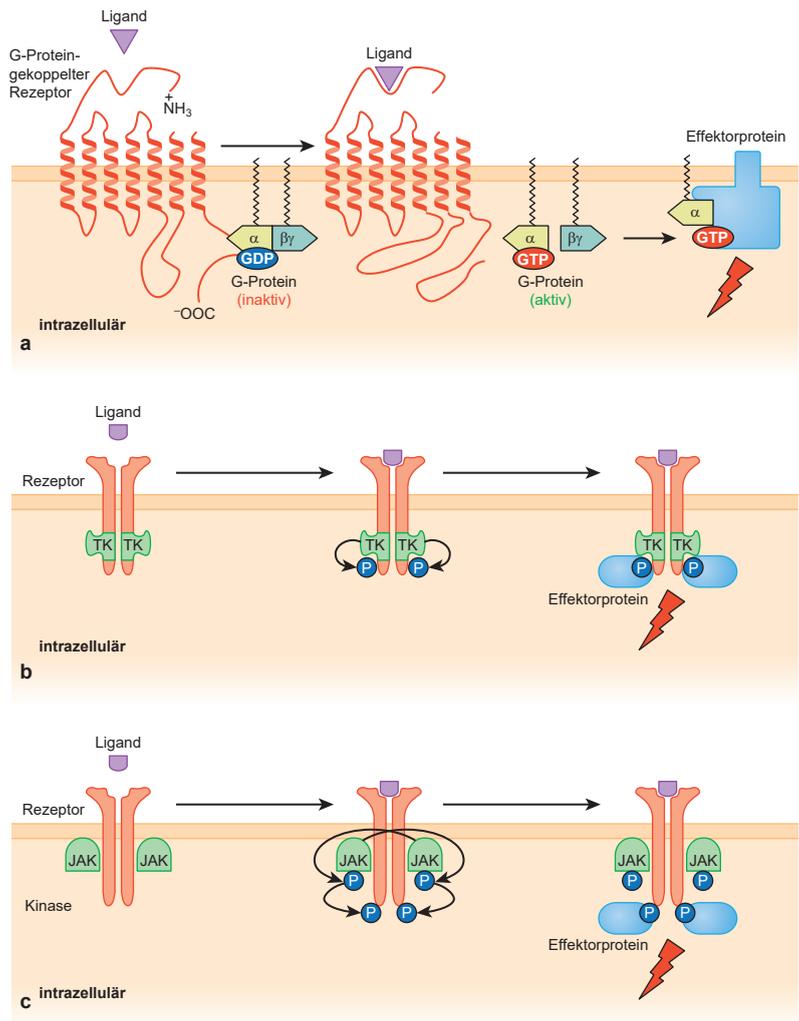


Abb. 1.3 Membranrezeptoren. **a** G-Protein-gekoppelte Rezeptoren, **b** Rezeptor-Tyrosinkinase, **c** Rezeptor mit assoziierter Tyrosinkinase [L231]
TK = Tyrosinkinase, P = Phosphat, JAK = Janus-Kinase

Zu den Hormonen, die an Rezeptor-Serin/Threoninkinasen binden, gehört **TGF- β** .

Assoziierte Tyrosinkinase-Rezeptoren Die Rezeptoren dieser Gruppe haben die Tyrosinkinaseaktivität nicht selbst inne, sondern sind mit Tyrosinkinasen assoziiert (> Abb. 1.3). Eine dieser assoziierten Kinasen ist beispielsweise die **Januskinase (JAK)**. Auch hier kommt es zur Transkriptionsregulation, z. B. über MAPK und STAT (Signal Transducer and Activator of Transcription).

Beispiele für Hormone, die über assoziierte Tyrosinkinasen wirken, sind das **Wachstumshormon (GH)**, **Prolaktin** und **Erythropoetin**.

Guanylatzyklase-Rezeptoren Membranebundene Guanylatzyklasen fungieren als homodimere Rezeptoren für natriuretische Peptide wie **ANP (atriales natriuretisches Peptid)** und **BNP (Brain Natriuretische Peptide)**. Nach Ligandenbindung kommt es zur Aktivierung der Zykylaseaktivität und zur Bildung des Second Messenger **cGMP aus GTP**. → Nicht mit der **löslichen Guanylatzyklase (sGC)** verwechseln, die als Heterodimer vorliegt und durch Stickstoffmonoxid (NO) aktiviert wird!

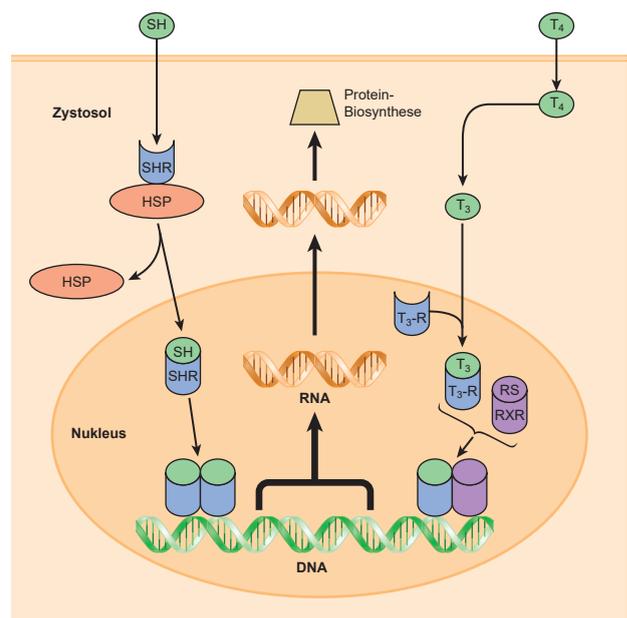


Abb. 1.4 Intrazelluläre Rezeptoren. Wirkmechanismus von Steroidhormonen und Schilddrüsenhormonen bzw. Kalzitriol [L231]
SH = Steroidhormon, SHR = Steroidhormon-Rezeptor, HSP = Hitzeschockprotein, T_3 -R = T_3 -Rezeptor, RS = Retinsäure, RXR = Retinsäure-X-Rezeptor

1.3.2 Ligandengesteuerte Ionenkanäle

Binden Liganden an Ionenkanäle, verändert sich direkt der Öffnungszustand der Kanäle und es kommt zum verstärkten oder verminderten Ein- oder Ausstrom von Ionen. **Ligandengesteuerte Ionenkanäle** vermitteln daher die schnellste zelluläre Reaktion auf ein Hormon. Auch intrazellulär gibt es ligandengesteuerte Ionenkanäle wie den IP_3 - und den Ryanodin-Rezeptor am glatten ER.

Hormone, die an Ionenkanäle binden, sind **GABA, Serotonin, Acetylcholin** und **Glutamat**.

1.3.3 Intrazelluläre Rezeptoren

Intrazelluläre Rezeptoren werden häufig als **nukleäre Rezeptoren** bezeichnet, obwohl manche zunächst nicht im Nukleus, sondern zytosolisch vorliegen. Sie können jedoch auch permanent im Nukleus lokalisiert sein (> Abb. 1.4).

1.3.4 Signaltransduktion

Innerhalb einer Zelle regulieren Hormone vielfältige Funktionen:

- Genexpression
- Membranpotenzial
- Enzymaktivität
- Kontraktion
- Sekretion
- Adhäsion

Nachdem ein Hormon seinen Rezeptor gebunden hat, muss das Signal also an seinen spezifischen Wirkungsort in der Zelle gelangen. Dafür müssen die hormonalen Signale intrazellulär verstärkt und weitergeleitet werden. Hierfür ist eine Vielzahl von zellulären Signalmolekülen zuständig, die häufig kaskadenartig aktiviert werden. Daher bezeichnet man die nach Aktivierung eines Rezeptors ablaufende zelluläre Signalweiterleitung und -verstärkung auch als **Signalkaskade**. Bei diesen Kaskaden kommt es typischerweise zur Synthese oder Freisetzung von **Second Messengern** – kleine, lösliche, zytoplasmatische Stoffe, deren Konzentration in Abhängigkeit des Signals schwankt. Zu den Second Messengern gehören cAMP, cGMP, IP_3 , DAG und Ca^{2+} (> Abb. 1.5).

Zyklische Nukleotide cAMP und cGMP werden mithilfe von **Adenylatcyclasen** bzw. **Guanylatzyklasen** im Zytosol aus ATP

und GTP synthetisiert. Adenylatcyclasen sind integrale Membranproteine und werden durch **G_s -Proteine** der Zellmembran aktiviert. **Guanylatzyklasen** kommen als zytoplasmatische Domänen in Membranrezeptoren oder **in löslicher Form im Zytosol** vor. Sie werden durch den Botenstoff **Stickstoffmonoxid (NO)** aktiviert, der durch die Zellmembran diffundieren kann. Zyklische Nukleotide können an Enzyme oder Membrankanäle binden und diese in ihrer Aktivität beeinflussen. So aktiviert cAMP die **PKA** und cGMP die **PKG**. Der Abbau erfolgt schnell durch **Phosphodiesterasen (PDE)** zu AMP bzw. GMP.

Inositoltrisphosphat und Diacylglycerol Aus dem Membranlipid Inositol-4,5-bisphosphat kann durch die **Phospholipase C (PLC)** die Kopfgruppe samt verbindendem Phosphatrest abgespalten werden, sodass IP_3 und DAG entstehen. Die PLC wird z. B. durch **G_q -Proteine** aktiviert. DAG kann in der Membran Enzyme (z. B. die Proteinkinase C, PKC) aktivieren. IP_3 diffundiert ins Zytosol und kann am ER Ca^{2+} -Kanäle öffnen.

Kalziumionen Ca^{2+} -Ionen werden ständig aktiv durch eine Pumpe (**SERCA**) in das ER einer Zelle gepumpt (Konzentration ca. 1 mmol). Sie können bei Bedarf ins Zytosol freigesetzt werden. Hier ist die Ca^{2+} -Konzentration normalerweise niedrig (ca. 100 nmol), sodass ein hoher Konzentrationsgradient über die ER-Membran besteht. Bei der Öffnung von Ca^{2+} -Kanälen in der ER-Membran kommt es also zum Fluss von Ca^{2+} -Ionen ins Zytosol. Ein wichtiger Freisetzungsmechanismus erfolgt über IP_3 . Im Zytosol können Ca^{2+} -Ionen eine Vielzahl von Enzymen aktivieren, u. a. über die Bindung an **Calmodulin (CaM)**.

Neben den Second Messengern spielen bei der intrazellulären Signaltransduktion **Proteine** eine wichtige Rolle. Diese übernehmen Funktionen als

- Adapterproteine
- Gerüstproteine
- Kleine G-Protein
- Enzyme (z. B. Kinasen, Phosphatasen, Ubiquitinligasen)
- Transkriptionsfaktoren.

Kinasen Eine zentrale Rolle bei der zellulären Signaltransduktion spielt die reversible Phosphorylierung. Dabei werden Phosphatgruppen durch Kinasen von ATP (selten GTP) auf ein Substrat übertragen. Wenn mehrere Kinasen sich hintereinandergeschaltet aktivieren, spricht man von einer Kinasekaskade. Ein Beispiel ist die **Ras-Kaskade**, welche die Proliferation und Zellteilung fördert. Sie wird z. B. durch Insulin und IGF1 über Rezeptor-Tyrosinkinasen in Gang gesetzt.

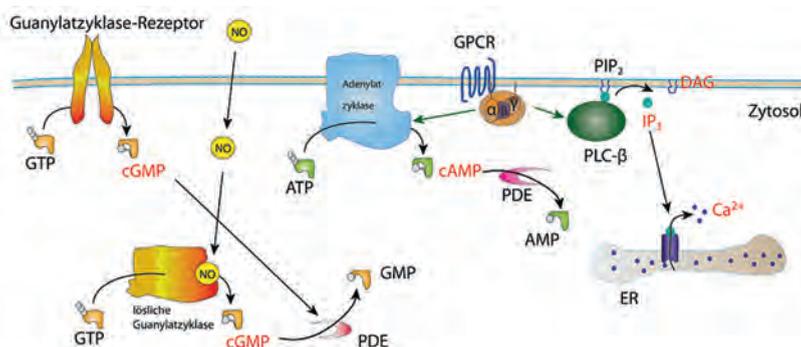


Abb. 1.5 Synthese- und Freisetzungswege der wichtigsten Second Messenger [L253]

Die Bände der Reihe „Vorklinik Finale“

