



Institut für medizinische und  
pharmazeutische Prüfungsfragen

**Gegenstandskatalog  
für den  
Ersten Abschnitt der  
Pharmazeutischen Prüfung**

5. aktualisierte Auflage  
Dezember 2019



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>Allgemeine, anorganische und organische Chemie .....</b>	<b>7</b>
<b>Grundlagen der pharmazeutischen Biologie und der Humanbiologie .....</b>	<b>24</b>
<b>Grundlagen der Physik, der physikalischen Chemie und der Arzneiformenlehre.....</b>	<b>37</b>
<b>Grundlagen der pharmazeutischen Analytik .....</b>	<b>60</b>

# Einleitung

Der Gegenstandskatalog (GK) für den Ersten Abschnitt der Pharmazeutischen Prüfung liegt mit dieser Neubearbeitung nunmehr in der fünften Auflage vor. Er bezieht sich auf die Approbationsordnung für Apotheker (AAppO). Mit seiner Erstellung ist das Institut für medizinische und pharmazeutische Prüfungsfragen (IMPP) von den Bundesländern beauftragt. Wie bereits die vierte Auflage, wurde dieser Gegenstandskatalog von Hochschullehrerinnen und Hochschullehrern in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Pharmazie des IMPP erstellt.

Die im Gegenstandskatalog enthaltenen Prüfungsgegenstände leiten sich aus dem Prüfungsstoff des Ersten Abschnitts der Pharmazeutischen Prüfung ab, der in der Anlage 13 (zu § 17 Abs. 3) der Approbationsordnung für Apotheker aufgeführt ist. Der Gegenstandskatalog veranschaulicht die dort in allgemeiner Form verbindlich festgelegten Prüfungsinhalte. Er verdeutlicht den Studierenden der Pharmazie, welche Grundkenntnisse in den schriftlichen Prüfungen erwartet werden. Es sei darauf hingewiesen, dass aktuelle Erkenntnisse aber schon Prüfungsstoff sein können, obwohl sie im Gegenstandskatalog noch nicht explizit genannt werden, solange dies im Rahmen der Prüfungsstoffliste der Approbationsordnung für Apotheker erfolgt. Der Gegenstandskatalog dient zudem den Autoren der schriftlichen Prüfungsaufgaben als Richtschnur.

In der Neufassung wurden die möglichen Prüfungsgegenstände dem Stand des Wissens angepasst. Herausgenommen wurden zwischenzeitlich nicht mehr gebräuchliche Methoden und Verfahren. Ein besonderes Anliegen war es, diesen Gegenstandskatalog so zu gestalten, dass er praxisnäher ist. Neue Prüfungsgegenstände werden frühestens ab dem Jahr 2021 sukzessive eingeführt.

Bei der Verwendung personenbezogener Substantive und Pronomina im vorliegenden Gegenstandskatalog sollen sich geschlechtsunabhängig stets alle Personen angesprochen fühlen.

Den Mitgliedern der Kommissionen und allen weiteren Experten, die sich an der Überarbeitung des Gegenstandskatalogs für den Ersten Abschnitt der Pharmazeutischen Prüfung beteiligt haben, danken wir sehr herzlich.

#### Hinweise:

Es muss im Übrigen darauf geachtet werden, dass in verschiedenen Fächern ein- und derselbe Fachterminus mitunter in voneinander abweichender Bedeutung verwendet wird. Dies kann auch für Unterfächer in demselben Prüfungsheft zutreffen. Die Fragen der jeweiligen Unterfächer sind jedoch im Prüfungsheft separat als Block angeordnet und durch eine entsprechende Überschrift gekennzeichnet. Somit wird klar, welche Fachterminologie jeweils anzuwenden ist.

Im Allgemeinen werden Zahlenwerte von Konstanten in den Prüfungsaufgaben mit der für die Rechnung erforderlichen Genauigkeit angegeben, einige sollten aber bekannt sein (Allgemeinwissen für Naturwissenschaftler). Sie sind in der folgenden Liste zusammengestellt. Soweit im Aufgabentext nicht ausdrücklich anders angegeben, ist die Genauigkeit dieser gerundeten Werte hinreichend:

### A Reine Zahlenwerte

$\pi$	$\approx$	3,14	$\sin 0$	$=$	$\cos 90^\circ$	$=$	0
$\pi^2$	$\approx$	10	$\sin 90^\circ$	$=$	$\cos 0$	$=$	1
$e$	$\approx$	2,7	$\sin 30^\circ$	$=$	$\cos 60^\circ$	$=$	0,5
$1/e$	$\approx$	0,37	$\tan 45^\circ$	$=$	1		
$\sqrt{2}$	$\approx$	1,4					

### B Physikalische Größen

1. Fallbeschleunigung $g$	$\approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
zur Abschätzung reicht hier:	$\approx 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
2. Dichte von Wasser	$\approx 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
3. Absoluter Nullpunkt	$= 0 \text{ K} \approx -273 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Schmelzenthalpie von Wasser	$\approx 330 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
5. Verdampfungsenthalpie von Wasser	$\approx 2200 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$
6. Allgemeine Gaskonstante $R$	$\approx 8,3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
7. Elementarladung	$\approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
8. Faraday-Konstante $F$	$\approx 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$
9. Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$\approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
10. Avogadro-Konstante $N_A$	$\approx 6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
11. Molvolumen $V_m$	$\approx 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

# Allgemeine, anorganische und organische Chemie

*(Fächergruppe P1-I)*

Der/die Pharmazeut\*in ist Arzneimittelexperte\*in und kann die Eigenschaften und die Qualität eines Wirkstoffs und seiner Formulierungen in vielfacher Hinsicht umfassend beurteilen.

Der Umgang mit hochwirksamen oder toxischen Substanzen, die Kenntnis der pharmazierelevanten chemischen Terminologie, die Kenntnis der Herstellungswege von Wirk- und Hilfsstoffen und somit der potentiellen Verunreinigungen in Arzneimitteln und die Beurteilung der Stabilität von Wirk- und Hilfsstoffen sind für die Qualitätssicherung ebenso wichtig wie für die Pharmakotherapie und damit unabdingbare Teile des Kompetenzprofils. Reinheit, Stabilität und Reaktivität von Stoffen beurteilen zu können, aber auch biochemische Prozesse zu verstehen, erfordert ein grundlegendes Verständnis der allgemeinen chemischen Gesetzmäßigkeiten und spezielle Kenntnisse Arzneimittel-spezifischer Charakteristika und Prozesse. Die chemische Struktur bestimmt, ob, auf welchem Weg und wie schnell ein Wirkstoff seinen therapeutisch relevanten Zielort (Target) erreichen kann und in welcher Weise der Arzneistoff mit Zielstrukturen interagieren kann.

Die Neugestaltung des Gegenstandskatalogs der Fächergruppe „Allgemeine, anorganische und organische Chemie“ ist angesichts der großen Stofffülle unter der Maßgabe vorgenommen worden, den Umfang des Prüfungsstoffs wenn möglich zu reduzieren. So wurden insbesondere Darstellungsverfahren für anorganische Grundchemikalien sowie Syntheseverfahren für organische Grundstoffe gestrichen. Neu aufgenommen wurden hingegen die bei der Synthese vieler Arzneistoffe zur Anwendung kommenden Übergangsmetall-katalysierten Kupplungsreaktionen, die in neuerer Zeit so erheblich an Bedeutung gewonnen haben, dass ihre Aufnahme in einen aktualisierten Gegenstandskatalog zwingend geboten war.

#### SPEZIELLE HINWEISE

In den Prüfungen findet die Terminologie der gültigen Arzneibücher Anwendung; dementsprechend werden normale Laborbedingungen vorausgesetzt, sofern keine anderen Angaben gemacht werden. Davon zu differenzieren sind ggf. die Definitionen nach DIN 1343 bzw. IUPAC. Zu erwähnen ist zudem die Neufassung der Definitionen der SI-Basiseinheiten in 2019 (siehe auch Informationen der Physikalisch-technischen Bundesanstalt (PTB)).

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Allgemeine Chemie .....</b>	<b>10</b>
1.1	Grundbegriffe und -gesetze .....	10
1.2	Atombau und Periodensystem der Elemente .....	10
1.3	Bindungstypen und ihre Charakteristika.....	10
1.4	Zustandsformen der Materie, Phasen, Lösungen und heterogene Systeme	12
1.5	Thermodynamik chemischer Reaktionen.....	12
1.6	Beispiele für chemische/physikochemische Gleichgewichte .....	13
1.7	Säure-Base-Systeme .....	13
1.8	Redox-Systeme .....	13
1.9	Komplex-Verbindungen .....	14
1.10	Reaktionskinetik.....	14
<b>2</b>	<b>Anorganische Chemie.....</b>	<b>15</b>
2.1	Hauptgruppenelemente (s- und p-Elemente), Charakteristika und Eigenschaften entsprechender chemischer Verbindungen.....	15
2.2	Nebengruppenelemente („äußere“ Übergangsmetalle, d-Elemente; Gruppe 3 bzw. Gruppen 4 - 12); Lanthanoide und Actinoide („innere“ Übergangsmetalle, f-Elemente, Gruppe 3) .....	17
2.3	Anorganische Arznei-, Hilfs- und Schadstoffe.....	17
<b>3</b>	<b>Organische Chemie.....</b>	<b>18</b>
3.1	Nomenklatur organisch-chemischer Verbindungen .....	18
3.2	Chemische Bindung .....	18
3.3	Mechanismen organisch-chemischer Reaktionen.....	19
3.4	Stereochemie .....	20
3.5	Substanzklassen.....	21

# 1 Allgemeine Chemie

## 1.1 Grundbegriffe und -gesetze

- 1.1.1 Stoff, Stoffumwandlung (chem. Reaktion), Element, Verbindung
- 1.1.2 Atom- und Molekülhypothese nach Dalton bzw. Avogadro; Gesetze der Massenerhaltung, der konstanten und multiplen Proportionen
- 1.1.3 Definition und Beziehungen von Masse, Volumen, Stoffmenge, relative Atom-/Molekülmasse, Gehalts- und Konzentrationsgrößen inkl. Einheiten und Symbole
- 1.1.4 Bedeutung chem. Elementsymbole, Formeln und Gleichungen, stöchiometrische Berechnungen

## 1.2 Atombau und Periodensystem der Elemente

- 1.2.1 Atomaufbau, Protonen, Neutronen, Elektronen; Atommodelle; Quantenzahlen und Orbitale (räumliche und energetische Aspekte)
- 1.2.2 Elektronenbesetzung von Orbitalen, Pauli-Prinzip und Hund'sche Regel; Grundzustand und angeregte Zustände; Singulett- und Triplettzustände; Absorption und Emission von Strahlung
- 1.2.3 Isotope, Radionuklide, radioaktiver Zerfall und Strahlungsarten; Bedeutung für Radiotherapie, Radiodiagnostik und (Bio)analytik
- 1.2.4 Aufbau des Periodensystems über die Elektronenbesetzung von Orbitalen; Elektronenkonfiguration, Valenzelektronen, Edelgaskonfiguration
- 1.2.5 Namen und Symbole der wichtigsten Elemente
- 1.2.6 Anordnung in Perioden und Gruppen sowie deren Bezeichnung
- 1.2.7 Periodische Eigenschaften
  - Atomradien, Ionenradien, Hydratationsradien, „Schrägbeziehung“, Elektronegativität (EN), Ionisierungsenergie, Elektronenaffinität, Oxidationszahlen, Standardpotentiale; Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle

## 1.3 Bindungstypen und ihre Charakteristika

- 1.3.1 Ionenbindung
  - Bildung von Ionen und Ionengittern:
  - EN-Unterschiede, Oktettregel, Edelgaskonfiguration
  - Ionengitter:
  - Coulomb'sche Kräfte, Gitterenergien, Ionenradien und -ladung, Kristallwasser, Mischkristalle
  - Physikalische und chemische Eigenschaften von ionischen Verbindungen
- 1.3.2 Kovalente Bindung (Atombindung)
  - Bildung von Molekülen durch Elektronenpaarbindung:
  - EN-Größen, Edelgaskonfiguration, Oktettregel und Hypervalenz, Hybridisierung
  - Prinzipien der VB-Methode:
  - Hybridorbitale, Molekülgeometrie, Isosterie,  $\sigma$ - Bindung und  $\pi$ - Bindung, Dreizentrenbindung

### 1.3.3 Metallische Bindung

### 1.3.4 Zwischenmolekulare Bindungskräfte

Mesomerie (Resonanz):

Elektronenstruktur der lokalisierten und delokalisierten Bindung, Elektronendelokalisierung, Regeln zur Beurteilung von mesomeren Lewis-Grenzformeln, Hyperkonjugation

Bindungsparameter (z.B. Bindungsordnung, Bindigkeit, Bindungslänge, Bindungsenergie)

Prinzipien der MO-Methode:

Molekülorbitale, MO-Diagramme

Elektronenpaar-Abstoßungsmodell (VSEPR)

Polare Atombindungen:

EN-Unterschiede, Polarisierung, Dipol, Dipolmoment, Strukturabhängigkeit;

physikalische und chemische Eigenschaften, Strukturformeln von kovalenten Verbindungen, Formalladung

Koordinative Bindung (Donator-Akzeptor-Bindung)

Rumpfgitter-Valenzelektronengas-Modell:

MO-Energiebänder, Valenzband, Leitungsband, metallische Leiter

Physikalische Eigenschaften der Metalle;

Legierungen

Elektrostatische Ion/Dipol- und Dipol/Dipol-Kräfte, permanente und induzierte, Größenordnung der Bindungsenergie, Einfluss von Ladung oder Dipolmoment und Abstand, Bedeutung für Solvation und biomolekulare Strukturen bzw. Wechselwirkungen (z.B. Arzneistoff/Target) Unterschiede Molekülgitter/Ionengitter

Van-der-Waals-Kräfte, Dispersionskräfte, Größenordnung der Bindungsenergien, einflussnehmende Parameter, Bedeutung für Wechselwirkung polarisierbarer Neutralteilchen

Wasserstoffbrückenbindung:

Dipolnatur, funktionelle Gruppen mit H-Donor- und H-Akzeptoreigenschaften, Struktur, inter-/intramolekulare Assoziation, Größenordnung der Bindungsenergien, Auswirkung auf Stoffeigenschaften, Bedeutung für Biomoleküle (z.B. Proteine, DNA) und Wechselwirkungen

## 1.4 Zustandsformen der Materie, Phasen, Lösungen und heterogene Systeme

- |  |   |
|--|---|
| <b>1.4.1 Aggregatzustände, Umwandlungswärmen</b> | Gase:<br>ideale, reale, Zustandsgrößen, Gasgesetze<br>Flüssigkeiten:<br>Dampfdruckkurve, Fixpunkte<br>Festkörper:<br>kristalliner Zustand, amorpher Zustand, Kristallhydrate, Allotropie, Polymorphie               |
| <b>1.4.2 Lösungen</b>                            | Lösevorgang, Solvatation (Hydratation), Löslichkeit, chemische und physikalische Einflüsse (Lösungsenthalpie, Gitterenthalpie), Diffusion, Osmose, Bedeutung für physiologische Vorgänge (z.B. Dialyse)             |
| <b>1.4.3 Elektrolytlösungen</b>                  | starke, schwache, mehrstufige Elektrolyte, Dissoziationsgrad, Ostwald'sches Verdünnungsgesetz, Ionenstärke, Aktivität und Aktivitätskoeffizient Leitfähigkeit, „physiologische“ Elektrolytlösungen (z.B. NaCl, KCl) |
| <b>1.4.4 Phasensysteme</b>                       | Begriff Phase, homogene/heterogene Phasen, Phasengleichgewichte, Zustandsdiagramme, azeotrope Gemische  |

## 1.5 Thermodynamik chemischer Reaktionen

- |  |   |
|--|---|
| <b>1.5.1 Systeme</b>   | isolierte, offene, geschlossene   |
| <b>1.5.2 Zustandsgrößen (-funktionen) geschlossener Systeme</b>          | Innere Energie, Enthalpie, Entropie, Freie Energie, Freie Enthalpie inkl. Symbole und Vorzeichen; isotherme, isochore, isobare, adiabatische Zustandsänderungen   |
| <b>1.5.3 1. Hauptsatz der Thermodynamik</b>                              | Bedeutung als Energieerhaltungssatz; Zusammenhang der Änderung von Zustandsgrößen mit Wärme und Arbeit; isotherme und adiabatische, exotherme und endotherme Prozesse; Reaktionsenthalpien und Hess'scher Satz; Bildungs- und Verbrennungsenthalpien, Standardenthalpie |
| <b>1.5.4 2. Hauptsatz der Thermodynamik</b>                              | Wahrscheinlichkeit und Richtung eines Reaktionsverlaufes sowie Entropie als Zustandsgröße; Umwandelbarkeit von Wärme in Arbeit; reversible/irreversible Prozesse und Entropieänderung, Standardentropie   |
| <b>1.5.5 3. Hauptsatz der Thermodynamik:</b>                             | Entropie am absoluten Nullpunkt; Entropie als Maß für molekulare Unordnung  |
| <b>1.5.6 Gibbs-Helmholtz-Gleichung</b>                                   | Anwendung auf chemische Reaktionen  |
| <b>1.5.7 Kriterien für den Reaktionsablauf in geschlossenen Systemen</b> | Bedeutung der freien Reaktionsenthalpie für chemische Reaktionen; exergonische und endergonische Prozesse; Einfluss der Entropie auf chemische Reaktionen; Freie Reaktionsenthalpie und Gleichgewichtskonstante sowie Redoxpotenzial                                    |

## 1.6 Beispiele für chemische/physikochemische Gleichgewichte

- |   |  |
|---|--|
| 1.6.1 Kriterien des Gleichgewichtszustands für geschlossene und offene Systeme  | Reversibilität, Reaktionsgeschwindigkeit, Änderung der freien Enthalpie und Entropie, dynamisches Gleichgewicht, Fließgleichgewicht, stationärer Zustand und seine Bedeutung für den Stoffwechsel von Organismen |
| 1.6.2 Beschreibung und Abhängigkeit der Gleichgewichtslage für homogene und heterogene Gleichgewichte; Bedeutung und Anwendungen des Massenwirkungsgesetzes (MWG) |  |
| 1.6.3 Verteilungsgleichgewichte   | Phasengleichgewichte, Abhängigkeitsparameter, Nernst'sches Verteilungsgesetz, pharmazeutische Aspekte (z.B. Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizient)   |
| 1.6.4 Löslichkeitsprodukt   | Bildung und Auflösung schwerlöslicher Niederschläge, kombinierte Fällungs- und Komplexgleichgewichte   |

## 1.7 Säure-Base-Systeme

- 1.7.1 Säure-Base-Begriffe nach Brønsted und Lewis
- 1.7.2 Säure-Base-Reaktion, korrespondierendes (konjugiertes) Säure-Base-Paar, Protolysegleichgewichte, Ampholyte, Autoprotolyse; pH-Wert; Protolyse von Salzen, Protolysereaktionen in nicht-wässrigen Systemen
- 1.7.3 Säure-Base-Stärke ( $pK_a$ -Wert,  $pK_b$ -Wert), Zusammenhang von  $pK_a$ - und  $pK_b$ -Wert, Acidität und Basizität (Größenordnung) wichtiger Säuren und Basen, Protolysegrad, Vergleich zu nicht-wässrigen Systemen
- 1.7.4 Puffersysteme, Pufferbereiche (Titrationskurven), Puffergleichung (Henderson-Hasselbalch), Pufferkapazität, Anwendung auf wichtige wässrige Systeme (z.B. Acetat-, Ammoniak-, Carbonat- und Phosphat-Puffer) und Berechnungen; Bedeutung für physiologische Systeme

## 1.8 Redox-Systeme

- 1.8.1 Oxidation und Reduktion, Redoxvorgang, Redoxpaar, Oxidations- und Reduktionsmittel, Oxidationszahl, Dis- und Synproportionierung
- 1.8.2 Redoxsystem, Redoxpotenzial, Standardpotenzial, Elektromotorische Kraft, Spannungsreihe, Überspannung, Nernst'sche Gleichung, Normalwasserstoffelektrode,
- 1.8.3 Redox-Reaktionen, Aufstellen von Redoxgleichungen
- 1.8.4 Elektrolyse

## 1.9 Komplex-Verbindungen

- 1.9.1 Aufbau von Komplexverbindungen, Bildung aus Lewis-Säuren und Lewis-Basen, HSAB-Konzept, koordinative Bindung, Elektronendonatoren und -akzeptoren, Zentralatome (Zentralionen), Liganden, Charge-Transfer-Komplexe**
- 1.9.2 Nomenklatur, Koordinationszahlen, Ladung und Eigenschaften von Komplexen, räumlicher Bau, Stereochemie**
- 1.9.3 Stabilität und Reaktivität** Kinetische und thermodynamische Aspekte; Assoziations- und Dissoziationskonstante
- 1.9.4 Komplexliganden** Ein- und mehrzählige Liganden, Ligandenaustausch, Chelat-Komplexe, Chelat-Effekt, Kronenether,  $\pi$ -Komplexe mit organischen Liganden
- 1.9.5 Ligandenfeldtheorie** d-Orbitalaufspaltung oktaedrischer und quadratisch-planarer Komplexe, high- und low-spin-Komplexe, magnetische Eigenschaften, spektrochemische Reihe der Liganden, Lichtabsorption (Farbe)

## 1.10 Reaktionskinetik

- 1.10.1 thermodynamische und kinetische Stabilität; kinetische vs. thermodynamische Reaktionskontrolle, Produktkontrolle (product development control), Metastabilität**
- 1.10.2 Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsordnung** Definition und Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von Konzentration und Temperatur; Reaktionsordnung (Reaktionen 0., 1. und 2. Ordnung); Bedeutung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten (Arrhenius-Gleichung)
- 1.10.3 Elementarreaktion; Reaktionsmolekularität; Abgrenzung zur Reaktionsordnung;**
- 1.10.4 Reaktions-Energie-Diagramme** Reaktionskoordinate, Aktivierungsenergie (-enthalpie), freie Aktivierungsenthalpie, Aktivierungsentropie, Übergangszustand, Zwischenprodukt, geschwindigkeitsbestimmender Schritt, Hammond-Postulat, Potentialhyperfläche
- 1.10.5 Katalyse** Einfluss des Katalysators auf die freie Aktivierungsenthalpie, Reaktionsgeschwindigkeit und Diagramm der potenziellen Energie; homogene und heterogene Katalyse; Bedeutung von Katalysatoren für chemische und biochemische Prozesse (Enzyme als Biokatalysatoren)

## 2 Anorganische Chemie

### 2.1 Hauptgruppenelemente (s- und p-Elemente), Charakteristika und Eigenschaften entsprechender chemischer Verbindungen

#### 2.1.1 Edelgase (Gruppe 18)

Eigenschaften, Reaktivität

#### 2.1.2 Wasserstoff (in Gruppe 1)

Atomarer und molekularer Wasserstoff:

Struktur, Reaktivität und Reaktionen

Wasserstoffisotope:

Vorkommen, Reaktivität und Anwendung

Hydrid-Verbindungen:

Struktur, Reaktivität

(insbesondere komplexe Hydride)

#### 2.1.3 Halogene (Gruppe 17)

Fluor, Chlor, Brom und Iod:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Halogenwasserstoffe und Halogenide:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Halogensauerstoffsäuren und deren Salze:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Halogenverbindungen der Hauptgruppenelemente,

Interhalogen-Verbindungen:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

#### 2.1.4 Chalkogene (Gruppe 16)

Sauerstoff:

Vorkommen, Allotropie, Struktur (nach MO-Theorie, Hybridisierungsmodell), Reaktivität

Reaktive Sauerstoffspezies:

Singulett-Sauerstoff, Superoxid-Radikal, Hydroxyl-Radikal, Vorkommen, Reaktivität

Wasserstoffperoxid:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Wasser:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität, schweres Wasser, Wasserhärte

Oxide:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Schwefel:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Schwefelwasserstoff und Salze:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Sauerstoffsäuren des Schwefels und deren Salze,

Schwefeloxide, Sulfurylchlorid, Thionylchlorid:

Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Selen:

Selendioxid, Selenat, Selendisulfid, Eigenschaften und Reaktivität von Selenwasserstoffverbindungen, Selenocystein

**2.1.5 Stickstoffgruppe** (Gruppe 15)

Stickstoff:  
Vorkommen, Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Ammoniak:  
Synthese (Haber-Bosch-Verfahren), Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Hydrazin und Hydroxylamin:  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Stickstoffwasserstoffsäure und deren Salze (Azide):  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Stickstoffoxide:  
Entstehung, Struktur, Eigenschaften und Reaktivität, pharmazeutische Bedeutung von NO und N<sub>2</sub>O

Sauerstoffsäuren des Stickstoffs und deren Salze:  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Phosphor:  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität von rotem und weißem Phosphor

Sauerstoffsäuren des Phosphors und deren Salze, Phosphoroxide, Phosphorhalogenide, Phosphortrichloridoxid, Phosphorsulfide:  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Arsen, Antimon und Bismut:  
Oxidationsstufen, Oxide, Sauerstoffsäuren und deren Salze, Struktur, Eigenschaften und Reaktivität, pharmazeutische Bedeutung von deren Salzen, Verbindungen und Komplexen

**2.1.6 Kohlenstoffgruppe** (Gruppe 14)

Kohlenstoff:  
Allotropie, Struktur, Eigenschaften, Reaktivität, Isotope, Kohle, Aktivkohle

Kohlenstoffoxide:  
Vorkommen, Entstehung, Struktur, Eigenschaften, Reaktivität, Bedeutung

Kohlensäure:  
Salze und Derivate (z.B. Harnstoff, Phosgen);  
Vorkommen, Struktur, Eigenschaften, Reaktivität, Bedeutung

Silicium:  
Siliciumdioxid, Kieselsäuren und Silicate, Silicone, Siliciumtetrafluorid, -tetrachlorid  
Hexafluorkieselsäure, Vorkommen, Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

Zinn, Blei, Oxide, Sulfide und Halogenide:  
Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

<b>2.1.7 Borgruppe</b> (Gruppe 13)	Bor: Wasserstoff-, Sauerstoff- und Halogenverbindungen Struktur, Eigenschaften und Reaktivität Aluminium: Wasserstoff-, Sauerstoff- und Halogenverbindungen und Salze: Struktur, Eigenschaften und Reaktivität
<b>2.1.8 Erdalkaligruppe</b> (Gruppe 2)	Eigenschaften und Reaktivität der Metalle; Salze: Struktur, Eigenschaften und Reaktivität, Wasserhärte
<b>2.1.9 Alkaligruppe</b> (Gruppe 1)	Eigenschaften und Reaktivität der Metalle; Salze: Struktur, Eigenschaften und Reaktivität

## **2.2 Nebengruppenelemente** („äußere“ Übergangsmetalle, d-Elemente; Gruppe 3 bzw. Gruppen 4 - 12); **Lanthanoide und Actinoide** („innere“ Übergangsmetalle, f-Elemente, Gruppe 3)

<b>2.2.1 Nebengruppenelemente: Eigenschaften und Reaktivität wichtiger Elemente und ihrer Verbindungen</b>	3d-Übergangselemente (Ti – Zn): Eigenschaften, Reaktivität, wichtige Oxidationsstufen Sauerstoffverbindungen der 3d-Übergangselemente: Eigenschaften, Reaktivität Salze und Komplexe von Titan-, Chrom-, Mangan-, Eisen-, Kobalt-, Nickel- Kupfer- und Zink: Eigenschaften, Reaktivität, pharmazeutische und biologische Bedeutung 4d-Übergangselemente (Mo, Tc, Pd, Ag, Cd): Eigenschaften, Reaktivität und wichtige Verbindungen 5d-Übergangselemente (Os, Pt, Au, Hg): Eigenschaften, Reaktivität und wichtige Verbindungen, Platinsalze und -komplexe (Struktur, Stereochemie), pharmazeutische Bedeutung
<b>2.2.2 Lanthanoide und Actinoide (f-Elemente)</b>	Lanthanoide (Seltene Erden) Ce, Gd: wichtige Oxidationsstufen und Reaktivität wichtiger Verbindungen Actinoide, U, Pu: Vorkommen, Radioaktivität, Bedeutung

## **2.3 Anorganische Arznei-, Hilfs- und Schadstoffe;**

**Pharmazeutisch und toxikologisch relevante Elemente und ihre Verbindungen**

## 3 Organische Chemie

### 3.1 Nomenklatur organisch-chemischer Verbindungen

- 3.1.1 Substitutive, additive, subtraktive und radikofunktionelle Nomenklaturverfahren, Unterscheidung zwischen systematischen Namen und Trivialnamen
- 3.1.2 Benennung und Bezifferung von Stammsystemen, Lokanten
- 3.1.3 offenkettige und cyclische Kohlenwasserstoffe, gesättigte, ungesättigte und aromatische Kohlenwasserstoffe, anellierte Systeme
- 3.1.4 Monocyclische Heterocyclen, Hantzsch-Widman-Patterson-Nomenklatur für O, S, N und P-enthaltende Heterocyclen, Austauschnomenklatur
- 3.1.5 Anellierte Heterocyclen, Verfahren für benzoanellierte Heterocyclen
- 3.1.6 Überbrückte (bicyclische) Systeme mit 2 Brückenkopfaten
- 3.1.7 Spirocyclische Verbindungen mit einem Spiroatom
- 3.1.8 Verbindungen mit funktionellen Gruppen, Präfixe und Suffixe zur Bezeichnung funktioneller Gruppen, Prioritätensystem, Funktionsstammverbindungen, multiplikative Präfixe, Reihung von Namensbestandteilen, Aufbau von Namen

### 3.2 Chemische Bindung

- |  |  |
|--|--|
| 3.2.1 Modelle der chemischen Bindung   | Atom- und Molekülorbitalmodelle, Orbitale, Hybridisierung von Orbitalen, VB- und MO-Theorie, Grenzorbitale (HOMO, LUMO)  |
| 3.2.2 C,H-, C,C- und C,Heteroatom-Einfachbindungen   | Bindungsparameter, Polarität, räumliche Struktur   |
| 3.2.3 C,C- und C,Heteroatom-Doppelbindungen  | Bindungsparameter, Polarität, räumliche Struktur   |
| 3.2.4 C,C- und C,N-Dreifachbindungen   | Bindungsparameter, Polarität, räumliche Struktur   |
| 3.2.5 Mesomerie  | Elektronenstruktur der lokalisierten und delokalisierten Bindung, Elektronendelokalisierung, Regeln für die Beurteilung von mesomeren Lewis-Grenzformeln, Vinylogie und Phenylogie, Hyperkonjugation |
| 3.2.6 Aromatizität   | Struktur, MO- und VB-Modelle, nichtbenzoide Aromaten; antiaromatischer Charakter, Hückel-Regel   |
| 3.2.7 Reaktive Zwischenstufen  | Struktur, Stabilität und Reaktivität von Radikalen, Radikal-Ionen, Carbenium-Ionen, Carbanionen, Carbenen und Nitrenen;  |
| 3.2.8 Übergangszustände  | Strukturen, energetische Betrachtungen, Bedeutung für chemische Reaktionen, Katalyse, Hammond-Postulat   |
| 3.2.9 Acidität und Basizität organischer Verbindungen, CH-, OH-, NH-, SH-Acidität, basische funktionelle Gruppen, vinyloge und phenyloge Säuren und Basen, HSAB-Konzept bei organischen Verbindungen |  |

- 3.2.10 Intermolekulare Wechselwirkung** ionische Wechselwirkungen, Ion-Dipol-Interaktion, Dipol-Dipol-Interaktion, Wasserstoff-Brücken, van-der-Waals-Wechselwirkungen, Hydrophober Effekt, energetische Betrachtungen

### 3.3 Mechanismen organisch-chemischer Reaktionen

- 3.3.1 Radikalische Substitution** Mechanismen, Stabilität und Reaktivität von Radikalen, Regioselektivität, energetische Betrachtungen, Elektronentransferprozesse, z.B. Halogenierung von Kohlenwasserstoffen, Autoxidation
- 3.3.2 Nucleophile Substitution am gesättigten C-Atom** Mechanismen, Übergangszustand, Zwischenprodukt, energetische Betrachtungen, Eigenschaften und Qualität von Nucleophilen und Abgangsgruppen, Zusammenhang mit Basizität, Lösungsmittelleffekte, stereochemische Aspekte
- 3.3.3 Elektrophile Substitution am Aromaten** Mechanismen, energetische Betrachtungen, Substituenteneffekte, Regioselektivität, Substitution an Heteroaromaten
- 3.3.4 Nucleophile Substitution am Aromaten** Mechanismen, energetische Betrachtungen, Substituenteneffekte, Substitution an Heteroaromaten
- 3.3.5 Nucleophile Addition an Aldehyde, Ketone, Imine und Nitrile** Mechanismen, Struktur und Reaktivität, Carbonylaktivität
- 3.3.6 Eliminierungen** Mechanismen, energetische Betrachtungen, Regio- und Stereoselektivität
- 3.3.7 Elektrophile Addition an die C,C-Doppel- und -Dreifachbindung** Mechanismen, Regio- und Stereoselektivität (Regel nach Markownikow)
- 3.3.8 Kondensationsreaktionen von Aldehyden und Ketonen** Mechanismen
- 3.3.9 Additions-Eliminierungs-Reaktionen bei Carbonsäure-Derivaten** Mechanismen, Reaktivitätsreihe der Carbonsäure-Derivate
- 3.3.10 Nucleophile Addition an die C,C-Mehrfachbindung** Mechanismen, konjugierte Addition (z.B. Michael-Addition), Reaktionssequenzen (z.B. Robinson-Anellierung)
- 3.3.11 Umlagerungen** Mechanismen, anionotrope und sigmatrope Umlagerungen und deren Klassifizierung, Umlagerungen am C-, N-, O-Atom
- 3.3.12 Pericyclische Reaktionen** Mechanismen und Theorien; Cycloadditionen, elektrocyclische Reaktionen; sigmatrope Umlagerungen; Cycloreversionen; Woodward-Hoffmann-Regeln, (z.B. Diels-Alder-Reaktion, photochemische Dimerisierung von Alkenen, Fischer-Indolsynthese, Claisen-Umlagerung)
- 3.3.13 Übergangsmetall-katalysierte Kreuzkupplungsreaktionen** Mechanismen, Aufbau von C,C-Bindungen (z.B. Stille-Kupplung, Suzuki-Kupplung, Heck-Reaktion), Katalysatoren

- 3.3.14 Oxidation** Funktionelle Gruppen und deren Oxidierbarkeit, prinzipielle Mechanismen (direkter Elektronentransfer, SET über Radikale), Oxidationsmittel und Oxidationsmethoden, Dehydrierung, Aromatisierung, Autoxidation, elektrolyt. Oxidation
- 3.3.15 Reduktion** Funktionelle Gruppen und deren Reduzierbarkeit, prinzipielle Mechanismen (z.B. direkter Elektronentransfer, Hydrid-Übertragung), Reduktionsmittel und Reduktionsmethoden, elektrolyt. Reduktion, katalytische Hydrierung, Vergiftung von Katalysatoren, Hydrogenolyse, reduktive Aminierung

## 3.4 Stereochemie

- 3.4.1 Begriffe** Isomere, Konstitution, Konfiguration, Konformation, Konfiguration und Konformation in Abhängigkeit von Aktivierungsbarriere (Rotamere, Atropisomere), Stereoisomere, Enantiomere, Diastereomere, dreidimensionale Darstellung von Molekülen, Stereoformeln, Chiralität, optische Aktivität
- 3.4.2 Symmetriebetrachtungen** Symmetrieelemente, Symmetrioperationen
- 3.4.3 Konformationsisomere** Begriffe, Nomenklatur, graphische Darstellung von Konformationen, Konformere, Energetische Betrachtung der Rotation um die Einfachbindung, Diederwinkel
- 3.4.4 Verbindungen mit einem Chiralitätszentrum** Graphische Darstellung konfigurationisomerer Verbindungen; absolute Konfiguration; Fischer Projektion, D/L-System, CIP-System, (R)/(S)-Nomenklatur; Heteroatome (N, P, S) als Chiralitätszentren; Grundprinzipien der Stereochemie in Verbindung mit biologischen Effekten, Eutomer, Distomer, eudismisches Verhältnis
- 3.4.5 Verbindungen mit mehreren Chiralitätszentren** Diastereomere, Epimere, Epimerisierung, Anomere,  $\alpha/\beta$ -Nomenklatur bei Zuckern,  $\alpha/\beta$ -Nomenklatur bei Steroiden, Mutarotation, *meso*-Verbindungen, Pseudochiralitätszentrum (r, s-Nomenklatur)
- 3.4.6  $\pi$ -Diastereomere** (E)/(Z)-Nomenklatur, *cis/trans*-Nomenklatur, strukturelle Eigenschaften der Carbonsäureamidbindung
- 3.4.7 Cyclische Verbindungen** Baeyer-, Pitzer- und Prelog-Spannung; Konformationsisomere monocyclischer Verbindungen, Anordnung von Substituenten, anellierte Ringsysteme, bicyclische Verbindungen (*endo/exo*-Stereo-deskriptoren), relative Konfiguration, *cis/trans*-Nomenklatur
- 3.4.8 Prochiralität** Topizität, homotope, enantiotope, diastereotopie und konstitutopie Gruppen und Seiten, pro-R/pro-S-Nomenklatur, re/si-Nomenklatur
- 3.4.9 Axiale Chiralität** Definition, Nomenklatur, Atropisomere, helikale Chiralität, typische Verbindungen (z.B. Allene, Biaryle)

**3.4.10 Stereoselektive Synthese**

Stereospezifische Reaktion, stereoselektive Reaktion, enantioselektive Reaktion, diastereoselektive Reaktion, asymmetrische Synthese, asymmetrische Induktion, Inversion, Retention, Racemisierung, Unterscheidung und Trennung stereoisomerer Verbindungen, optische Reinheit, Enantiomeren- und Diastereomeren-Überschuss

**3.5 Substanzklassen****3.5.1 Alkane, Cycloalkane**

Konformationen, Vorkommen, Herstellung, Struktur, Reaktionen, Eigenschaften, Bedeutung, bicyclische und spirocyclische Verbindungen, anellierte Systeme, Adamantan

**3.5.2 Alkene, Alkine**

Herstellung, Struktur, Konfiguration, Reaktionen, Eigenschaften, Bedeutung, Di- und Polyene, konjugierte Systeme

**3.5.3 Aromatische Kohlenwasserstoffe (Arene)**

Vorkommen, Herstellung, Struktur, Reaktionen, Eigenschaften, Bedeutung, benzoide und nicht-benzoide Aromaten (z.B. Azulene), kondensierte Aromaten

**3.5.4 Aromatische und nicht aromatische Heterocyclen**

Trivialnamen, systemat. Nomenklatur, Struktur, Reaktionen und Eigenschaften nicht aromatischer Heterocyclen mit ein bis zwei Heteroatomen (O, S, N, P) und bis zu 6 Ringatomen, z. B. Aziridin, Oxiran, Azetidin, Pyrrolidin, 1,4-Dihydropyridin, Piperidin, Piperazin, Morpholin, Tetrahydrofuran, 1,4-Dioxan; Trivialnamen und systemat. Nomenklatur, Struktur, Reaktionen und Eigenschaften aromatischer Heterocyclen mit ein bis zwei Heteroatomen (O, S, N) und bis zu 6 Ringatomen, z. B. Furan, Pyrrol, Thiophen, Imidazol, Pyrazol, Thiazole, Oxazole, Pyridin, Diazine, sowie Triazole, Tetrazole; Trivialnamen, systemat. Nomenklatur, Struktur, Reaktionen und Eigenschaften anellierter Systeme mit Heterocyclen als Basiskomponente, z.B. Indol, Chinolin, Isochinolin, Benzodiazine, Benzodiazepine, Purine, Phenothiazin, Cumarin, Porphin wichtige Heterocyclensynthesen, z.B. Paal-Knorr-Synthesen; 1,4-Dihydropyridinsynthese nach Hantzsch, Indolsynthese nach Fischer Säure-Base-Eigenschaften stickstoffhaltiger Heterocyclen

**3.5.5 Halogenalkane**

Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Bedeutung

**3.5.6 Alkohole**

Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Bedeutung

**3.5.7 Ether, Epoxide**

Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Bedeutung

**3.5.8 Aliphatische und aromatische Amine**

Herstellung, Eigenschaften (insbesondere Basizität), Reaktionen, Bedeutung

**3.5.9 weitere stickstoffhaltige Verbindungsklassen**

Azoverbindungen (1,2-Diazene), Diazoniumsalze, Hydrazin-Derivate, Hydroxylamin-Derivate, Aminoxide: Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Bedeutung

- 
- 3.5.10 Nitro- und Nitroso-Verbindungen** Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen,  $\alpha$ -CH-Acidität, Reduktion, Tautomerie von Nitrosoverbindungen, Nitrosamine
- 3.5.11 Aldehyde** Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Additions- und Kondensationsreaktionen, Reduktion, Oxidation; Enolisierung,  $\alpha$ -CH-Acidität, Umpolung, Aldehyd-Derivate, z.B. Hydrate, Acetale und Halbacetale, Acylale, Dithioacetale, Aminale und Halbaminale, Imine, Enamine, Oxime, Hydrazone
- 3.5.12 Ketone** Herstellung, Eigenschaften, Reaktionen, Additions- und Kondensationsreaktionen, Reduktion, Oxidation; Enolisierung,  $\alpha$ -CH-Acidität, Keton-Derivate, z.B. Hydrate, Ketale und Halbketale, Dithioketale, Aminale und Halbaminale, Imine, Enamine, Oxime, Hydrazone, Chinone
- 3.5.13 Carbonsäuren** Trivialnamen von Mono- und Dicarbonsäuren mit bis zu 6 C-Atomen, Vorkommen, Herstellung, Struktur, Eigenschaften, Reaktionen, Additions-Eliminierungs-Reaktionen, Acidität, Reduktion, Decarboxylierung, Reaktionen in  $\alpha$ -Position
- 3.5.14 Carbonsäure-Derivate** Carbonsaurehalogenide, Carbonsäureanhydride, Ketene, Carbonsäureester, Lactone, Carbonsäureamide, Lactame, Carbonsaureimide, Nitrile, Carbonsäurehydrazide, Hydroxamsäuren, Carbonsaureazide, Isocyanate, Isothiocyanate, Carbodiimide, Amidine, Amidoxime, Thiolester, Orthocarbonsaure-derivate (z.B. Orthocarbonsaureester)  
Herstellung, Struktur, Eigenschaften, Reaktionen, Reduktion, Reaktionen in  $\alpha$ -Position, Umlagerungsreaktionen (Curtius-, Hofmann-Reaktion)
- 3.5.15 Bor-Verbindungen, insbesondere Boronsäuren und ihre Ester** Struktur und Reaktivität
- 3.5.16 Phosphor-Verbindungen** Phosphate, Phosphonate, Phosphinate, Phosphane, Phosphor-Ylide:  
Struktur, Eigenschaften, Reaktionen  
Herstellung und Eigenschaften von Phosphoniumsalzen und Phosphor-Yliden
- 3.5.17 Schwefel-Verbindungen** Thiole, Thioether, Disulfide, Sulfoxide, Sulfone, Sulfonsäuren und -Derivate, Schwefelsäure und -Derivate:  
Herstellung, Struktur, Eigenschaften, Reaktionen, Acidität, Redox-Reaktionen
- 3.5.18 Substituierte aromatische Verbindungen** Halogenaromaten, Phenole, aromatische Amine, aromatische Aldehyde, aromatische Ketone, aromatische Carbonsäuren, aromatische Nitroverbindungen:  
Herstellung, Struktur, Reaktionen, besondere Eigenschaften substituierter aromatischer Verbindungen im Vergleich zu entsprechenden aliphatischen Verbindungen (z.B. Stabilität, Nucleophilie, Elektrophilie, Acidität, Basizität)

- 3.5.19 Verbindungen mit zwei oder mehr funktionellen Gruppen** 1,2-Diole,  $\alpha$ -Hydroxyaldehyde,  $\alpha$ -Hydroxyketone,  $\alpha$ -Hydroxycarbonsäuren,  $\alpha$ -Hydroxynitrile (Cyanhydrine),  $\alpha$ -Aminonitrile,  $\alpha$ -Oxocarbonsäuren,  $\beta$ -Oxocarbonsäuren und deren Ester,  $\alpha,\beta$ -ungesättigte Carbonylverbindungen:  
Herstellung, Struktur, Eigenschaften, Reaktionen, besondere chemische und physikalische Bedeutung
- 3.5.20 Metallorganische Verbindungen (Li-, Mg-, organische Verbindungen, Cuprate)** Herstellung, Struktur, Eigenschaften, Stabilität, Umsetzungen mit wichtigen Verbindungsklassen
- 3.5.21 Kohlenhydrate** Definition, Einteilung, Nomenklatur, Trivialnamen  
Triosen, Tetrosen, Pentosen (z.B. Ribose), Hexosen (z.B. Glucose, Galactose, Mannose, Fructose), Aldosen, Ketosen, Furanosen, Pyranosen, Disaccharide vom Maltose und Trehalose Typ (z.B. Lactose, Saccharose), Oligo- und Polysaccharide (z.B. Cyclodextrine, Stärke, Cellulose) Struktur, Stereochemie, offenkettige und cyclische Form, Anomerie, Mutarotation, Verknüpfungsmöglichkeiten von Monosacchariden zu Polysacchariden  
Stabilität, Eigenschaften, Reaktionen, z.B. Reduktion, Oxidation, Hydrolyse, Isomerisierung
- 3.5.22 Nucleinsäuren und ihre Bausteine** Nucleobasen, Nucleoside, Nucleotide, Struktur von RNA und DNA
- 3.5.23 Aminosäuren, Peptide und Proteine** Definition, Einteilung, Trivialnamen, Abkürzungen proteinogener Aminosäuren (Ein- und Dreibuchstaben-Code)  
Struktur proteinogener Aminosäuren, Stereochemie, Eigenschaften, Reaktionen, z.B. Racemisierung, Säure-Base-Eigenschaften, Chelatbildung, Synthese von Aminosäuren (z.B. Strecker-Synthese), Enantiomerentrennung  
Aufbau von Peptiden, abgekürzte Sequenzschreibweise, Peptidbindung, Primär-, Sekundär-, Tertiär-, Quartärstruktur von Proteinen, Bestimmung der Sequenz, Festphasensynthese von Peptiden, Schutzgruppenstrategie in der Peptidsynthese (Boc, Fmoc, Cbz; sowie tert.-Butylester, Benzylester) Kupplungsreagentien (z.B. Dicyclohexylcarbodiimid)
- 3.5.24 Fette, fette Öle, Wachse** Nomenklatur, Trivialnamen der natürlichen Fettsäuren C<sub>12</sub> bis C<sub>20</sub>, Struktur, Eigenschaften (gesättigte und ungesättigte Fettsäuren), Stabilität
- 3.5.25 Synthetische Polymere** Nomenklatur und Einteilung, Grundbegriffe der Polymerchemie, Charakterisierung von Polymeren, Struktur von Polymeren, Stereochemie (Taktizität), Beispiele: Polymere aus Vinylmonomeren, Polymere aus Buta-1,3-dienderivaten, Polyoxymethylen, Polyethylenoxid, Polyester, Polyamide, Polyurethane, Polysiloxane, Phenolformaldehyd-Harze, Polyvinylpyrrolidon, Polyethylenglycole  
Synthese über Stufenreaktion, Kettenreaktion, Mechanismen der Polymerisation, radikalische Polymerisation, kationische Polymerisation, anionische Polymerisation, Ziegler-Natta-Verfahren

# Grundlagen der pharmazeutischen Biologie und der Humanbiologie

*(Fächergruppe P1-II)*

Der umfassend neu bearbeitete Gegenstandskatalog der Fächergruppe II teilt den Prüfungsstoff auf sechs Fächer auf, wovon die meisten aufgrund deutlich veränderter Schwerpunkte auch neu bezeichnet sind. Hier eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Neuerungen:

Anstelle eines deskriptiv-cytologischen Kapitels beginnt Fach 1 Zellbiologie gewissermaßen biochemisch mit den molekularen Bausteinen der Zelle und endet mit Apoptose und Nekrose, dem Zelltod. Das Fach beschränkt sich auf „die“ eukaryotische Zelle; Besonderheiten der pflanzlichen Zelle bleiben gebührend berücksichtigt.

Der Prüfungsstoff zu prokaryotischen Zellen, insbesondere Bakterien, der über die bisherigen Fächer Cytologie, Genetik und Systematik verstreut war, ist nun im neu konzipierten Fach 2 Mikrobiologie zusammengeführt. Einem erweiterten Begriff des Faches folgend, wie ihn auch aktuelle Lehrbücher der Mikrobiologie zugrunde legen, werden in einem weiteren Kapitel Pilze behandelt (bisher: Fach Systematik). Neu aufgenommen wurden parasitische Würmer (z.B. Fuchsbandwurm, Trichine). Ebenfalls neu ist das Kapitel über parasitische Protozoen, die als Erreger bzw. Überträger von Krankheiten wie Malaria das Leben von Millionen Menschen bedrohen und deren Bedeutung bei fortschreitendem Klimawandel noch zunehmen wird. Dem abschließenden Kapitel Viren wurde der Punkt infektiöse Makromoleküle hinzugefügt, worunter Prionen und Viroide zu verstehen sind.

In Fach 3 Genetik wird besonderer Wert auf die Regulation der Genaktivität gelegt, daher der explizite Hinweis auf die Funktionen der verschiedenen RNA-Spezies und die RNA-Interferenz. Neu sind der Punkt Reparaturmechanismen im Kapitel Mutationen und das Kapitel Grundzüge der Epigenetik. Abschließend sind molekularbiologische Methoden und Begriffe genannt, was die Orientierung in dieser rasant sich entwickelnden und verändernden Disziplin erleichtern soll.

Durch Streichung der Entwicklungsphysiologie der Pflanzen konnte Fach 4 Biochemie als das bezeichnet werden, was es nun ist. Das Kapitel zum früher Primärstoffwechsel genannten Grundstoffwechsel nennt nicht nur die Glykolyse, sondern auch den Hexosemonophosphatweg als Möglichkeit zur Verwertung von Glucose. Besondere Aufmerksamkeit verdient der neu aufgenommene Punkt Biochemie der Ernährung, der den Zusammenhängen zwischen Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsel gewidmet ist. In dem abschließenden Kapitel sind spezielle pflanzliche und mikrobielle Stoffwechselprozesse zusammengefasst; hier finden sich auch die exemplarisch genannten Gruppen pflanzlicher Sekundärstoffe, über deren Struktur und Verbreitung Grundkenntnisse erwartet werden.

Die bisherigen Fächer Systematik und Anatomie, Morphologie und Histologie des Kormus existieren in dieser Form nicht mehr. An ihre Stelle tritt das neu konzipierte Fach 5 Phytopharmazie. In dessen erstem Kapitel, und nur hier, werden auch Moose und Farne genannt, weil sie für das Verständnis der Phylogenie der Grünen Landpflanzen von Bedeutung sind. Das folgende Kapitel ist den pharmazeutisch ungleich wichtigeren Samenpflanzen vorbehalten. Die histologischen und anatomisch-morphologischen Inhalte beschränken sich auf das zum Verständnis des Pflanzenkörpers und seiner Physiologie Unverzichtbare. Da bereits aus den Begriffen (Arzneipflanze, Giftpflanze) hervorgeht, dass eine arzneiliche Verwendung bzw. toxische Wirkung gegeben ist, wird dies zukünftig vermehrt Gegenstand von Prüfungsaufgaben sein, die so praxisrelevanter werden. Die gewählte Darstellung der Pflanzenfamilien, aus denen die Arzneipflanzen und Giftpflanzen stammen, erlaubt – im Gegensatz zur bisherigen bloßen Aufzählung – schon auf einen Blick einen Einblick in die phylogenetischen Zusammenhänge. Anstelle der gestrichenen Primulaceae und Scrophulariaceae sind die Ericaceae und die Plantaginaceae aufgenommen. Neu sind auch die Myrtaceae, und mit den Lauraceae und den Piperaceae sind nun auch die Magnoliiden im Gegenstandskatalog vertreten. Das abschließende Kapitel umfasst unter anderem pharmazeutisch relevante Rotalgen und Braunalgen, die nicht nur der Gewinnung pharmazeutischer Hilfsstoffe dienen (und zunehmend an Bedeutung als Nahrungsmittel

gewinnen), sondern auch zunehmend interessanter werden für die Gewinnung neuer Arzneistoffe.

Auch der Prüfungsstoff von Fach 6 Humanbiologie wurde deutlich gestrafft, um bisher nicht berücksichtigte Inhalte neu integrieren zu können. Es beginnt mit den verschiedenen Gewebetypen, an die sich mit Haut sowie Knorpel/Knochen/Gelenke aus Epithel- bzw. Bindegewebe gebildete Strukturen anschließen. Wo immer möglich, werden auch regulatorische Aspekte einbezogen, hier die hormonale Steuerung des Knochenaufbaus, -umbaus, -abbaus. Im Themenbereich Nervensystem sind dessen Zellen (Neurone, Glia) der Organisation dieses komplexen Systems vorangestellt. Das Kapitel Sinnesorgane wurde um die Grundzüge der chemischen Sinne Geruch und Geschmack erweitert. Die glatte Muskulatur – häufig Anlass für pharmakotherapeutische Intervention – wird nun ebenso ausführlich dargestellt wie die quergestreifte Muskulatur. Die wichtigsten Funktionen des Blutes waren im bisherigen Gegenstandskatalog derart lückenhaft, dass sie ergänzt wurden um die Punkte Eisenversorgung, Regulation des Blut-pH sowie Grundzüge der physiologischen Entzündungsreaktion und Grundzüge der Hämostase. Die Regulation der Nierentätigkeit umfasst nun auch die natriuretischen Peptide. Neu im Themenbereich Gastrointestinaltrakt sind die Bedeutung des Mikrobioms sowie die Funktion der Leber in Stoffwechsel und Entgiftung und ihre Syntheseleistungen. Dem Kapitel Ernährungsphysiologie kommt unter dem Aspekt der Prävention besondere Bedeutung zu. Hier wurde der Punkt Anpassung an verschiedene Ernährungssituationen, also z.B. Fasten, Hunger, hinzugefügt. Da viele Hormone schon im Zusammenhang mit den Organen genannt sind, deren Tätigkeit sie regulieren, kann sich das Kapitel Hormonsystem konzentrieren auf das Hypothalamus-Hypophysen-System, auf die Hormone der Nebennierenrinde – hier ist nun auch die neu aufgenommene Steuerung der physiologischen Stressreaktion platziert – und auf die Schilddrüsenhormone, die im bisherigen Gegenstandskatalog fehlten. Die hormonale Steuerung der Sexualfunktion setzt das Wissen um die Hypothalamus-Hypophysen-Hormone und die Funktionsweise negativ und positiv rückgekoppelter Regelkreise voraus. Aus diesem Grund ist das Hormonsystem nun vor dem abschließenden Thema Fortpflanzung angeordnet.

Die an der Neubearbeitung des Gegenstandskatalogs der Fächergruppe II Beteiligten, die sachverständigen Hochschullehrer und Hochschullehrerinnen ebenso wie der Fachbereich Pharmazie des IMPP, standen vor der schwer zu bewältigenden Aufgabe, eine gewisse Kontinuität zu wahren und doch auch neue Impulse zu setzen, welche aktuelle Entwicklungen in den Prüfungsfächern reflektieren, dabei aber die schiere Menge des für die Prüfung zu beherrschenden Stoffes im Interesse der Studierenden nicht zu vergrößern. Sie hoffen, dass dies nicht zuletzt durch die vorgenommenen Streichungen gelungen ist. Inhalte, die keine Aufnahme mehr in den Gegenstandskatalog gefunden haben, wie die aus dem jetzigen Fach Biochemie gestrichene Entwicklungsphysiologie der Pflanzen, die aus dem Fach Humanbiologie gestrichenen Eigen- und Fremdreize oder die grundlegenden Merkmale von Organismengruppen, die nicht unbedingt im Mittelpunkt pharmazeutischen Interesses stehen, sind darum aber nicht obsolet. Selbstverständlich liegt es in der Entscheidung der universitären Lehre, diese auch weiterhin zu berücksichtigen, und die Autorinnen und Autoren der Lehrbücher sind gebeten, diese und weitere Inhalte Interessierten auch weiterhin zugänglich zu erhalten. Ferner hoffen die Beteiligten, dass der neue Gegenstandskatalog der Fächergruppe II den Prüfungsstoff in einer Übersichtlichkeit und Stringenz präsentiert, die der seit 2002 gültige Gegenstandskatalog an vielen Stellen vermissen ließ.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Zellbiologie</b>	<b>29</b>
1.1	Molekulare Bausteine der Zelle	29
1.2	Biomembranen	29
1.3	Eukaryotische Zellen: Kompartimente, Strukturen und ihre Funktion	29
1.4	Extrazelluläre Strukturen	29
1.5	Zell/Zell- und Zell/Matrix-Kontakte	29
1.6	Signaltransduktion in tierischen/menschlichen Zellen	29
1.7	Zelltod	29
<b>2</b>	<b>Mikrobiologie</b>	<b>30</b>
2.1	Bakterien (Bacteria)	30
2.2	Pilze	30
2.3	Parasitische Protozoen	30
2.4	Parasitische Würmer <sup>1</sup>	30
2.5	Viren	30
<b>3</b>	<b>Genetik</b>	<b>31</b>
3.1	Funktion von DNA, Struktur prokaryotischer und eukaryotischer Gene	31
3.2	Struktur und Funktionen der verschiedenen RNA-Spezies	31
3.3	Genetischer Code	31
3.4	Replikation von DNA	31
3.5	Transkription von DNA	31
3.6	Prozessierung von RNA	31
3.7	Translation von mRNA (inkl. co- und posttranslationale Protein-Modifikationen)	31
3.8	Regulation von Transkription und Translation (inkl. RNA-Interferenz, Mikro-RNA)	31
3.9	Zellzyklus (inkl. Interphase, Mitose-Phasen, Cytokinese) und dessen Regulation	31
3.10	Meiose, Kernphasenwechsel	31
3.11	Mitochondriale und plastidäre Vererbung („plasmatische“ Vererbung)	31
3.12	Mutationen	31
3.13	Somatische Rekombination: Antigenrezeptoren, Antikörper	31
3.14	Grundzüge der Epigenetik	31
3.15	Grundlagen molekularbiologischer Methoden	31
<b>4</b>	<b>Biochemie</b>	<b>32</b>
4.1	Biokatalysatoren	32
4.2	Grundstoffwechsel („Primärstoffwechsel“)	32
4.3	Spezielle pflanzliche und mikrobielle Stoffwechselprozesse (inkl. „Sekundärstoffwechsel“)	32

---

<b>5</b>	<b>Phytopharmazie.....</b>	<b>33</b>
5.1	Grundzüge der Phylogenie der Grünen Landpflanzen (Embryophyten): Moose (Bryophyten), Farnpflanzen (Pteridophyten), Samenpflanzen (Spermatophyten) .....	33
5.2	Samenpflanzen (Spermatophyten) .....	33
5.3	Arzneipflanzen und offizinelle Drogen sowie Giftpflanzen aus anderen als den oben genannten Taxa, inkl. pharmazeutisch relevanter Rotalgen (Rhodophyta) und Braunalgen (Phaeophyceae).....	33
<b>6</b>	<b>Humanbiologie .....</b>	<b>34</b>
6.1	Gewebe.....	34
6.2	Nervensystem .....	34
6.3	Muskulatur .....	34
6.4	Herz und Kreislauf .....	35
6.5	Blut.....	35
6.6	Immunsystem.....	35
6.7	Niere .....	35
6.8	Respirationstrakt .....	35
6.9	Gastrointestinaltrakt .....	36
6.10	Ernährungsphysiologie.....	36
6.11	Hormonsystem.....	36
6.12	Fortpflanzung .....	36

# 1 Zellbiologie

## 1.1 Molekulare Bausteine der Zelle

- 1.1.1 Kohlenhydrate (Glykane) und ihre Bausteine
- 1.1.2 Proteine und ihre Bausteine
- 1.1.3 Nucleinsäuren und ihre Bausteine
- 1.1.4 Lipide: Glycerolipide (Triglyceride, Phospholipide), Glykolipide, Sterole

## 1.2 Biomembranen

- 1.2.1 Bau von Biomembranen
- 1.2.2 Selektive Permeabilität, Transportmechanismen (inkl. Diffusion, aktiver und passiver Transport, ABC-Transporter)
- 1.2.3 Membranpotential

## 1.3 Eukaryotische Zellen: Kompartimente, Strukturen und ihre Funktion

- 1.3.1 Cytoplasma, Cytosol, Cytoskelett, Cilien, Geißeln
- 1.3.2 Zellkern (inkl. Chromosomen)
- 1.3.3 Semiautonome Organellen: Mitochondrien, Plastiden
- 1.3.4 Ribosomen
- 1.3.5 Glattes und raues Endoplasmatisches Retikulum
- 1.3.6 Golgi-Apparat
- 1.3.7 Lysosomen, Endosomen, Exosomen
- 1.3.8 Peroxisomen (inkl. Glyoxysomen)
- 1.3.9 Vakuolen pflanzlicher Zellen
- 1.3.10 Vesikulärer Transport

## 1.4 Extrazelluläre Strukturen

- 1.4.1 Glykocalyx tierischer/menschlicher Zellen
- 1.4.2 Extrazellulärmatrix: Grundsubstanz, Strukturproteine
- 1.4.3 Pflanzliche Zellwand

## 1.5 Zell/Zell- und Zell/Matrix-Kontakte

- 1.5.1 in tierischen Geweben: z. B. *gap junctions*, *tight junctions*, Desmosomen, Hemidesmosomen
- 1.5.2 in pflanzlichen Geweben: Plasmodesmata

## 1.6 Signaltransduktion in tierischen/menschlichen Zellen

Ionenkanäle, G-Protein-gekoppelte Rezeptoren, *second messenger*, Proteinkinasen

## 1.7 Zelltod

Apoptose, Nekrose

## 2 Mikrobiologie

### 2.1 Bakterien (Bacteria)

- 2.1.1 Bau der Zelle, Vergleich mit eukaryotischen Zellen
- 2.1.2 Zellwände gram-positiver und gram-negativer Bakterien (inkl. Wirkweise von  $\beta$ -Lactam-Antibiotika, Gram-Färbung)
- 2.1.3 Pathogenitätsfaktoren und Immunogenität (inkl. Exotoxine, Endotoxine, Oberflächenantigene)
- 2.1.4 Biologie sowie pharmazeutische und medizinische Bedeutung gram-negativer Bakterien, z. B. *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Vibrio*
- 2.1.5 Biologie sowie pharmazeutische und medizinische Bedeutung gram-positiver Bakterien, z. B. *Bacillus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*; *Corynebacterium*, *Mycobacterium*, *Streptomyces*
- 2.1.6 Biologie sowie medizinische Bedeutung zellwandloser Bakterien, z. B. *Mycoplasma*
- 2.1.7 Bakterielle Genetik: Parasexualität (inkl. Bakteriophagen), Plasmide, Grundzüge der Antibiotika-Resistenz

### 2.2 Pilze<sup>1</sup>

- 2.2.1 Bau der Zelle, Zellwand
- 2.2.2 Ökologische und biotechnologische Bedeutung von Pilzen
- 2.2.3 Ascomycota: Biologie sowie pharmazeutische und medizinische Bedeutung von z. B. *Aspergillus*, *Candida*, *Claviceps*, *Penicillium*, *Saccharomyces*
- 2.2.4 Basidiomycota: Biologie und Toxizität von z. B. *Amanita*

### 2.3 Parasitische Protozoen

Biologie medizinisch relevanter Protozoen, z. B. *Entamoeba*, *Leishmania*, *Plasmodium*, *Toxoplasma*, *Trypanosoma*

### 2.4 Parasitische Würmer<sup>1</sup>

Biologie medizinisch relevanter Bandwürmer (z. B. *Echinococcus multilocularis*), Fadenwürmer (z. B. *Trichinella spiralis*), Saugwürmer (z. B. *Schistosoma*)

### 2.5 Viren

- 2.5.1 Aufbau von Virionen, virale Genome, virale Replikation
- 2.5.2 Merkmale und Pathogenität von z. B. Herpes-, Picorna-, Hepadna-, Orthomyxo-Viren
- 2.5.3 Retroviren, z. B. HIV
- 2.5.4 Infektiöse Makromoleküle: Prionen, Viroide

<sup>1</sup> Der Praxis von Lehrbüchern der Mikrobiologie folgend, werden nicht nur Mikroorganismen im engeren Sinne, sondern auch Pilze und parasitische Würmer in diesem Fach subsumiert.

## **3 Genetik**

### **3.1 Funktion von DNA, Struktur prokaryotischer und eukaryotischer Gene**

### **3.2 Struktur und Funktionen der verschiedenen RNA-Spezies**

### **3.3 Genetischer Code**

### **3.4 Replikation von DNA**

### **3.5 Transkription von DNA**

### **3.6 Prozessierung von RNA**

### **3.7 Translation von mRNA (inkl. co- und posttranslationale Protein-Modifikationen)**

### **3.8 Regulation von Transkription und Translation (inkl. RNA-Interferenz, Mikro-RNA)**

### **3.9 Zellzyklus (inkl. Interphase, Mitose-Phasen, Cytokinese) und dessen Regulation**

### **3.10 Meiose, Kernphasenwechsel**

### **3.11 Mitochondriale und plastidäre Vererbung („plasmatische“ Vererbung)**

### **3.12 Mutationen**

#### **3.12.1 Somatische Mutationen, Keimbahnmutationen**

#### **3.12.2 Punktmutationen (inkl. Leseraster-Mutation)**

#### **3.12.3 Chromosomen-Mutationen**

3.12.3.1 Strukturelle Chromosomenaberrationen

3.12.3.2 Numerische Chromosomenaberrationen

#### **3.12.4 Mobile genetische Elemente**

#### **3.12.5 Reparaturmechanismen**

### **3.13 Somatische Rekombination: Antigenrezeptoren, Antikörper**

### **3.14 Grundzüge der Epigenetik**

### **3.15 Grundlagen molekularbiologischer Methoden**

z. B. DNA-Sequenzierung, Polymerasekettenreaktion (*PCR*), DNA-Klonierung, Klonierungsvektoren, cDNA, Expressionssysteme für rekombinante Proteine, Genom-Editierung

## 4 Biochemie

### 4.1 Biokatalysatoren

- 4.1.1 Enzyme: Wirkweise, Enzymklassen, Cofaktoren
- 4.1.2 Enzymkinetik, Modulation der Enzymaktivität
- 4.1.3 RNA-Biokatalysatoren: Ribozyme

### 4.2 Grundstoffwechsel („Primärstoffwechsel“)

- 4.2.1 Bildung und Mobilisierung von Speicherpolysacchariden
- 4.2.2 Verwertung von Glucose
  - 4.2.2.1 Hexosemonophosphatweg (Pentosephosphatweg)
  - 4.2.2.2 Glykolyse
- 4.2.3 Oxidative Pyruvatdecarboxylierung
- 4.2.4 Citratzyklus, anaplerotische Reaktionen
- 4.2.5 Atmungskette
- 4.2.6 Gluconeogenese (ausgehend von Pyruvat, Oxalacetat, Lactat)
- 4.2.7 Grundzüge des Fettsäurestoffwechsels
  - 4.2.7.1 Biosynthese von Fettsäuren und Glycerolipiden
  - 4.2.7.2  $\beta$ -Oxidation von Fettsäuren
- 4.2.8 Grundzüge des Aminosäurestoffwechsels
- 4.2.9 Biochemie der Ernährung: Zusammenhänge zwischen Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsel

### 4.3 Spezielle pflanzliche und mikrobielle Stoffwechselprozesse (inkl. „Sekundärstoffwechsel“)

- 4.3.1 Photoautotrophie
  - 4.3.1.1 Oxygene Photosynthese und Calvin-Zyklus
  - 4.3.1.2 Assimilation von Nitrat und Sulfat
- 4.3.2 Chemoautotrophie: Chemosynthese und Calvin-Zyklus
- 4.3.3 Stickstoff-fixierende Organismen
- 4.3.4 Energiegewinnung ohne Atmungskette: Gärungen (inkl. Milchsäure- und Ethanol-Gärung in eukaryotischen Zellen)
- 4.3.5 Glyoxylatzyklus und Gluconeogenese in Pflanzen
- 4.3.6 Grundbausteine, Strukturtypen, Verbreitung pflanzlicher „Sekundärstoffe“
  - Alkaloide, cyanogene Glykoside, Glucosinolate, Phenylpropanoide, Polyine, Polyketide, Terpene

## 5 Phytopharmazie

### 5.1 Grundzüge der Phylogenie der Grünen Landpflanzen (Embryophyten): Moose (Bryophyten), Farnpflanzen (Pteridophyten), Samenpflanzen (Spermatophyten)

### 5.2 Samenpflanzen (Spermatophyten)

#### 5.2.1 Histologie

- 5.2.1.1 Meristeme
- 5.2.1.2 Parenchyme
- 5.2.1.3 Epidermis, Rhizodermis
- 5.2.1.4 Leitgewebe, Leitbündel
- 5.2.1.5 Sklerenchym, Kollenchym
- 5.2.1.6 Exkretionsgewebe

#### 5.2.2 Morphologie

- 5.2.2.1 Wurzel: primärer Bau, sekundäres Dickenwachstum
- 5.2.2.2 Sprossachse: primärer Bau, sekundäres Dickenwachstum
- 5.2.2.3 Laubblatt
- 5.2.2.4 Blüte, sexuelle Fortpflanzung der Angiospermen, Frucht, Samen

#### 5.2.3 Arzneipflanzen und Giftpflanzen der genannten Taxa (siehe rechte Spalte<sup>2</sup>): Merkmale (chemische und morphologische) sowie Verwendung bzw. Wirkung

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 5.2.3.1 Gymnospermen: Pinales:   | 5.2.3.1.1 Pinaceae                     |
| 5.2.3.2 Magnoliiden: Laurales:   | 5.2.3.2.1 Lauraceae                    |
|                                  | Piperales: 5.2.3.2.2 Piperaceae        |
| 5.2.3.3 Monokotyle Angiospermen: |  |
|                                  | Liliales: 5.2.3.3.1 Colchicaceae       |
|                                  | Asparageles: 5.2.3.3.2 Asphodelaceae   |
|                                  | 5.2.3.3.3 Amaryllidaceae: Allioideae   |
|                                  | Zingiberales: 5.2.3.3.4 Zingiberaceae  |
|                                  | Poales: 5.2.3.3.5 Poaceae              |
| 5.2.3.4 Eudikotyle Angiospermen: |  |
|                                  | Ranunculales: 5.2.3.4.1 Papaveraceae   |
|                                  | 5.2.3.4.2 Ranunculaceae                |
|                                  | Fabales: 5.2.3.4.3 Fabaceae            |
|                                  | Rosales: 5.2.3.4.4 Rosaceae            |
|                                  | Myrtales: 5.2.3.4.5 Myrtaceae          |
|                                  | Sapindales: 5.2.3.4.6 Rutaceae         |
|                                  | Malvales: 5.2.3.4.7 Malvaceae          |
|                                  | Brassicales: 5.2.3.4.8 Brassicaceae    |
|                                  | Caryophyllales: 5.2.3.4.9 Polygonaceae |
|                                  | 5.2.3.4.10 Caryophyllaceae             |
|                                  | Ericales: 5.2.3.4.11 Ericaceae         |
|                                  | Gentianales: 5.2.3.4.12 Rubiaceae      |
|                                  | 5.2.3.4.13 Gentianaceae                |
|                                  | 5.2.3.4.14 Apocynaceae                 |
|                                  | Solanales: 5.2.3.4.15 Solanaceae       |
|                                  | Lamiales: 5.2.3.4.16 Plantaginaceae    |
|                                  | 5.2.3.4.17 Lamiaceae                   |
|                                  | Asterales: 5.2.3.4.18 Asteraceae       |
|                                  | Apiales: 5.2.3.4.19 Apiaceae           |

### 5.3 Arzneipflanzen und offizinelle Drogen sowie Giftpflanzen aus anderen als den oben genannten Taxa, inkl. pharmazeutisch relevanter Rotalgen (Rhodophyta) und Braunalgen (Phaeophyceae)

<sup>2</sup> Die In der linken Spalte genannten Ordnungen sind nicht Prüfungsstoff. Vielmehr sollen sie der Orientierung dienen, welchem nächsthöheren Taxon die In der rechten Spalte genannten Familien (bzw. Unterfamilien) jeweils angehören.

## 6 Humanbiologie

### 6.1 Gewebe

**6.1.1 Gewebetypen: Epithelien, Bindegewebe, Nervengewebe, Muskelgewebe; Teilungsaktivität, Erregbarkeit**

**6.1.2 Haut und Hautanhangsgebilde**

**6.1.3 Knochen, Knorpel, Gelenke**

6.1.3.1 Bau artikulierender Gelenke

6.1.3.2 Zellen und Extrazellulärmatrix von Knochen und Knorpel

6.1.3.3 Hormonale Regulation des Calcium- und Phosphat-Stoffwechsels (insbes. Calcitonin, Parathormon, Vitamin-D-Hormon)

### 6.2 Nervensystem

**6.2.1 Zellen des Nervensystems**

6.2.1.1 Typen von Neuronen und Gliazellen und ihre jeweilige Funktion

6.2.1.2 Bau von Neuronen (insbes. Axon, Axonhügel, Dendriten); myelinisierte und nichtmyelinisierte Axone

6.2.1.3 Erregungsbildung und Erregungsleitung (insbes. Aktionspotential, Refraktärzeit; elektrotonische und saltatorische Erregungsleitung)

6.2.1.4 Bau und Funktion von Synapsen (insbes. cholinerge und adrenerge Synapsen, ihre Signaltransduktion sowie cholinerge und adrenerge Rezeptoren (inkl. Subtypen))

**6.2.2 Organisation des Nervensystems**

6.2.2.1 Gliederung des zentralen Nervensystems (Cortex, Zwischenhirn, Mittelhirn, Kleinhirn, funktionelle Anatomie des Rückenmarks; Liquorräume, Blut-Hirn-Schranke)

6.2.2.2 Gliederung des peripheren Nervensystems (Hirnnerven, Spinalnerven, enterisches Nervensystem)

6.2.2.3 Somatisches Nervensystem

6.2.2.3.1 Somatomotorik (insbes. somatomotorischer Cortex, Pyramidenbahn, extrapyramidales System, Motoneurone)

6.2.2.3.2 Somatosensorik (insbes. Verarbeitung von Schmerzreizen)

6.2.2.4 Vegetatives Nervensystem

6.2.2.4.1 Struktur und Funktion von Sympathikus und Parasympathikus

6.2.2.4.2 Wirkungen von Sympathikus und Parasympathikus an vegetativ innervierten Organen

**6.2.3 Sinnesorgane**

6.2.3.1 Auge (insbes. Retina, Akkommodation, Pupille, Kammerwasser)

6.2.3.2 Ohr: Hörorgan und Gleichgewichtsorgan

6.2.3.3 Chemische Sinne: Grundzüge von Geruch und Geschmack

### 6.3 Muskulatur

**6.3.1 Quergestreifte Muskulatur**

6.3.1.1 Vorkommen und Bau quergestreifter Muskulatur

6.3.1.2 Kontraktion von Muskelfasern (insbes. elektromechanische Kopplung)

6.3.1.3 Bau und Funktion der neuromuskulären Endplatte

**6.3.2 Glatte Muskulatur**

6.3.2.1 Vorkommen und Bau glatter Muskulatur

6.3.2.2 Kontraktion von glatten Muskelzellen

6.3.2.3 Funktion glatter Muskulatur in verschiedenen Organen

## 6.4 Herz und Kreislauf

- 6.4.1 Anatomie des Herzens
- 6.4.2 Herzerregung (insbes. Aktionspotentiale und Ionenströme in Schrittmacherzellen und Ventrikelmyokardzellen, Abbildung der elektrischen Erregbarkeit im EKG)
- 6.4.3 Physiologie des Herzens (insbes. Herzmechanik, Sauerstoffversorgung, Energiestoffwechsel, Anpassung an körperliche Belastung)
- 6.4.4 Funktionelle Anatomie des Kreislaufsystems (insbes. kleiner und großer Kreislauf, Pfortaderkreislauf, Lymphsystem)
- 6.4.5 Bau und Funktion des arteriellen und des venösen Systems
- 6.4.6 Blutdruckregulation: intrakardiale, neuronale und hormonale Mechanismen

## 6.5 Blut

- 6.5.1 Bestandteile des Blutplasmas (insbes. Elektrolyte, Proteine, Lipoproteine)
- 6.5.2 Erythrozyten
  - 6.5.2.1 Hämoglobin, Eisenversorgung, Regulation des Blut-pH
  - 6.5.2.2 Erythropoiese
  - 6.5.2.3 AB0-Blutgruppen, Rhesussystem
- 6.5.3 Leukozyten
  - 6.5.3.1 Funktionelle Einteilung der Leukozyten; Phagozyten
  - 6.5.3.2 Grundzüge der physiologischen Entzündungsreaktion
- 6.5.4 Grundzüge der Hämostase: Thrombozytenaggregation, plasmatische Gerinnung, Fibrinolyse

## 6.6 Immunsystem

- 6.6.1 Lymphatische Organe und Gewebe
- 6.6.2 Immunzellen (insbes. Antigenpräsentierende Zellen, B-Lymphozyten, T-Lymphozyten)
- 6.6.3 Angeborene Immunantwort: Zellen, Rezeptoren, humorale Faktoren
- 6.6.4 Adaptive Immunantwort: Zellen, Rezeptoren, humorale Faktoren

## 6.7 Niere

- 6.7.1 Anatomie der Niere und der ableitenden Harnwege
- 6.7.2 Bau und Funktion von Nephronen (insbes. Glomerulus, Filterstruktur, Filtrationsrate, Tubulussystem, juxtaglomerulärer Apparat)
- 6.7.3 Harnbildung (insbes. tubuläre Sekretion und Reabsorption)
- 6.7.4 Regulation der Nierentätigkeit (insbes. tubuloglomeruläre Rückkopplung, Renin-Angiotensin-Aldosteron-System, Adiuretin, natriuretische Peptide)

## 6.8 Respirationstrakt

- 6.8.1 Anatomie der Atemwege und der Lunge
- 6.8.2 Lungenmechanik, Atmungswiderstände
- 6.8.3 Gasaustausch und Lungenperfusion
- 6.8.4 Atemgastransport im Blut (insbes. O<sub>2</sub>-Bindung und ihre Beeinflussung, CO<sub>2</sub>-Transport)
- 6.8.5 Rhythmogenese und Regulation (insbes. respiratorische Neurone, chemische Regelgrößen, Chemosensoren)

## 6.9 Gastrointestinaltrakt

- 6.9.1 Magen-Darm-Kanal**
  - 6.9.1.1 Gliederung
  - 6.9.1.2 Bau und Funktion der Schleimhäute
  - 6.9.1.3 Magensäuresekretion und ihre Regulation
  - 6.9.1.4 Physiologische Steuerung der Motilität
  - 6.9.1.5 Bedeutung des Mikrobioms
- 6.9.2 Leber**
  - 6.9.2.1 Anatomie der Leber
  - 6.9.2.2 Funktion der Leber in Stoffwechsel und Entgiftung
  - 6.9.2.3 Syntheseleistungen der Leber (insbes. Proteine des Blutes)
  - 6.9.2.4 Produktion und Funktion von Gallenflüssigkeit, Regulation der Gallesekretion
- 6.9.3 Pankreas**
  - 6.9.3.1 Endokrine Funktion des Pankreas (insbes. Glucagon, Insulin, Regulation der Insulinfreisetzung)
  - 6.9.3.2 Exokrine Funktion des Pankreas (insbes. Produktion und Aktivierung von Verdauungsenzymen, hormonale Regulation)

## 6.10 Ernährungsphysiologie

- 6.10.1 Bedarf, Aufnahme und Speicherung von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen**
- 6.10.2 Essentielle Nährstoffe: Vitamine, Spurenelemente, Aminosäuren, Fettsäuren**
- 6.10.3 Anpassung des Stoffwechsels an verschiedene Ernährungssituationen**

## 6.11 Hormonsystem

- 6.11.1 Grundzüge hormonaler Regulation (insbes. Regelkreise, Signalwege, Rezeptoren)**
- 6.11.2 Hypothalamus-Hypophysen-System (inkl. Wachstumshormon, Prolactin)**
- 6.11.3 Hormone der Nebennierenrinde: Glucocorticoide, Mineralocorticoide, Androgene; Steuerung der physiologischen Stressreaktion**
- 6.11.4 Schilddrüsenhormone (insbes. Regulation der Freisetzung, Wirkungen von Thyroxin)**

## 6.12 Fortpflanzung

- 6.12.1 Bau und Funktion weiblicher und männlicher Fortpflanzungsorgane**
- 6.12.2 Hormonale Steuerung der Sexualfunktion; Menstruationszyklus**
- 6.12.3 Schwangerschaft (insbes. Funktion der Plazenta, Entwicklung von Embryo und Fötus) sowie Geburtsverlauf und Stillzeit**

# Grundlagen der Physik, der physikalischen Chemie und der Arzneiformenlehre

*(Fächergruppe P1-III)*

Die Fächergruppe III verbindet naturwissenschaftliche Grundlagen der Physik und der physikalischen Chemie mit anwendungsorientierten Aspekten im Bereich der Prüfung von Stoffen und Stoffgemischen sowie der Herstellung von Arzneimitteln.

Kenntnis und Verständnis grundlegender mathematischer, physikalischer, physikalisch-chemischer und physikalisch-pharmazeutischer Zusammenhänge sind für Pharmazeut\*innen die Basis für eigenständiges Beurteilen, kritisches Denken und somit für die Fähigkeit, selbständig Probleme lösen sowie Prozesse optimieren zu können.

Die Relevanz dieser Fächergruppe und ihre Kompetenzvermittlung sind für Biomechanik, Biophysik, und Messungen in pharmazeutischer Verfahrenstechnik, im Rahmen der medizinischen Diagnostik, aber auch bei der Herstellung von Arzneimitteln und bei deren Qualitätsbeurteilung evident. Die Fächergruppe III ist eng mit den Fächergruppen I, II und IV verknüpft.

In der Prüfungsstoffliste der AAppO von 2000 waren die beiden Fachgebiete „Grundlagen der Physik“ und „Grundlagen der physikalischen Chemie“ in integrierter Form behandelt, und dies war auch im entsprechenden Gegenstandskatalog so gehandhabt worden. Diese Struktur wurde auch für den neu bearbeiteten GK-FG III weitgehend beibehalten. Der aktualisierte Gegenstandskatalog behandelt beispielsweise Energieformen und deren Umwandlung ineinander in traditioneller Struktur.

Das Fach „Grundlagen der Arzneiformenlehre“, das insbesondere feste, halbfeste und flüssige Rezeptur- und Defekturarzneimittel thematisiert, wurde dem derzeitigen Entwicklungsstand angepasst und entsprechend detailliert: Studierende sollen in der Lage sein, wichtige Rezepturarzneimittel den pharmazeutischen Regeln konform und die Qualität sichernd herzustellen. Sie kennen die wichtigsten Herstellungsverfahren und die Funktionen und Eigenschaften der neben dem Arzneistoff in einer Arzneiform vorhandenen Hilfsstoffe; sie kennen wichtige Ursachen und Beispiele für Inkompatibilitäten und Instabilitäten. Die Studierenden sind mit den Gerätschaften, die zur Herstellung und ggf. Prüfung der wichtigsten Rezepturarzneimittel und zu deren Qualitätssicherung üblich sind, sowie mit deren Funktionsweise und Handhabung vertraut. Vorgaben zu Hygiene und Laborsicherheit, zu sorgfältigem Arbeiten sowie zu den Grundregeln von Verpackung und Kennzeichnung stellen weitere Aspekte im Bereich der Qualitätssicherung dar.

Für das Erfassen naturwissenschaftlich-technischer Zusammenhänge sind einige mathematische Kenntnisse und Fertigkeiten im Umgang mit einfachen Formeln unabdingbar. Aus der Mathematik-Ausbildung in der Sekundarstufe sollten sie in der Regel bei Studienaufnahme vorhanden sein; andernfalls sind sie spätestens bis zum Ersten Prüfungsabschnitt zu erwerben, z.B. in Lehrveranstaltungen „Mathematik für Pharmazeuten“ o.ä.

#### BESONDERE HINWEISE

Soweit in den Items physikalische Gesetze genannt werden, wird vorausgesetzt, dass der/die Studierende diese auch anwenden kann. Ebenso wird zu jeder behandelten Größe die Kenntnis der zugehörigen gebräuchlichen Einheiten erwartet.

In den Prüfungen findet die Terminologie der gültigen Arzneibücher Anwendung; dementsprechend werden normale Laborbedingungen vorausgesetzt, sofern keine anderen Angaben gemacht werden. Davon zu differenzieren sind ggf. die Definitionen nach DIN 1343 bzw. IUPAC.

Zu erwähnen ist zudem die Neufassung der Definitionen der SI-Basiseinheiten in 2019 (siehe auch Informationen der Physikalisch-technischen Bundesanstalt (PTB)). Nunmehr sind alle SI-Einheiten (Zeit - Sekunde, Länge - Meter, Masse - Kilogramm, elektrische Stromstärke - Ampere, thermodynamische Temperatur - Kelvin, Stoffmenge - Mol, Lichtstärke (gerichtet) - Candela) über Naturkonstanten definiert.

---

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Allgemeine Grundlagen.....</b>	<b>40</b>
1.1	Physikalische Größen und Einheiten .....	40
1.2	Mengenbegriffe – Bezogene Größen.....	40
1.3	Physikalische Messungen – Darstellung – Auswertung.....	40
1.4	Physikalische, physikochemische und pharmazeutische Grundoperationen...	41
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Physik und der physikalischen Chemie.....</b>	<b>42</b>
2.1	Mechanik .....	42
2.2	Wärmelehre und Grundlagen der Thermodynamik.....	45
2.3	Elektrizität und Elektromagnetismus.....	48
2.4	Schwingungen und Wellen .....	51
2.5	Optik .....	52
2.6	Bausteine, Struktur und Eigenschaften der Materie .....	53
2.7	Physikalische und physikochemische Grundlagen ausgewählter „Methoden der Physik und der physikalischen Chemie“ des Arzneibuchs.....	55
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Arzneiformenlehre.....</b>	<b>56</b>
3.1	Allgemeine Grundlagen .....	56
3.2	Rezepturarzneimittel (Spezifika ausgewählter Arznei- und Darreichungsformen) und homöopathische Zubereitungen .....	57
3.3	Relevante Qualitäts(kontroll)kriterien.....	59

## 1 Allgemeine Grundlagen

### 1.1 Physikalische Größen und Einheiten

<b>1.1.1 Physikalische Größen</b>	Darstellung mittels Einheit und Maßzahl
<b>1.1.2 Einheiten</b>	Kenntnis der 7 Basisgrößen und Basiseinheiten des SI (Système International d'Unités); abgeleitete Einheiten: Zusammenhang mit den Basiseinheiten über die Definitions-Größengleichung der abgeleiteten Größe; in Literatur und Praxis verbreitete Einheiten aus anderen Maßsystemen, z.B.: °C, eV, bar, cal
<b>1.1.3 Vielfache und Bruchteile von Einheiten</b>	Vorsilben für dezimale Teile und Vielfache
<b>1.1.4 Skalare und vektorielle Größen</b>	Unterscheidung; Einordnung der von dieser Prüfungsstoffsammlung abgedeckten physikalischen Größen

### 1.2 Mengenbegriffe – Bezogene Größen

<b>1.2.1 Mengenbegriffe</b>	Masse, Volumen, Stoffmenge (Definition, Einheit), Avogadro-Konstante (Größenordnung, Einheit), Teilchenanzahl
<b>1.2.2 Bezogene Größen</b>	Volumenbezogene Größen: Dichte (Definition, Einheit der Massendichte), Teilchenanzahldichte; auch mittlere Dichte von Haufwerken (Pulvern), Porosität und relative Dichte; Stoffmengenbezogene Größen: molare Masse und molares Volumen (Definition, Einheit); Gehalts- und Konzentrationsgrößen, z.B.: Stoffmengenkonzentration (Molarität)

### 1.3 Physikalische Messungen – Darstellung – Auswertung

<b>1.3.1 Mathematische Grundkenntnisse</b>	Grundrechnungsarten, Bruch- und Potenzrechnung; dekadischer und natürlicher Logarithmus; einfache Gleichungen; Kenntnis von Funktionen und deren graphischen Darstellung wie z.B.: einfache trigonometrische Funktionen; Potenzfunktion (auch Wurzelfunktion), Winkelfunktion, Exponentialfunktion; Anwendung linearer und logarithmischer Darstellung (lin. und log. Koordinaten); Eigenschaften ebener und räumlicher geometrischer Körper; Addition und Komponentenzersetzung von Vektoren (graphisch), Skalarprodukt (Prinzip), Vektorprodukt;
--	--

	Differentiation: geometrische Bedeutung des Differentialquotienten, Differentiation der oben genannten Funktionen; Integration: geometrische Bedeutung des Integrals, Integration als Umkehrung der Differentiation (Prinzip)
<b>1.3.2 Graphische Darstellungen</b>	Anfertigung, Gebrauch und Auswertung graphischer Darstellungen; Anwendung linearer und logarithmischer Skalen
<b>1.3.3 Messabweichungen (Messfehler), Messunsicherheiten</b>	Unsicherheiten von Messungen, systematische Messabweichungen (Messfehler), zufällige Messabweichungen (Messfehler), Unsicherheiten bei Zählungen statistischer Ereignisse
<b>1.3.4 Auswertung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten</b>	Graphische Darstellung mit Unsicherheitsbalken; absolute und relative Unsicherheiten (Fehler); Bestimmung der maximalen Unsicherheit einer aus mehreren Messgrößen zusammengesetzten Größe aus den einzelnen Messfehlern; arithmetischer Mittelwert bei Messreihen
<b>1.3.5 Grundlegende Kriterien für statistische Verfahren – Datentransformation</b>	Gaußverteilung (Normalverteilung) der Messdaten, Erwartungswert, Varianz, Standardabweichung; geeignete Datentransformation bei schiefen Daten (Abweichung von Normalverteilung)
<b>1.3.6 Messgeräte und deren Gebrauch</b>	Gebrauch von Maßstäben, Messschiebern (Schieblehren), Uhren, Zählern, Thermometern, Manometern, Messgeräten für elektrische Stromstärke und elektrische Spannung, Oszilloskopen; Messunsicherheit von analog und digital anzeigenden Messgeräten

## 1.4 Physikalische, physikochemische und pharmazeutische Grundoperationen

<b>1.4.1 bei Flüssigkeiten</b>	Lösen, Lösungsvorgang, Löslichkeit, Lösungsmittel, Lösungsgeschwindigkeit, Lösungsvermittlung; Dispergieren, Emulgieren, Suspendieren; Extrahieren, Konzentrieren, Trocknen, Filtrieren
<b>1.4.2 bei Feststoffen</b>	Wägen; Zerkleinern; Verreiben; Trennen; Zentrifugieren, Filtrieren; Mischen; Granulieren
<b>1.4.3 Konservierung, chemische und physikalische Stabilisierung</b>	Grundzüge der Konservierung und Stabilisierung, (z. B. Antioxidantien, Lichtschutz, Viskosierung, pH-Einstellung, Emulgatoren)

## 2 Grundlagen der Physik und der physikalischen Chemie

### 2.1 Mechanik

#### 2.1.1 Kinematik

- |         |                                 |  |
|---------|---------------------------------|--|
| 2.1.1.1 | Geschwindigkeit, Beschleunigung | Definitionen, vektorielle Zusammensetzung von Geschwindigkeiten und Beschleunigungen   |
| 2.1.1.2 | Geradlinige Bewegungen          | Zusammenhang von Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Zeit;<br>einfache Beispiele mit konstanter Beschleunigung  |
| 2.1.1.3 | Rotationsbewegungen             | Zusammenhang von Winkelbeschleunigung, Radialbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Winkel und Zeit;<br>einfache Beispiele mit konstanter Drehzahl (Darstellung mittels Winkelgeschwindigkeit, Kreisfrequenz und Umfangsgeschwindigkeit)                                   |
| 2.1.1.4 | Zeitabhängige Vorgänge          | Nichtperiodische, allgemein-periodische und harmonische Vorgänge, Periodendauer und Frequenz, Einordnung einfacher Beispiele;<br>Überlagerung von harmonischen Schwingungen in einfachen Fällen, Schwingungen gleicher Frequenz und verschiedener Frequenzen (Schwebungen) |
| 2.1.1.5 | Momentanwert und Mittelwert     | Definitionen, Vergleich bei einfachen Vorgängen, z.B. beschleunigte Bewegung, harmonischer Vorgang   |

#### 2.1.2 Dynamik

- |         |                         |   |
|---------|-------------------------|---|
| 2.1.2.1 | Kräfte                  | Vektorielle Addition von Kräften, Zerlegung einer Kraft in Komponenten vorgegebener Richtung (Kräfteparallelogramm)   |
| 2.1.2.2 | Newton'sche Prinzipien  | Trägheitsprinzip;<br>Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung;<br>Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung (actio = reactio)                                  |
| 2.1.2.3 | Kräfte und Bewegungen   | Einfache Beispiele (konstante Beschleunigung oder Verzögerung);<br>Zusammenhang von Masse und Gewichtskraft, Fallbeschleunigung, freier Fall; Reibungskräfte (Richtung, Bremswirkung) |
| 2.1.2.4 | Drehmoment, Hebelgesetz | Zusammenhang des Drehmoments mit Kraft und Hebelarm, Gleichgewichtsbedingung, Behandlung einfacher Beispiele, z.B. Hebel, Waage   |
| 2.1.2.5 | Fliehkraft              | Betrag und Richtung der Zentrifugalkraft einer gleichförmigen Kreisbewegung;<br>Zentrifuge  |
| 2.1.2.6 | Kräfte und Verformungen | Zusammenhang zwischen Kraft und Längenänderung einer elastischen Feder (Federkonstante), Hooke'sches Gesetz, Spannungs-Dehnungs Diagramm;<br>plastische Verformungen                  |

### 2.1.3 Energie, Leistung, Impuls – Erhaltungssätze von Energie und Impuls

2.1.3.1	Arbeit, Energie	Zusammenhang mit Kraft und Weg, auch bei nicht konstanter Kraft und für den Fall, dass die Kraft nicht parallel zum Weg angreift; kinetische Energie der Translation und Rotation; potentielle Energie, Berechnung einfacher Beispiele wie senkrechte Bewegung im Schwerfeld (Hubarbeit); Bewegung auf der schiefen Ebene; Verformung einer Feder
2.1.3.2	Energieerhaltungssatz	Kinetische Energie der Translation; einfache Anwendungen des Energieerhaltungssatzes aus der Mechanik (Energieformen und ihre Umwandlungen für die senkrechte Bewegung im Schwerfeld, Energieformen und ihr periodischer Wechsel beim Federpendel), Einfluss der Reibung (Prinzip)
2.1.3.3	Leistung	Zusammenhang mit Energie, Arbeit und Zeit
2.1.3.4	Impuls, Impulserhaltungssatz	Zusammenhang mit Masse und Geschwindigkeit; vektorielle Darstellung; Anwendung auf einfache elastische und unelastische zentrale Stöße
2.1.3.5	Drehimpuls, Drehimpulserhaltungssatz	Zusammenhang mit Trägheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit; Drehimpulserhaltungssatz

### 2.1.4 Mechanik ruhender Flüssigkeiten und Gase (Fluide)

2.1.4.1	Druck	Schweredruck und Stempeldruck, auch Gesamtdruck in einem flüssigkeitsgefüllten Behälter
2.1.4.2	Druckmessung	Druckmessung mittels üblicher Manometer; Darstellung einfacher Fälle, speziell auch am U-Rohr-Manometer
2.1.4.3	Hydraulische Anordnungen	Druckerzeugung mittels Kolben; Zusammenhänge für Druck, Kraft, Weg und Energie (Arbeit), z.B. bei der hydraulischen Presse
2.1.4.4	Auftrieb	Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen, archimedisches Prinzip; Bedingungen für Schwimmen und Schweben
2.1.4.5	Dichte	Gravimetrisch (Auftrieb, Verdrängung); einfache Beispiele: Messung mittels Aräometer bzw. Mohr'scher Waage; Pyknometer-Methode; Messung an Festkörpern mittels Schwebemethode; Biegeschwinger-Methode
2.1.4.6	Partialdruck	Gesamtdruck und Partialdruck bei Gasgemischen

### 2.1.5 Mechanik bewegter Flüssigkeiten und Gase (Fluide)

2.1.5.1	Kontinuitätsbedingung	Prinzip, Anwendung auf Massen-, Stoffmengen- und Volumenstrom
2.1.5.2	Bernoulli'sche Beziehung	Grundzüge, Begriff des Staudrucks
2.1.5.3	Viskosität	Begriff der dynamischen Viskosität; Temperaturabhängigkeit (qualitativ); Charakteristik einer Newton'schen Flüssigkeit; Charakteristik einer Nicht-Newton'schen Flüssigkeit, Beispiele
2.1.5.4	Strömungswiderstand	Definition als Druckdifferenz/Volumenstrom; Strömungsleitwert; Druckdifferenz-Volumenstrom-Diagramm; Serien- und Parallelschaltung von Rohrleitungen, Analogie zu Kirchhoff'schen Regeln
2.1.5.5	Hagen-Poiseuille'sches Gesetz	Anwendungsvoraussetzungen: laminare Strömung, Newton'sche Flüssigkeit; Zusammenhang mit Abmessungen, Druckdifferenz und Viskosität; Anwendung beim Kapillarviskosimeter
2.1.5.6	Stokes'sche Beziehung	Zusammenhang zwischen Abmessungen, Geschwindigkeit und Reibungskraft einer sinkenden Kugel; Anwendung beim Kugelfallviskosimeter
2.1.5.7	Sedimentation	Sedimentation im Schwerfeld; Wirkung der Zentrifuge
2.1.5.8	Rheologie	Grundlagen

### 2.1.6 Grenzflächeneffekte

2.1.6.1	Grenzflächenspannung	Oberflächenspannung, Darstellung als Flächendichte der Grenzflächenenergie und als Kraft pro Länge an einer Berandung; Temperaturabhängigkeit (qualitativ); Wirkung von Tensiden
2.1.6.2	Zwischenmolekulare Kräfte	Zusammenhang mit Grenzflächeneffekten (qualitativ), Kohäsion, Adhäsion, Benetzung, Spreitung, Adsorption, Desorption, Adsorptions- und Desorptionswärme
2.1.6.3	Grenzflächeneffekte flüssig/fest	Kapillarität, Zusammenhang von Aszension oder Depression mit Oberflächen- und Grenzflächenenergie, Randwinkel (Benetzungswinkel) und seine Abhängigkeiten (qualitativ)
2.1.6.4	Bestimmung der Grenzflächenspannung	Abreißmethode (Tensiometer), Stalagmometer, Kapillarmethode

## 2.2 Wärmelehre und Grundlagen der Thermodynamik

### 2.2.1 Allgemeine Aspekte

- |         |                   |  |
|---------|-------------------|--|
| 2.2.1.1 | Temperatur        | Temperatur als eine den Zustand der Materie kennzeichnende Größe;<br>Skalen:<br>absolute Temperatur, Celsius-Temperatur, Umrechnung zwischen Temperaturwerten dieser Skalen  |
| 2.2.1.2 | Temperaturmessung | Ausdehnungsthermometer (Flüssigkeitsthermometer, Bimetallanordnung);<br>Thermoelement, Aufbau, Schaltung und Funktionsweise (Grundzüge);<br>Widerstandsthermometrie mit Metall oder Halbleiter-Fühlern (Grundzüge) |
| 2.2.1.3 | Wärme             | Wärme als Form der Energie   |

### 2.2.2 Thermische Eigenschaften der Materie

- |         |                       |  |
|---------|-----------------------|--|
| 2.2.2.1 | Thermische Dehnung    | Lineare Darstellung für Längen- und Volumenausdehnung  |
| 2.2.2.2 | Materialeigenschaften | Temperaturabhängigkeit (qualitativ) von:<br>Dichte (auch Anomalie von Wasser), Viskosität, elektrischem Widerstand von Metallen, Halbleitern und wässrigen Elektrolyten  |
| 2.2.2.3 | Ideale Gase           | Allgemeine thermische Zustandsgleichung;<br>Spezialfälle:<br>Boyle-Mariotte'sches Gesetz (Anwendung insbesondere bei Druckgaszylinder und bei der Druckerniedrigung in geschlossenen Gefäßen, Bedeutung des Produktes Druck mal Volumen);<br>Gay-Lussac'sche Gesetze; Isotherme, Isobare, Isochore (Adiabate s. 2.2.3) |
| 2.2.2.4 | Reale Gase            | Abweichung vom Modell des idealen Gases, Begründung (qualitativ);<br>Verflüssigung von Gasen   |
| 2.2.2.5 | Thermische Bewegung   | Thermische Bewegung von Atomen und Molekülen in Flüssigkeiten und Gasen;<br>Geschwindigkeitsverteilung (qualitativ);<br>qualitativer Zusammenhang mit der Temperatur bei Gasen;<br>Brown'sche Bewegung   |

### 2.2.3 Wärme und Wärmekapazität der Materie; Thermodynamik

- |         |                   |   |
|---------|-------------------|---|
| 2.2.3.1 | Wärmekapazität    | Wärmekapazitäten, spezifische Wärmekapazität; molare Wärmekapazität $C_{mp}$ und $C_{mv}$ , Bedeutung der Differenz ( $C_{mp} - C_{mv}$ ), Wert für ideale Gase |
| 2.2.3.2 | Messung von Wärme | Kalorimetrische Bestimmung;<br>Messung der spezifischen Wärmekapazität  |

2.2.3.3	1. Hauptsatz	Inhalt (quantitativ) sowie Bedeutung als Form des Energieerhaltungssatzes; Begriff der inneren Energie als Zustandsfunktion; Anwendung auf ideale Gase: Allgemeine (kalorische) Zustandsgleichung
2.2.3.4	Adiabatischer Prozess	Grundzüge; unterschiedliches Verhalten idealer Gase bei einfachen adiabatischen und isothermen Prozessen
2.2.3.5	Kreisprozesse	Definition; reversible Prozesse und Kreisprozesse; Carnot'scher Wirkungsgrad
2.2.3.6	2. Hauptsatz	Allgemeine Aussagen; einfache Beispiele für irreversible Prozesse
2.2.3.7	Entropie	Entropie als Zustandsfunktion; Zusammenhang mit der (reversibel) zugeführten Wärmeenergie und der absoluten Temperatur; Verhalten bei reversiblen Zustandsänderungen eines idealen Gases
2.2.3.8	Weitere Zustandsgrößen und charakteristische Funktionen	Innere Energie, Freie Energie, Enthalpie, Freie Enthalpie; Änderung von Zustandsgrößen bei isobaren, isothermen, isochoren und adiabatischen Prozessen
<b>2.2.4 Wärmeübertragung</b>		
2.2.4.1	Wärmeleitung	Zusammenhang der Wärmeleitung mit Temperaturdifferenz, Materialeigenschaften und Abmessungen (Grundzüge); Möglichkeit der Wärmedämmung (Isolierung)
2.2.4.2	Konvektion	Grundzüge der Wärmeübertragung durch Konvektion
2.2.4.3	Strahlung	Wärmeübertragung durch Strahlung (Grundzüge), Möglichkeit der Isolierung
<b>2.2.5 Aggregatzustände der Materie und deren Änderung – Phasendiagramme</b>		
2.2.5.1	Aggregatzustände	Charakterisierung der Aggregatzustände bezüglich Anordnung und Beweglichkeit der Teilchen
2.2.5.2	Änderung des Aggregatzustandes	Atomistisches Bild der Umwandlung zwischen Aggregatzuständen; Siedeverzug bei Flüssigkeiten, Übersättigung von Dampf, Unterkühlung von Schmelzen; Bestimmung von Übergangstemperaturen, z.B. Siede- bzw. Kondensationstemperatur, Siedebereich, Schmelz- bzw. Erstarrungstemperatur
2.2.5.3	Umwandlungswärmen	Spezifische und molare Umwandlungswärmen, ungefähre Werte bei Wasser

2.2.5.4	Dampfdruck – Phasendiagramme	Temperaturabhängigkeit des Sättigungsdampfdruckes reiner Flüssigkeiten (Einstoffsysteme, qualitativ) im $p$ - $T$ -Diagramm (auch Tripelpunkt und kritischer Punkt, insbesondere von Wasser); Prinzip von Autoklaven, z. B. für die Dampfdrucksterilisation; Volumenunabhängigkeit des Sättigungsdampfdruckes; relative Luftfeuchte, Taupunkt
<b>2.2.6 Phasen, Systeme, Mehrphasensysteme, Trennung von Mehrphasensystemen</b>		
2.2.6.1	Begriffe	Phasen, Stoff (Komponente), Modifikationen, Aggregatzustände
2.2.6.2	Gleichgewichtssysteme	Phasengleichgewichte, Gibbs'sche Phasenregel
2.2.6.3	Phasengleichgewichte in Zweikomponenten-Systemen mit mindestens einer Mischphase	Ideale Lösungen, Dampfdruckerniedrigung, Siedepunktserhöhung und Gefrierpunktniedrigung (Darstellung im Dampfdruckdiagramm); Destillation; Raoult'sches Gesetz, Henry'sche Regel, Bestimmung relativer Molekülmassen; osmotischer Druck und seine Bestimmung (Pfeffer'sche Zelle); van 't Hoff'sches Gesetz; Nernst'scher Verteilungssatz, Verteilungskoeffizient
2.2.6.4	Schmelzdiagramme	Schmelzdiagramme einfacher binärer und ternärer Systeme; partielle Mischungslücken, Eutektika
2.2.6.5	Löslichkeit	Einflussgrößen: Ionenstärke, Aktivität, Aktivitätskoeffizient
<b>2.2.7 Kinetik der Diffusion und Verteilung</b>		
2.2.7.1	Stofftransport	Diffusion, Diffusionsgeschwindigkeit
2.2.7.2	Diffusionsgesetze	1. Fick'sches Gesetz: Geschwindigkeitsgleichung (Grundzüge), Diffusionskoeffizient und seine Bestimmung; prinzipielle Aussage des 2. Fick'schen Gesetzes
2.2.7.3	Diffusion durch Membranen	Schichtenmodell, Fließgleichgewicht; Grundkenntnisse zur Osmose
2.2.7.4	Lösungsgeschwindigkeit	Auflösung fester Stoffe

## 2.3 Elektrizität und Elektromagnetismus

### 2.3.1 Elektrische Ladungen und Felder, Kapazität

2.3.1.1	Ladungen	Elektrische Ladungen; Begriff der Elementarladung, Zusammenhang mit Faraday- und Avogadro-Konstante
2.3.1.2	Coulomb'sches Gesetz	Kräfte zwischen Punktladungen (auch Einfluss eines Dielektrikums des umgebenden Mediums; Dielektrizitätszahl, elektrische Feldkonstante)
2.3.1.3	Elektrische Feldstärke	Elektrisches Feld in der Umgebung einer Ladung und eines Dipols; Feldlinienanordnung für Kugel- und Plattenkondensatoren; qualitativer Zusammenhang zwischen Feldlinienbild und Feldstärke; Feldlinien und Äquipotentiallinien; Elektrisches Feld an der Oberfläche von metallischen Leitern, Oberflächenladungen
2.3.1.5	Faraday-Käfig	Wirkungsweise
2.3.1.6	Elektrischer Dipol	Definition des Dipolmoments, Wirkungen eines homogenen bzw. eines inhomogenen elektrischen Feldes auf einen elektrischen Dipol (Grundzüge)
2.3.1.7	Kapazität, Kondensatorschaltungen	Zusammenhang von Kapazität, Ladung und Spannung; Beziehungen für Parallel- und Serienschaltung von Kondensatoren
2.3.1.8	Plattenkondensator	Kapazität eines Plattenkondensators, Zusammenhang mit Plattenfläche und -abstand sowie Einfluss des Dielektrikums zwischen den Platten; Dielektrizitätszahl, elektrische Feldkonstante; Grundzüge der Polarisierung des Dielektrikums; Zusammenhang der Energie des geladenen Kondensators mit Kapazität, Spannung und Ladung

### 2.3.2 Stromstärke und Spannung

2.3.2.1	Stromstärke, Spannung	Einheiten; Zusammenhang der Stromstärke mit Ladung und Zeit; Stromdichte; Wirkungen des elektrischen Stroms; Spannung als Potentialdifferenz
2.3.2.2	Leistung, Energie	Zusammenhänge mit Stromstärke, Spannung, Widerstand, Zeit
2.3.2.3	Stromstärke- und Spannungsmessung	Schaltung gebräuchlicher Messinstrumente; Messfehler bei zu berücksichtigendem Innenwiderstand (Eingangswiderstand)

2.3.2.4	Quellenspannung, Innenwiderstand	Zusammenhang von Leerlaufspannung (Quellenspannung), Innenwiderstand und Klemmenspannung, Zusammenschaltung mehrerer Spannungsquellen
---------	----------------------------------	---

### 2.3.3 Elektrischer Widerstand und elektrische Stromkreise

2.3.3.1	Widerstand, Leitwert	Zusammenhang mit Stromstärke und Spannung; spezifischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit; Widerstand bei zylindrischen Leitern (Zusammenhang mit spezifischem Widerstand und Abmessungen)
2.3.3.2	Ohm'sches Gesetz	Proportional-Charakteristik und davon abweichendes Verhalten, z.B.: glühender Metalldraht in inertem Gas oder Vakuum (Modell Glühlampe), Elektrolysezelle
2.3.3.3	Kirchhoff'sche Regeln	Knotenregel, Maschenregel, einfache Anwendungen, insbesondere mit Serien- und Parallelschaltungen von Widerständen; Kombination mehrerer Widerstände, Analogie zu strömenden Flüssigkeiten
2.3.3.4	Widerstandsmessung	Gängige Methoden der Messung von Widerständen (Schaltung, Funktionsweise)
2.3.3.5	Potentiometer, Kompensationsmethode	Potentiometerschaltung (Spannungsteiler); leistungslose Spannungsmessung durch Kompensation

### 2.3.4 Ladungstransport in Materie und Vakuum, Anwendungen

2.3.4.1	Metalle	Bewegliche Elektronen in Metallen, Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes (qualitativ)
2.3.4.2	Schema der Energiebänder	Valenz- und Leitungsbänder bei Metallen, Halbleitern und Isolatoren
2.3.4.3	Halbleiter	Grundzüge des Ladungstransportes in Halbleitern, Temperaturabhängigkeit des Widerstandes
2.3.4.4	Elektrolyte	Grundzüge des Ladungstransportes in wässrigen Elektrolyten
2.3.4.5	Gase	Ionisation durch Strahlung; Stoßionisation; Prinzip der Rekombination
2.3.4.6	Thermische Elektronenemission	Grundzüge (Glühemission); Austrittsarbeit

### 2.3.5 Grundzüge der Elektrochemie – Speicherung elektrischer Energie

2.3.5.1	Elektrische Eigenschaften wässriger Elektrolyte	Elektrolytische Dissoziation, Solvation, Faraday'sches Gesetz, Verknüpfung von Ladungs- und Materietransport; Faraday-Konstante, Leitfähigkeit; Konduktometrie; Elektrophorese
2.3.5.2	Starke Elektrolyte	Aktivität, Aktivitätskoeffizient; Ionenstärke und ihr Einfluss auf die Reaktionskinetik; Kohlrausch-Gesetz

2.3.5.3	Schwache Elektrolyte	Dissoziation, Dissoziationsgrad, Ionengleichgewicht, Aciditätskonstante, pKa-Wert, Puffergleichung von Henderson-Hasselbalch, Pufferkapazität
2.3.5.4	Elektrochemische Zellen/Ketten	Quellenspannung, Anwendungen der Nernst'schen Gleichung, Messung; Elektrodentypen; Spannungsreihe, Elektrolyse, elektrochemische Abscheidung
2.3.5.5	Speicherung elektrischer Energie	Beispiele von Batterien und Akkumulatoren; Prinzipielles Funktionsprinzip einfacher Beispiele
2.3.5.6	Elektrische Phänomene an Grenzflächen, qualitativ	Elektrische Doppelschicht; Nernstpotential, Zetapotential
<b>2.3.6 Elektromagnetismus</b>		
2.3.6.1	Magnetische Felder	Magnetisches Feldlinienbild bei geradem stromdurchflossenem Leiter (Umgebung), bei Stabmagnet, bei stromdurchflossener Zylinderspule; Wirkung eines Magnetfeldes (homogen und inhomogen) auf einen Stabmagneten (Dipol)
2.3.6.2	Magnetische Feldgrößen	Magnetische Feldstärke, magnetischer Fluss, Flussdichte und deren Verknüpfung
2.3.6.3	Lorentzkraft	Kraft auf ein geladenes Teilchen bei Bewegung senkrecht zum Magnetfeld; Kraft auf stromdurchflossene Leiter bei Stromrichtung senkrecht zum Magnetfeld
2.3.6.4	Elektromagnetische Induktion	Induktionsgesetz, Selbstinduktion
2.3.6.5	Transformator	Spannungs- und Stromstärkeübersetzung beim idealen Transformator
<b>2.3.7 Wechselstrom</b>		
2.3.7.1	Sinusförmige Größen	Sinusförmige Verläufe von Stromstärke oder Spannung, Phasendifferenz
2.3.7.2	Effektivwert	Effektivwert bei sinusförmigen Stromstärke- oder Spannungsverläufen
2.3.7.3	Wechselstromwiderstand	Induktiver und kapazitiver Widerstand, Frequenzabhängigkeit
2.3.7.4	Elektrischer Schwingkreis	Prinzipielle Funktion von Spule und Kondensator; Eigenfrequenz, Resonanz

## 2.4 Schwingungen und Wellen

### 2.4.1 Allgemeines über Schwingungen

2.4.1.1	Darstellung	Darstellung harmonischer Schwingungsvorgänge (quantitativ)
2.4.1.2	Schwingungsenergie	Periodischer Wechsel zwischen verschiedenen Energieformen am Beispiel Federpendel und elektrischer Schwingkreis
2.4.1.3	Schwingungsfähige Systeme	Eigenfrequenz von elektrischem Schwingkreis und Federpendel, Resonanz schwingungsfähiger Systeme
2.4.1.4	Gedämpfte Schwingungen	Schematische Darstellung einfacher Einschwing- und Abklingvorgänge

### 2.4.2 Allgemeine Grundlagen und Eigenschaften von Wellen

2.4.2.1	Ausbreitung	Zusammenhang von Ausbreitungsgeschwindigkeit, Frequenz und Wellenlänge; Abhängigkeit dieser Größen vom Medium; Definition der Wellenzahl; Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im Vakuum
2.4.2.2	Darstellung	Raum- und Zeitdarstellung von sinusförmigen Wellen
2.4.2.3	Schwingungsformen	Transversale und longitudinale Wellen (schematisch); Beispiele (elektromagnetische Wellen, Schallwellen); Lichtpolarisation
2.4.2.4	Interferenz	Huygens'sches Prinzip; Überlagerung zweier Wellenzüge, konstruktive und destruktive Interferenz, Voraussetzungen für vollständige Auslöschung; Grundzüge der Interferenz am optischen Strichgitter
2.4.2.5	Ausgewählte Aspekte der Akustik	Biomedizinische und diagnostische Anwendungen von Schall: Sonografie, Ultraschall-Doppler-Verfahren, Schallemissionsanalyse; Anwendung zur Herstellung stabiler Emulsionen oder von Dispersionen

## 2.5 Optik

### 2.5.1 Allgemeine Eigenschaften des Lichtes

- |         |                      |  |
|---------|----------------------|--|
| 2.5.1.1 | Modellvorstellungen  | Wellen- und Korpuskular-Beschreibung des Lichtes;<br>Licht als elektromagnetische Welle  |
| 2.5.1.2 | Lichtgeschwindigkeit | Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wert für Vakuum;<br>Zusammenhang mit der Brechzahl der Materie,<br>Definition der Brechzahl;<br>Zusammenhang von Ausbreitungsgeschwindigkeit,<br>Frequenz und Wellenlänge;<br>Abhängigkeit dieser Größen vom Medium |
| 2.5.1.3 | Spektralbereiche     | Spektrum elektromagnetischer Strahlung, sichtbarer<br>Spektralbereich, ungefährige Wellenlängen;<br>an den sichtbaren Bereich angrenzende Spektral-<br>bereiche  |
| 2.5.1.4 | Quantenstrahlung     | Zusammenhang von Quantenenergie und Frequenz;<br>Photoeffekt (Grundzüge); Ionisation (Grundzüge)   |

### 2.5.2 Geometrische Optik

- |         |                        |   |
|---------|------------------------|---|
| 2.5.2.1 | Lichtbündel            | Parallelbündel, Erzeugung mittels Blende und Linse;<br>divergentes und konvergentes Bündel  |
| 2.5.2.2 | Reflexion und Brechung | Reflexionsgesetz, geometrische Zusammenhänge;<br>Brechungsgesetz, Brechzahl (Messung mittels<br>Refraktometrie;<br>Dispersion der Brechzahl;<br>Totalreflexion, Bedingungen des Auftretens;<br>Anwendung z.B. Lichtleiter (Glas- oder<br>Kunststofffaserkabel) für:<br>Endoskopie, optische Informationsübertragung |
| 2.5.2.3 | Spiegel                | Abbildung am ebenen Spiegel und am sphärischen<br>Hohlspiegel   |
| 2.5.2.4 | Linsen                 | Sammel- und Zerstreuungslinsen, Abbildung mit<br>(dünnen) Linsen, Bildkonstruktion, Abbildungsformel,<br>Verhältnis Bildgröße zu Gegenstandsgröße;<br>Linsensysteme aus zwei dicht zusammengefügt<br>dünnen Linsen;<br>Brechwert und Brennweite   |

### 2.5.3 Optische Einrichtungen und Systeme

- |         |              |   |
|---------|--------------|---|
| 2.5.3.1 | Vergrößerung | Winkelvergrößerung, Sehwinkel, (konventionelle)<br>deutliche Sehweite |
| 2.5.3.2 | Lupe         | Strahlengang, Vergrößerung  |

2.5.3.3	Lichtmikroskop	Funktion des Objektivs und des Okulars, Zusammenhang von Vergrößerung und Brennweiten von Objektiv und Okular; Okularmikrometer, Eichung mittels Objektmikrometer; Auflösungsvermögen, qualitative Abhängigkeit von Wellenlänge, Apertur und Immersionsflüssigkeit
2.5.3.4	Spektralapparat	Prismen- und Gitterspektrometer, Aufbau und Strahlengang; Handhabung für die Spektralanalyse (Eichung, Vergleichsmessungen)
2.5.3.5	Monochromatoren	Spektralfilter; Prismen- und Gittergeräte (vereinfachtes Schema) für ultraviolettes, sichtbares und infrarotes Licht
<b>2.5.4 Polarisierung des Lichtes</b>		
2.5.4.1	Grundlagen	Unpolarisiertes und linear polarisiertes Licht, Unterschied, Beispiele
2.5.4.2	Polarisationseffekte	Brechung und Reflexion, Brewster'sches Gesetz; Grundzüge von Dichroismus, Streupolarisation und Doppelbrechung; Anwendung von Polarisationsfolie
2.5.4.3	Optische Drehung	Abhängigkeit zwischen Drehung der Polarisierungsebene sowie Konzentration des Stoffes, Art des Lösungsmittels, Temperatur, Lichtweglänge und Wellenlänge des Lichtes (Rotationsdispersion)
2.5.4.4	Polarimeter	Einfache Polarimeter, Aufbau und Wirkungsweise; Halbschattenapparat, Aufbau und Arbeitsweise

## 2.6 Bausteine, Struktur und Eigenschaften der Materie

### 2.6.1 Aufbau von Atomen, Molekülen und kristallinen Festkörpern

2.6.1.1	Atome	Aufbau aus Kern und Hülle; Masse und Radius von Atomen und ihren Kernen (Größenordnungen); atomare Masseneinheit; Atommodelle, Grundzüge des Bohr'schen Atommodells
---------	-------	--

2.6.1.2	Atomkerne	Proton, Neutron; Ladung und relative Masse, Vergleich mit Elektron; Kernladungszahl; Kernspin und kernmagnetisches Moment, Anwendungsbeispiele zur Diagnostik: Kernresonanzspektroskopie (Nuclear Magnetic Resonance, NMR); Magnetresonanztomographie (MRT); isotope Nuklide, einfache Beispiele; Symbole zur Darstellung von Kernreaktionen; Erhaltungssätze für Ladung und Nukleonenzahl
2.6.1.3	Moleküle	Aufbau von Molekülen, Beispiele; Molekülschwingungen: Analogie zum Federpendel; Einfluss der Substitution isotoper Nuklide (qualitativ); Molekülrotation
2.6.1.4	Kristalline Festkörper	Einfache räumlich-periodische Anordnungen von Atomen im kubischen Gitter; Schwingungen um „Ruhelagen“ (qualitativ)

## 2.6.2 Emission und Absorption elektromagnetischer Strahlung und von Teilchenstrahlung

2.6.2.1	Energieniveaus und Spektren	Zusammenhang diskreter Energiestufen in Atomen mit den beobachtbaren Spektren im sichtbaren, ultravioletten und Röntgen-Bereich; Linienspektren bei Atomen (Beispiele im Sichtbaren und bei Röntgenstrahlung); Lichtemission bei Elektronenübergängen (qualitativ); Bandenspektren bei Molekülen, Schema der Entstehung; kontinuierliche Spektren
2.6.2.2	Röntgenröhre	Aufbau, Betrieb und Wirkungsweise; Grundzüge der Entstehung von Bremsstrahlung und charakteristischer Strahlung
2.6.2.3	Radioaktivität	Änderung von Ladung und Masse von Atomkernen in Verbindung mit $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Emission, Eigenschaften von $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ -Strahlung; Zerfallsgesetz; Definition der Aktivität; gebräuchliche Darstellungen; Halbwertszeit und mittlere Lebensdauer, Zusammenhang mit dem Zerfallsgesetz
2.6.2.4	Detektoren	Nachweis ionisierender Strahlung mittels Ionisationskammer, Zählrohr, Szintillationszähler (Grundzüge)
2.6.2.5	Absorption von sichtbarem, na- hem ultraviolettem und von infra- rotem Licht (s. PhAna 6.6)	Lambert-Beer'sches Gesetz quantitativ; Absorption [gemäß Arzneibuch $A = \lg(I_0/I)$ ], Abhängigkeit von Schichtdicke und Konzentration; Halbwertdicke; Begriff der Transmission

2.6.2.6	Absorption energiereicher Strahlung	Durchdringungsfähigkeit von $\alpha$ -, $\beta$ - und $\gamma$ - und Neutronenstrahlung in festen Stoffen;  Absorptionsgesetz für $\gamma$ -Strahlung und Röntgenstrahlung in Materie, Abhängigkeit von der Wellenlänge
2.6.2.7	Quadratisches Abstandsgesetz	Abnahme der Strahlungsflussdichte mit wachsendem Abstand von einer punktförmigen Quelle
2.6.2.8	Dosimetrie	Energiedosis, Energiedosisleistung, Ionendosis; gebräuchliche Einheiten
2.6.2.9	Anwendung radioaktiver und stabiler Nuklide zur Therapie und Diagnostik	Grundzüge der Gewinnung radioaktiver Nuklide;  Anwendung von Radionukliden z.B. des Radioisotops $^{99m}\text{Tc}$ zur Radiodiagnostik (Szintigraphie) oder von $^{131}\text{I}$ (zur Stoffwechseluntersuchung);  Radiopharmaka für Tracermethode; Anwendung ionisierender Strahlung zur Sterilisierung von Verbandmaterial und Verpackungen

## 2.7 Physikalische und physikochemische Grundlagen ausgewählter „Methoden der Physik und der physikalischen Chemie“ des Arzneibuchs

2.7.1	<b>Flüssige/halbfeste Phasen bzw. Systeme</b>	Definition; Viskositätsmessung; Kapillar-, Kugelfallviskosimeter; Oberflächenspannung, Bestimmung; Tropfencharakterisierung (Normaltropfenzähler); relative Dichte, Dichteverhältnis (bezüglich Wasser für feste und flüssige Stoffe und Luft für Gase) Klarheit, Opaleszenz, Färbung von Lösungen, Leitfähigkeit (von Lösungen und halbfesten Systemen); Brechzahl (Grenzwinkel der Totalreflexion); Refraktometrie
2.7.2	<b>Feste Systeme</b>	Schmelz-/Erstarrungstemperatur, Dichte, Dichte von Haufwerken; Leitfähigkeit fester Systeme (auch nach DIN)

## 3 Grundlagen der Arzneiformenlehre

### 3.1 Allgemeine Grundlagen

- |   |  |
|---|--|
| <b>3.1.1 Definitionen und Regeln (Rezeptur und Defektur)</b>  | Definition Rezeptur-, Defektur- und Fertigarzneimittel, Standardzulassung, Unterscheidung von Arzneimittel, Arzneiform und Darreichungsform, Droge;<br><br>Kennzeichnung (auch Arzneimittel-Warnhinweisverordnung), Plausibilität, GMP-Regeln, Dokumentation, Arzneibücher, Vorschriftensammlungen (NRF) |
| <b>3.1.2 Wichtige Grund- und Hilfsstoffe in Rezeptur und Defektur</b>   | Eigenschaften, Hydrophilie/Lipophilie, Reinheit, Verträglichkeit, Kompatibilität   |
| <b>3.1.3 Zur Herstellung und Qualitätssicherung erforderliche Geräte</b>  |  |
| <b>3.1.4 Instabilitäten und Inkompatibilitäten bei der Herstellung von Rezeptur- und Defektur-Arzneimitteln</b> | Chemische, physikalische und mikrobiologische Instabilitäten, Wechselwirkung mit Packmitteln;<br><br>lavierte manifeste Unverträglichkeit  |
| <b>3.1.5 Grundzüge der Biopharmazie ausgewählter Arzneiformen</b>   | relevante Parameter in Konzentrations-Zeit-Kurven nach z.B. oraler oder rektaler Applikation;<br><br>Zerfall, Auflösung, Absorption  |

## 3.2 Rezepturarzneimittel (*Spezifika ausgewählter Arznei- und Darreichungsformen*) und homöopathische Zubereitungen

- 3.2.1 „Steckbrief“ der jeweiligen Arzneiform bzw. Darreichungsform** Grundsätzliche Definitionen und Differenzierungen des Arzneibuchs, relevante Hilfsstoffe, Besonderheiten der Arzneiform, Herstellungsverfahren, Qualitätskriterien einschl. mikrobieller Qualität, Primärverpackung, Dosierung, Kennzeichnung, Lagerung, Haltbarkeit, biopharmazeutische Aspekte
- 3.2.2 Feste Arznei- und Darreichungsformen in Rezeptur und Defektur**  
(als Haufwerke in Mehrdosisbehältnissen oder einzeldosiert)
- 3.2.2.1 Pulver und Granulate
- Eigenschaften von Haufwerken (insbesondere Teilchengröße und Haufwerkdichten, spezifische Oberfläche), Siebanalyse;
- Herstellung von Pulvermischungen (Abwiegen, Zerkleinern, Sieben, Mischen, Beeinflussung der Mischgüte, Abteilen);
- Verwendung von Pulvern, Pulver als Zwischenprodukte, Pulver als Darreichungsformen (Monographien Ph. Eur.);
- Eigenschaften und Verwendung von Pulver-Grundlagen zur äußerlichen und/oder innerlichen Anwendung;
- Homöopathische Pulververreibungen (Triturationen), Ausgangsstoffe für homöopathische Zubereitungen
- Granulierung;
- Zusammenhalt der Agglomerate;
- Vorteile gegenüber Pulvern;
- Herstellungsmethoden für Granulate (aufbauende / abbauende Granulierung, Trockengranulierung, Feuchtgranulierung, Krustengranulat, Klebstoffgranulate, Hilfsstoffe für die Granulat-Herstellung);
- Verwendung von Granulaten, Granulattypen (Monographie Ph. Eur.);
- Granulate als Zwischenprodukte
- Besonderheiten von Brausezubereitungen, Trockensäften und festen Extrakten aus pflanzlichen Drogen (Trockenextrakte)
- 3.2.2.2 Imprägnierte homöopathische Kügelchen gemäß Ph. Eur.
- 3.2.2.3 Kapseln
- Definition und Einteilung gemäß Ph. Eur., Anforderungen, Zusammensetzung von Kapselfüllungen und Kapselhüllen, Hilfsstoffe im Rahmen der Herstellung von Kapseln (u.a. Gelatine), Eigenschaften von Hart- und Weichkapseln, Unterschiede, Vor-/Nachteile, Kapselgrößen, rezepturmäßige Herstellung von Hartkapseln;
- Dosierungsmethoden nach DAC/NRF, übliche Füllstoffe bei der rezepturmäßigen Herstellung, Möglichkeiten zur Qualitätsüberprüfung der rezepturmäßig hergestellten Kapseln

- |         |                                 |  |
|---------|---------------------------------|--|
| 3.2.2.4 | Zäpfchen zur rektalen Anwendung | Beschreibung (s. Zubereitungen zur rektalen Anwendung Ph. Eur.), Eigenschaften, Einteilung, lipophile und hydrophile Grundmassen und deren Eigenschaften (Polymorphie), Hilfsstoffe, Herstellungsmethoden (verschiedene Dosierungsverfahren, lt. DAC-Anlagen), Unterschiede und Vor-/Nachteile bzw. Auswahl des geeigneten Verfahrens, Verdrängungsfaktor, Vor-/Nachteile von Suppositorien, Besonderheiten der rektalen Applikation |
| 3.2.2.5 | Vaginalzäpfchen                 | Beschreibung (s. Zubereitungen zur vaginalen Anwendung Ph. Eur.), Eigenschaften, Grundmassen (Eigenschaften, Zusammensetzung), Hilfsstoffe, Herstellungsmethoden, Besonderheiten der vaginalen Applikation   |

### 3.2.3 Flüssige Zubereitungen in Rezeptur und Defektur

- |         |   |  |
|---------|---|--|
| 3.2.3.1 | Flüssige Zubereitungen zum Einnehmen oder zur kutanen Anwendung | <p>Beschreibung und Einteilung, Eigenschaften von Lösungen, Suspensionen und Emulsionen (disperse Systeme, Hydrophilie/Lipophilie), Anforderungen, Filtrationstechniken, Möglichkeiten und Hilfsmittel der Dosierung, kolloidale Lösungen (Tyndall-Effekt), relevante Hilfsstoffkategorien, Wasserqualitäten (Ph. Eur.)</p> <p>Lösungsvorgang:</p> <p>Löslichkeit;</p> <p>Lösungsgeschwindigkeit;</p> <p>Möglichkeiten der Löslichkeitsverbesserung, beeinflussbare Parameter (Gesetz von Noyes-Whitney), Konzentrationsangaben;</p> <p>Stabilität von Lösungen, Konservierungsmittel, Antioxidantien</p> <p>Eigenschaften und Verwendung von Emulgatoren, Einteilung, Struktur und Eigenschaften der Emulgatoren, Bancroft'sche Regel, HLB-Werte, Komplexemulgatoren, Typen und Eigenschaften von Emulsionen, Herstellung von Emulsionen (verschiedene Verfahren), Bestimmung des Emulsionstyps, Stabilität von Emulsionen, Koaleszenz, Aufrahmen, Maßnahmen zur Stabilisierung</p> <p>Herstellung und Eigenschaften von Suspensionen, Stabilität, Benetzung, Flotation;</p> <p>Stokes'sches Gesetz, auf- und absteigende Sedimentation, Caking, Flockung, Maßnahmen zur Stabilisierung</p> |
| 3.2.3.2 | Tropfenzubereitungen (Lösungen, Emulsionen, Suspensionen)       | <p>Beeinflussung der Tropfengröße (physikalische Grundprinzipien), Dosierung, Möglichkeiten der Solubilisierung;</p> <p>Konservierung, Besonderheiten bei der Applikation auf Schleimhäuten (Nase, Auge, pH-Wert, Osmolalität)</p>   |

3.2.3.3	Flüssige homöopathische Zubereitungen	Grundprinzipien; Hilfsstoffgruppen bei der Herstellung homöopathischer Zubereitungen:  homöopathische Darreichungsformen des Arzneibuchs und deren Herstellung (Urtinkturen, Dilutionen), Ausgangsstoffe für homöopathische Zubereitungen
3.2.3.4	Extrakte aus pflanzlichen Drogen	Einteilung der Monographie im Ph.Eur.; Definitionen, Unterschiede und Gemeinsamkeiten, Besonderheiten von Tinkturen, Fluidextrakten, Dickextrakten, Trockenextrakten, Trocknungsverfahren, alkoholisch-wässrige und wässrige Droгенаuszüge (Mazerat, Perkolat, Infus, Decoct), Droge-Extrakt-Verhältnis (DEV), eingestellte und quantifizierte Extrakte

### 3.2.4 Halbfeste Zubereitungen zur kutanen Anwendung

Gewinnung von und Anforderungen an Salbengrundlagen, Eigenwirkung der Salbengrundlagen und Gele, Grundoperationen zur Herstellung von halbfesten Zubereitungen, Lösungs-, Suspensions- und Emulsionssalben sowie von Pasten; Stabilität von halbfesten Zubereitungen

3.2.4.1	Hydrophobe Salben, wasseraufnehmende Salben, hydrophile Salben	Definitionen, Salbengrundlagen, deren Zusammensetzung und deren Eigenschaften, verwendete Emulgatoren, gebräuchliche Salben der Arzneibücher bzw. des DAC/NRF;  Antioxidantien
3.2.4.2	Cremes	Definitionen, hydrophile und hydrophobe Cremes und deren Zusammensetzung, Herstellung, gebräuchliche Cremes der Arzneibücher bzw. des DAC/NRF, Konservierungsmittel, Antioxidantien
3.2.4.3	Gele	Hydrogele und Lipogele, anorganische und organische Gelbildner (Eigenschaften, chemische Struktur, Verarbeitung), weitere Hilfsstoffe, deren Eigenschaften und deren Funktion, Gelgerüststrukturen und Kräfte, Gel-Sol-Umwandlung, Thixotropie, Grundlagen der Rheologie, Eigenschaften von Gelen, Konservierungsmittel
3.2.4.4	Pasten	Definition, Hilfsstoffe, Feststoffanteil, Partikelgröße, Herstellung, Anwendungsbereiche

## 3.3 Relevante Qualitäts(kontroll)kriterien

### 3.3.1 Mikrobiologische Qualität

### 3.3.2 Relevante Methoden der pharmazeutischen Technologie (des Arzneibuchs)

Zerfallszeit von Kapseln (DAC), Gleichförmigkeit einzeldosierter Arzneiformen, Gleichförmigkeit der Dosierung, Siebanalyse, optische Mikroskopie, Schütt- und Stampfdichte von Pulvern, Fließverhalten von Pulvern

# Grundlagen der pharmazeutischen Analytik

*(Fächergruppe P1-IV)*

Die Sicherung der Qualität von Arzneimitteln ist ein zentraler Aspekt im Tätigkeitsprofil von Pharmazeut\*innen. Die Qualität von Wirkstoffen, Hilfsstoffen, Ausgangsmaterialien, Arzneizubereitungen und Medizinprodukten wird durch qualitative und quantitative Analysen gewährleistet. Hier wird charakterisiert, geprüft, bewertet und dokumentiert, wobei neben der notwendigen Sorgfalt der jeweilige Stand der Wissenschaft maßgeblich ist. Dies geschieht im rechtlichen Rahmen unter Berücksichtigung der Vorgaben der Arzneibücher. Entsprechende Verfahren sind nach Maßgabe international festgelegter Qualitätskriterien zu validieren (Qualitätsmanagement).

Gegenstand der Analysen sind Arznei-, Hilfs- und Schadstoffe sowie *In-vitro*- und *In-vivo*-Abbauprodukte derselben, ferner Rückstände aus dem Herstellungsprozess. Dabei werden sowohl anorganische als auch organische Substanzen unter Einbeziehung statistischer Methoden analysiert. Die Verfahren basieren auf den physiko-/chemischen Eigenschaften von Analyten.

Vielfach sind heute instrumentalanalytische Verfahren „state of the art“. Die anwendungsbezogene Spezialisierung von Analysemethoden impliziert, dass jeweils die zweckmäßigste und kostengünstigste Methode zum Einsatz kommen kann. Dies gilt jeweils spezifisch für die öffentliche Apotheke (mit geringem apparativen Aufwand), die Krankenhausapotheke und industrielle Arzneimittel-Entwicklungs- und Herstellungsbetriebe.

Seit der letzten großen Änderung der Approbationsordnung für Apotheker (AAppO) im Jahre 2000 und der entsprechenden Prüfungsstofflisten hat sich die pharmazeutische Analytik in vielen Bereichen rapide weiterentwickelt. Neuere Erkenntnisse aus Toxikologie und Ökologie führen kontinuierlich zu neuen Bewertungen und Wichtungen der Verwendung von Chemikalien und der analytischen Techniken. Derartige Neubewertungen werden vom IMPP und seinen Sachverständigen seit jeher bei der Erstellung von Prüfungsaufgaben und der Konzeption von Prüfungen berücksichtigt.

Die Novellierung des Gegenstandskatalogs der Fächergruppe „Grundlagen der pharmazeutischen Analytik“ ist unter der Maßgabe vorgenommen worden, im Rahmen der Vorgaben der gültigen AAppO Entwicklungen einerseits aufzugreifen und andererseits aktuell gebräuchliche pharmazeutisch relevante analytische Verfahren neu zusammenzustellen, gleichwohl aber auch Verfahren zu streichen, deren Anwendung mehr und mehr in den Hintergrund getreten ist. So wurde beispielsweise die Elektrogravimetrie gestrichen, während die besonders unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit immer mehr an Bedeutung gewinnende Flüssigchromatographie mit superkritischen Phasen neu aufgenommen wurde.

Des Weiteren wurde das Kapitel Auswertung von Analysendaten (beispielsweise unter Einbeziehung von Standards und Referenzsubstanzen) neu strukturiert. Ferner wurden quantitative Verfahren, deren Anwendung aus ökotoxikologischen Gründen nicht mehr vertretbar ist (wie z. B. die Dichromatometrie), gestrichen.

In den Prüfungsaufgaben findet die Terminologie der gültigen Arzneibücher Anwendung; dementsprechend werden normale Laborbedingungen vorausgesetzt, sofern keine anderen Angaben gemacht werden.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Grundlagen und allgemeine Arbeitsweisen der pharmazeutischen Analytik .....</b>	<b>64</b>
1.1	Größen und Einheiten .....	64
1.2	Auswertung von Analysendaten.....	64
1.3	Stöchiometrie .....	64
1.4	Gleichgewichte, Aktivität, Löslichkeit .....	64
1.5	Probennahme, Probenvorbereitung .....	65
<b>2</b>	<b>Qualitative Analyse anorganischer und organischer Bestandteile .....</b>	<b>65</b>
2.1	Qualitative Analyse anorganischer Bestandteile .....	65
2.2	Qualitative Analyse organischer Bestandteile .....	65
<b>3</b>	<b>Gravimetrie.....</b>	<b>66</b>
3.1	Grundlagen .....	66
3.2	Pharmazeutisch relevante gravimetrische Bestimmungen .....	66
<b>4</b>	<b>Maßanalyse .....</b>	<b>66</b>
4.1	Allgemeines .....	66
4.2	Säure-Base-Titrationen .....	66
4.3	Redox titrationen.....	67
4.4	Fällungstitrationen.....	68
4.5	Komplexometrische Titrationen.....	68
4.6	Titration ionischer Tenside .....	68
<b>5</b>	<b>Elektroanalytische Verfahren .....</b>	<b>69</b>
5.1	Grundlagen .....	69
5.2	Potentiometrie.....	69
5.3	Coulometrie.....	70
5.4	Voltammetrie.....	70
5.5	Amperometrie, Voltametrie .....	70
5.6	Konduktometrie.....	71
5.7	Elektrophorese.....	71
<b>6</b>	<b>Optische, spektroskopische und spektrometrische Verfahren .....</b>	<b>71</b>
6.1	Elektromagnetische Strahlung .....	71
6.2	Refraktometrie .....	71
6.3	Polarimetrie.....	72
6.4	Zirkulardichroismus-Spektroskopie (CD-Spektroskopie).....	72
6.5	Optische Emissionsspektroskopie (OES), Atomemissionsspektroskopie (AES) .....	72
6.6	Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) .....	72
6.7	Molekülspektroskopie im ultravioletten (UV) und sichtbaren (Vis) Spektralbereich .....	73
6.8	Lumineszenz-Spektrometrie, Fluorimetrie.....	73
6.9	Grundlagen der Schwingungsspektroskopie.....	74
6.10	Absorptionsspektroskopie im mittleren infraroten Spektralbereich (IR-Spektroskopie).....	74

---

6.11	Spektroskopie im nahen Infrarot (Nahinfrarotspektroskopie, NIR).....	74
6.12	Raman-Spektroskopie .....	74
6.13	Kernresonanzspektroskopie (NMR).....	75
6.14	Massenspektrometrie.....	75
6.15	Radiochemische Analysenverfahren.....	76
<b>7</b>	<b>Chromatographische Trenn- und Analysenverfahren.....</b>	<b>76</b>
7.1	Grundlagen .....	76
7.2	Dünnschichtchromatographie (DC).....	76
7.3	Flüssigchromatographie (LC, HPLC, UHPLC).....	77
7.4	Flüssigchromatographie mit superkritischen Phasen (SFC) .....	77
7.5	Gaschromatographie (GC, GLC) .....	77
7.6	Ausschlusschromatographie (SEC) .....	77
<b>8</b>	<b>Thermische Analysenverfahren.....</b>	<b>78</b>
8.1	Grundlagen .....	78
8.2	Thermogravimetrie (TG), Differentialthermogravimetrie (DTG).....	78
8.3	Thermoanalyse (TA), Differenzthermoanalyse (DTA), kalorimetrische Verfahren (DDK/DSC).....	78

# 1 Grundlagen und allgemeine Arbeitsweisen der pharmazeutischen Analytik

## 1.1 Größen und Einheiten

Stoffmengen; Äquivalent; Gehalts- und Konzentrationsangaben

## 1.2 Auswertung von Analysendaten

### 1.2.1 Grundbegriffe

Primäre und sekundäre Standards; Verwendung von Referenzsubstanzen; Rückführbarkeit; interner und externer Standard; Detektionsgrenze, Bestimmungsgrenze, Grenzkonzentration; Selektivität, Spezifität; Signal/Rausch-Verhältnis

### 1.2.2 Statistische Auswertung von Analysendaten

Mess- und Auswerteunsicherheiten (Fehler); Gauß-Verteilung von Messergebnissen; Fehlerfortpflanzung; Mittelwert, Standardabweichung, Varianz, Signifikanz, Prüfverfahren (F-Test, t-Test)

### 1.2.3 Kalibrierung quantitativer Analysenverfahren, Validierung

Arbeitsbereich, Bestimmungsbereich; Lineare Kalibrierung, Kalibrierfunktion, Linearität, Linearitätstests, Empfindlichkeit; lineare Regression; Vertrauensbereich, gewichtete Regression; Standardadditionsverfahren; Genauigkeit, Präzision (Wiederhol- und Vergleichspräzision), Richtigkeit, Robustheit, Streubereich

### 1.2.4 Grundzüge der Gerätequalifizierung und –kalibrierung

## 1.3 Stöchiometrie

Aufstellen und analytische Bedeutung chemischer Reaktionsgleichungen und Formeln, stöchiometrisches Rechnen

## 1.4 Gleichgewichte, Aktivität, Löslichkeit

### 1.4.1 Gleichgewichte

Säure-Base-, Redox-, Komplexbildungs-Reaktionen, Lösungs-/Fällungs-, Adsorptions- und Verteilungsvorgänge; Formulierung und Bedeutung analytisch relevanter homogener und heterogener Gleichgewichte

### 1.4.2 Aktivität

Thermodynamische Gleichgewichtskonstante (Aktivitätskonstante); Aktivitätskoeffizient, Größenordnung in Abhängigkeit von Verdünnung und Ladung; Aktivität reiner Phasen; Ionenstärke

### 1.4.3 Löslichkeit

Analytisch relevante Aspekte des Löslichkeitsprodukts, der Löslichkeit; löslichkeitsbeeinflussende Faktoren

## 1.5 Probennahme, Probenvorbereitung

- |  |  |
|--|--|
| 1.5.1 Probennahme                      | von Gasen, Flüssigkeiten und Feststoffen   |
| 1.5.2 Lösen, Aufschließen, Extrahieren | Lösen und Aufschließen von Analyten und dabei ablaufende chemische Reaktionen; einfache Extraktionsverfahren |

## 2 Qualitative Analyse anorganischer und organischer Bestandteile

### 2.1 Qualitative Analyse anorganischer Bestandteile

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 2.1.1 Analyse nichtionischer Stoffe | Nachweis pharmazeutisch relevanter nichtionischer Stoffe   |
| 2.1.2 Analyse von Anionen           | Identitäts- und Grenzprüfungen von pharmazeutisch relevanten Anionen in Arznei-, Hilfs- und Schadstoffen; Störungen  |
| 2.1.3 Analyse von Kationen          | Identitäts- und Grenzprüfungen von pharmazeutisch relevanten Kationen in Arznei-, Hilfs- und Schadstoffen; Störungen |

### 2.2 Qualitative Analyse organischer Bestandteile

- |  |  |
|--|--|
| 2.2.1 Siedetemperatur und Siedebereich               | Definitionen und Bestimmungsmethoden nach Arzneibuch; Bedeutung für die Identifizierung und Reinheitsprüfung von Substanzen  |
| 2.2.2 Schmelztemperatur                              | Definitionen und Bestimmungsmethoden nach Arzneibuch; Bedeutung für die Identifizierung und Reinheitsprüfung von Substanzen; Einflussgrößen; Schmelztemperatur von Mischungen, eutektische Gemische, Mischschmelzpunkt |
| 2.2.3 Relative Dichte                                | Definitionen und Bestimmungsmethoden nach Arzneibuch, Bedeutung für die Identifizierung und Reinheitsprüfung von Arznei- und Hilfsstoffen, Einflussgrößen  |
| 2.2.4 Viskosität                                     | Definitionen und Bestimmungsmethoden nach Arzneibuch, Bedeutung für die Identifizierung und Reinheitsprüfung von Arznei- und Hilfsstoffen, Einflussgrößen  |
| 2.2.5 Identitäts- und Grenzprüfungen des Arzneibuchs | Identitätsreaktionen auf funktionelle Gruppen von Arznei- und Hilfsstoffen; Grenzprüfungen   |

## 3 Gravimetrie

### 3.1 Grundlagen

Grundoperationen; Fällungs- und Wägeform; gravimetrischer Faktor

### 3.2 Pharmazeutisch relevante gravimetrische Bestimmungen

Bestimmung von Kationen, Anionen und Neutralstoffen; Aschen, Trocknungsverlust, unverseifbare Anteile

## 4 Maßanalyse

### 4.1 Allgemeines

#### 4.1.1 Titrationskurven

Verlauf, graphische Darstellung; Auffinden und näherungsweise Berechnung charakteristischer Punkte bei Säure-Base-, Redox-, Fällungs- und komplexometrischen Titrationsen

#### 4.1.2 Begriffe, Methodik

Direkte Titration, Rücktitration, indirekte Titration, Substitutionstitration, Simultantitration

#### 4.1.3 Maßlösungen, insbesondere des Arzneibuchs

Herstellung, Einstellung, Titer, Korrekturfaktor, Titerstabilität, Temperatureinfluss

#### 4.1.4 Urtitersubstanzen, insbesondere des Arzneibuchs

Erforderliche Eigenschaften; Urtitersubstanzen für Maßlösungen

### 4.2 Säure-Base-Titrationsen

#### 4.2.1 Grundlagen

Aciditäts- und Basizitätskonstanten

Wichtige Säure-Base-Theorien, Definitionen, Anwendung;  $pK$ -Werte wichtiger korrespondierender Säure-Base-Paare (Größenordnung); Dissoziation (Protolyse) in mehreren Stufen, mehrbasige Säuren, mehrsaurige Basen, Einfluss des Lösungsmittels auf die Dissoziationskonstanten, Temperaturabhängigkeit

pH-Wert

Definitionen nach Arzneibuch und DIN, konventionelle pH-Skala, Berechnung, Messung kolorimetrisch, potentiometrisch; Pufferlösungen

Titrationsmöglichkeiten

Abschätzung anhand vorgegebener  $pK$ -Werte und Konzentrationen, qualitative Abschätzung aufgrund der Struktur des Analyten; Äquivalenzpunkt; acidimetrische Titrationsen (mit Säure, gem. IUPAC) bzw. alkalimetrische Titrationsen (mit Base, gem. IUPAC); mehrstufige Titrationskurven und deren Auswertung

Indizierungsmöglichkeiten	Pharmazeutisch relevante Indikatoren, insbesondere des Arzneibuchs; Reaktionen von Säure-Base-Indikatoren, Bedeutung des $pK$ -Werts eines Indikators, Umschlagsintervalle, einfarbige und zweifarbige Indikatoren; Auswahl geeigneter Indikatoren zur Bestimmung des Endpunkts; elektrometrische Indizierung
---------------------------	---

#### 4.2.2 Titration von Säuren und Basen in wässrigen Lösungen, insbesondere nach Arzneibuch

Titration von Säuren	Starke und schwache anorganische und organische Säuren; OH-, SH-, CH-, NH-acide Verbindungen; Kationsäuren, Anionsäuren; Säuregemische
Titration von Basen	Starke und schwache anorganische und organische Basen; Basengemische
Bestimmung von Carbonsäurederivaten	Ester, Lactone, Amide, Lactame
Spezielle Verfahren	argentoalkalimetrische Titration; Säure-Base-Titrations nach Komplexbildung, Ionenaustausch, Kjeldahl-Bestimmung

#### 4.2.3 Titration von Säuren und Basen in nichtwässrigen Lösungen, insbesondere nach Arzneibuch

Physikalisch-chemische Grundlagen	Brönsted'sche Säure-Base-Theorie nichtwässriger Lösungen; Lyat- und Lyonium-Ionen; Ionisationskonstante, Einfluss des Lösungsmittels auf die Dissoziationskonstante, Gesamtaciditäts- bzw. -basizitätskonstante, Einfluss der Dielektrizitätszahl
Lösungsmittel	Aprotische und protische Lösungsmittel, protophile und protogene Lösungsmittel, Ampholyte; Reaktionen von Säuren und Basen mit den Lösungsmitteln, nivellierende und differenzierende Effekte; Einfluss des Wassergehalts auf den Verlauf der Titration
Titration von Säuren	Schwache Säuren, Säuregemische; verwendete Maßlösungen; Erkennung des Endpunkts mit Indikatoren oder elektrochemischen Verfahren
Titration von Basen	Schwache Basen, Basengemische; verwendete Maßlösungen; Erkennung des Endpunkts mit Indikatoren oder elektrochemischen Verfahren

### 4.3 Redox titrationen

#### 4.3.1 Grundlagen

Redoxpotential, Standardpotential, Redoxreaktionen	Definitionen, Messung, Konzentrations-(Aktivitäts-) Abhängigkeit, Nernst'sche Gleichung, Spannungsreihe; Redoxpotential eines Gemischs von Redoxpaaren; Redox titration, Äquivalenzpunkt, Abschätzung der Titrierbarkeit von Redoxpartnern
Indikatoren, insbesondere nach Arzneibuch	Wirkungsweise, Umschlagspotentialbereich; reversible und irreversible Indikatorreaktionen; ein- und zweifarbige Indikatoren; pharmazeutisch relevante Indikatoren; Auswahl geeigneter Indikatoren

### 4.3.2 Methoden, pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch

Grundlagen, Durchführung und Anwendungen oxidimetrischer Verfahren

Permanganometrie, Cerimetrie, Iodometrie, Iodatometrie, Periodatometrie, Bromometrie, Bromatometrie, Nitritometrie

Spezielle Verfahren

Karl-Fischer-Titration, Iodmonochlorid-Verfahren, Titration kationischer Tenside im 2-Phasensystem, Bestimmungen mit Hypoiodit, Bestimmung von Stickstoff in primären aromatischen Aminen (Diazotitration)

## 4.4 Fällungstitrationen

### 4.4.1 Grundlagen

Lösungs- und Fällungsvorgänge

Fällungstitration

Indizierungsmöglichkeiten

Visuelle und elektrometrische/elektrochemische Indizierung

### 4.4.2 Methoden, pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch

Grundlagen, Durchführung und Anwendungen von Fällungstitrationen

Argentometrie nach Fajans, Mohr, Volhard; Bestimmung von organisch gebundenem Halogen und organisch gebundenem Schwefel; Simultantitrationen

## 4.5 Komplexometrische Titrations

### 4.5.1 Grundlagen

Chelatbildung

Koordinationszahl, Zähigkeit, Struktur und Eigenschaften von Chelatbildnern und Chelaten, insbesondere Natriumedetat

Anwendungsmöglichkeiten von Natriumedetat

Abschätzung anhand der Größenordnung der Stabilitätskonstante des Chelatkomplexes, Einfluss anderer Komplexbildner und des pH-Werts (Pufferung), effektive Stabilitätskonstante

Komplexometrische Methodik

Direkte Titration, Rücktitration, Substitutionstitration, indirekte Titration

Indizierungsmöglichkeiten

Pharmazeutisch relevante Indikatoren, insbesondere des Arzneibuchs; visuelle und elektrometrische Indizierung; Wirkungsweise; Umschlagsintervalle; Auswahl geeigneter Indikatoren; pH-Einfluss

### 4.5.2 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch

Bestimmung pharmazeutisch relevanter Metallionen am Beispiel von  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Bi^{3+}$ ; Simultantitrationen

## 4.6 Titration ionischer Tenside

### 4.6.1 Grundlagen

Ionenpaare, Stabilität der Ionenpaare im Zweiphasensystem; Phasentransfer der Ionenpaare im Zweiphasensystem; Indizierung des Titrationsendpunkts; Eigenschaften und Zusammensetzung geeigneter Indikatoren; Maßlösungen

### 4.6.2 Pharmazeutische Anwendungen

Bestimmung von anionischen und kationischen Tensiden

## 5 Elektroanalytische Verfahren

### 5.1 Grundlagen der Elektroanalytik

- |   |   |
|---|---|
| <b>5.1.1 Ladungstransport in Elektrolytlösungen</b>     | Migration, Wanderungsgeschwindigkeit, Ionenbeweglichkeit, Konvektion, Diffusion; Leitwert, elektrische Leitfähigkeit, Definition nach DIN und Arzneibuch; Ionenleitfähigkeit, Äquivalentleitfähigkeit, Ionenäquivalentleitfähigkeit, Grenzleitfähigkeit; Abhängigkeit der Leitfähigkeit von Lösungen starker und schwacher Elektrolyte von Konzentration und Dissoziationsgrad  |
| <b>5.1.2 Vorgänge an Elektroden</b>                     | Elektrochemische Doppelschicht; Phasengrenzpotential; Durchtrittsreaktion, Durchtrittsüberspannung; kathodischer und anodischer Strom; elektrochemisches Gleichgewicht; Nernst'sche Gleichung; Standardpotential; pH-Abhängigkeit von Redoxpotentialen; stromdurchflossene Elektroden; Faraday'sches Gesetz; Stofftransport zur Elektrode; Konzentrationsänderungen an stationären Elektroden bei Stromfluss (qualitativ) |
| <b>5.1.3 Arten, Aufbau und Anwendung von Elektroden</b> | Elektroden 1. und 2. Art; Metallionenelektroden, Gaselektroden, Redoxelektroden, Glaselektroden und andere Membranelektroden; inerte Elektrodenmaterialien, z. B. Platin, Gold, Quecksilber, Kohle; Indikatorelektroden, Arbeitselektroden, Bezugselektroden  |

### 5.2 Potentiometrie

- |   |  |
|---|--|
| <b>5.2.1 Prinzip, Anordnung, Durchführung</b>         | Praktisch leistungslose Messung von Zellspannungen   |
| <b>5.2.2 Direktpotentiometrie</b>                     | Absolutmessung von Zellspannungen zur Bestimmung von $\text{Ag}^+$ , Halogeniden, Pseudohalogeniden, $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ , pH-Wert; Kombinierte Glaselektrode (Einstabmesskette), Säure- und Alkalifehler; ionenselektive Elektroden, Einsatz als Detektoren für die Ionenchromatographie, Kalibrierung (Nullpunkt, Steilheit), Querempfindlichkeit (Selektivitätskoeffizienten) |
| <b>5.2.3 Potentiometrisch indizierte Titrationsen</b> | Titrationenkurven und Bestimmung von Endpunkten bei Säure-Base- (auch in nichtwässrigem Milieu), Redox-, Fällungs- und Komplexbildungstitrationen  |

### 5.3 Coulometrie

Prinzip, Faraday'sches Gesetz, Anordnung, Durchführung und Auswertung der potentiostatischen Coulometrie und der coulometrischen Titration (galvanostatische Coulometrie), z. B. durch Erzeugung folgender Reagenzien:  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $Ag^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ce^{4+}$ ,  $I_2$ , insbesondere coulometrische Mikrobestimmung von Wasser nach Arzneibuch; Prinzip coulometrischer Detektoren für die Flüssigchromatographie

### 5.4 Voltammetrie

#### 5.4.1 Grundlagen

Prinzipien der Voltammetrie, Gleichstrompolarographie und Pulspolarographie; Faraday'scher Strom, kapazitiver Ladestrom

#### 5.4.2 Anordnung, Durchführung

Funktionsprinzip; voltammetrische Zellen, Quecksilbertropfelektrode, Stationärelektroden, rotierende Elektroden, Polarisierbarkeitsbereiche; Zwei- und Dreielektrodenteknik; Grundlösung, Puffer; Entlüftung; Bezugselektroden

#### 5.4.3 Strom-Spannungs-Kurven

Polarogramme, Halbstufenpotential, pH-Abhängigkeit; Diffusionsgrenzstromstärke, wichtige Proportionalitäten in der Ilkovič-Gleichung; Strom-Spannungs-Kurven bei stationären Elektroden; Voltammogramme von Gemischen; Einfluss von Grundelektrolyt, pH-Wert, Komplexbildung; Sauerstoffstufen, polarographische Maxima; Auswertung; Grund- und Ladestrom und ihr Einfluss auf die Bestimmungsgrenzen

#### 5.4.4 Anwendung

Polarographie und Voltammetrie als Referenzmethoden und für spezielle Anwendungen: Neutalmoleküle ( $H_2O_2$ ); Clark-Sensor und Glucose-Sensoren

### 5.5 Amperometrie/Voltammetrie

#### 5.5.1 Amperometrische/voltammetrische Titration mit einer Indikatorelektrode (Monoamperometrie/Monovoltammetrie)

Prinzip, Anordnung und Durchführung; Titrationskurven (qualitativ) bei Fällungs-, Komplexbildungs- und Redox-titrationen

#### 5.5.2 Amperometrische/voltammetrische Titration mit zwei Indikatorelektroden (biamperometrische/bivoltammetrische Titration)

Prinzip, Anordnung und Durchführung; Titrationskurven (qualitativ) bei Fällungs-, Komplexbildungs- und Redox-titrationen; „dead-stop-Titration“, Wasserbestimmung nach Karl Fischer, Titration primärer aromatischer Amine nach Arzneibuch

#### 5.5.3 Amperometrische Sensoren

Sauerstoffsensoren nach Clark, Glucose-Sensoren; Amperometrische Detektion bei der Flüssigchromatographie

## 5.6 Konduktometrie

Grundlagen; Anordnung zur Messung von elektrolytischen Leitfähigkeiten, insbesondere nach Arzneibuch; Anwendung zur Indizierung von Säure-Base-, Fällungs- und Komplexbildungstitrationen, Titrationskurven; Einzel- und Simultanbestimmungen; Anwendung absoluter Leitfähigkeitsmessungen des Arzneibuchs; Anwendung von Leitfähigkeitsdetektoren für die Flüssigchromatographie

## 5.7 Elektrophorese

### 5.7.1 Grundlagen

Elektrophoretische Mobilität; Wanderungsgeschwindigkeit, Abhängigkeit von Teilchenart und Medium; Elektroosmotischer Fluss, Strömungsprofil

### 5.7.2 Elektrophoretische Verfahren

Funktionsweisen von trägerfreien (Grenzflächen-) Elektrophorese und Trägerelektrophorese, Zonenelektrophorese, Gelelektrophorese, Kapillarelektrophorese, Isoelektrische Fokussierung, Isotachophorese, Diskelektrophorese, Elektrokinetische Chromatographie, Mizellare Elektrokinetische Chromatographie (MEKC), Affinitätslektrophorese und Immunelektrophorese

### 5.7.3 Messmethodik

Gelelektrophorese: Geräteaufbau, Färbetechniken; Kapillarelektrophorese: Geräteaufbau, Injektionsverfahren, Polung der Spannung, Detektoren, korrigierte Migrationszeit

### 5.7.4 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch

Bestimmung von relativen Molekülmassen, Identitäts- und Reinheitsprüfungen sowie Gehaltsbestimmungen von niedermolekularen Arzneistoffen, Peptiden und Proteinen; Enantiomerentrennungen

## 6 Optische, spektroskopische und spektrometrische Verfahren

### 6.1 Elektromagnetische Strahlung

Allgemeines; Absorption und Emission von elektromagnetischer Strahlung; Methoden des Arzneibuchs und ihrer Spektralbereiche; graphische Darstellung und Interpretation von Spektren, Lambert-Beer-Gesetz

### 6.2 Refraktometrie

#### 6.2.1 Brechzahl (Brechungsindex), Messung

Allgemeines; Bestimmungsmethode: Grenzwinkel der Totalreflexion, Abbe-Refraktometer; Dispersion der Brechzahl; Bezugswellenlängen, Bezugstemperaturen, Kalibrierung und Kontrolle von Refraktometern nach Arzneibuch

**6.2.2 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch**

Identitäts- und Reinheitsprüfungen; Charakterisierung von Stoffgemischen und Lösungen; Detektoren für die Flüssigkeitschromatographie

**6.3 Polarimetrie****6.3.1 Optische Drehung, Messung**

Allgemeines; Polarimeter, Chiralität, optische Aktivität; spezifische Drehung, Definitionen nach Arzneibuch, Einfluss von Wellenlänge (Dispersion), Temperatur, Lösungsmittel, Konzentration

**6.3.2 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch**

Identitäts- und Reinheitsprüfungen, Gehaltsbestimmungen

**6.4 Zirkulardichroismus-Spektroskopie (CD-Spektroskopie)****6.4.1 Zirkulardichroismus, Messung**

Prinzip des Zirkulardichroismus (CD), Einfluss der Wellenlänge, CD-Spektrum, molare Elliptizität, Cotton-Effekt; Aufbau und Funktionsweise von Dichrographen, Messgrößen

**6.4.2 Pharmazeutische Anwendungen**

Sekundärstruktur von Peptiden und Proteinen

**6.5 Optische Emissionsspektroskopie (OES), Atomemissionsspektroskopie (AES)****6.5.1 Lichtemission in Flammen und Plasmen**

Anregbarkeit von Elementen; Lichtemission aus angeregten Zuständen, Temperaturabhängigkeit der thermischen Anregung; Emissionsspektren, Energieniveaudiagramme; Linienspektren, Serien; Interferenz

**6.5.2 Messmethodik und instrumentelle Anordnung**

Aufbau und Funktionsweise von Spektroskopen und Spektralphotometern; Flammenphotometrie und weitere Atomisierungs- und Anregungsverfahren, (Optische Emissionsspektroskopie mit induktivgekoppeltem Plasma (ICP-OES))

**6.5.3 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch**

Qualitative Analyse (Spektralanalyse, Flammenfärbung); quantitative Analyse, Kalibrierkurven, Standardadditionsmethode; pharmazeutisch relevante Bestimmungen, qualitative und quantitative Analyse pharmazeutisch relevanter Elemente

**6.6 Grundlagen der Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)****6.6.1 Lichtabsorption von Atomen**

Prinzip der AAS; Absorption von Licht durch atomare Dämpfe, Resonanzlinien; Vergleich mit Emissionsvorgängen; Interferenzen

**6.6.2 Messmethodik und instrumentelle Anordnung**

Aufbau und Funktionsweise von AAS-Geräten, Lichtquellen, thermische Atomisierungseinrichtungen, Hydridtechnik, Kaltdampftechnik

**6.6.3 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch**

Qualitative und quantitative Analyse mittels AAS, Kalibrierkurve, Standardzumischmethode; pharmazeutisch relevante Bestimmungen

## 6.7 Grundlagen der Molekülspektroskopie im ultravioletten (UV) und sichtbaren (Vis) Spektralbereich

- |  |   |
|--|---|
| <b>6.7.1 Grundlagen der Lichtabsorption durch Moleküle im UV und Vis</b> | Absorption von Licht durch Moleküle; HOMO-LUMO-Übergänge, Anregungsarten, Absorptionsbanden, Absorptionsspektren; Chromophore; Energieniveaudiagramm (Jablonski-Termschema)   |
| <b>6.7.2 Beziehungen zwischen Molekülstruktur und Lichtabsorption</b>    | Verbindungen mit $\pi \rightarrow \pi^*$ -Übergängen, Verbindungen mit $\pi \rightarrow \pi^*$ - und $n \rightarrow \pi^*$ -Übergängen, Grundstrukturen und Absorptionsverhalten von Carbonylverbindungen, Aromaten, Polymethinen (Cyaninen, Oxonolen, Merocyaninen) und Polyenen; batho- und hypsochromer Effekt, hypo- und hyperchromer Effekt; Absorptionskoeffizienten und Struktur des Chromophors; Eigenabsorption von Lösungsmitteln, Einfluss des pH-Werts, Solvatochromie; Lichtabsorption und Farbe; Charge-Transfer-Spektren |
| <b>6.7.3 Gesetz der Lichtabsorption</b>                                  | Messgrößen (Absorption, Transmission) Lambert-Beer-Gesetz, Anwendung, Abweichungen, molarer Absorptionskoeffizient und spezifische Absorption; Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Wellenlänge; Absorption von Substanzgemischen, isosbestischer Punkt, Derivativspektren   |
| <b>6.7.4 Messmethodik und instrumentelle Anordnung</b>                   | Aufbau und Funktionsweise von Geräten zur Spektralphotometrie, Lichtquellen, Monochromatoren, Küvetten; Überprüfung von Wellenlängenskala, Absorption, Streulicht, Auflösungsvermögen   |
| <b>6.7.5 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch</b>   | Gehaltsbestimmungen, Identitäts- und Reinheitsprüfungen von Arzneistoffen; Detektor; Prüfung der Farbigkeit von Substanzen; Mehrkomponentenanalyse  |

## 6.8 Lumineszenz-Spektrometrie, Fluorimetrie

- |  |  |
|--|--|
| <b>6.8.1 Prinzip</b>   | Absorption von Strahlung; Vorgänge bei Lumineszenz (Fluoreszenz, Phosphoreszenz; verzögerte Fluoreszenz); Beziehungen zwischen Struktur und Fluoreszenz, Fluorophore; Beziehungen zwischen Absorptions- und Fluoreszenzspektren; Einflüsse der Matrix, Fluoreszenzlöschung; Beziehung zwischen Intensität des Anregungslichtes, Konzentration, Quantenausbeute und Fluoreszenzintensität |
| <b>6.8.2 Messmethodik und instrumentelle Anordnung</b>                 | Aufbau und Funktionsweise von Fluorimetern; Anregungsquellen, Anregungs- und Emissionsmonochromator, Detektoren; Nachweis- und Bestimmungsgrenzen  |
| <b>6.8.3 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch</b> | Gehaltsbestimmungen, Identitäts- und Reinheitsprüfungen, Fluoreszenzmarkierung; Detektion bei chromatographischen Verfahren  |

## 6.9 Grundlagen der Schwingungsspektroskopie

- |   |  |
|---|--|
| <b>6.9.1 Schwingungsanregung durch Lichtabsorption</b>                | Vorgänge bei der Absorption von Licht; Bereiche der Strahlung, Normalschwingungen, Oberschwingungen, Kombinationsschwingungen, IR-aktive und -inaktive Schwingungen, harmonischer Oszillator; Rotations- und Schwingungsanregung, Rotationsquantenzahl, Schwingungsquantenzahl; Valenz- und Deformationsschwingungen, Gerüstschwingungen; Oberschwingungen; Gesetz der Lichtabsorption |
| <b>6.9.2 Beziehungen zwischen Molekülstruktur und Lichtabsorption</b> | Charakteristische Absorption (Wellenzahlbereiche) wichtiger Verbindungsklassen bzw. funktioneller Gruppen  |

## 6.10 Absorptionsspektroskopie im mittleren infraroten Spektralbereich (MIR)

- |   |  |
|---|--|
| <b>6.10.1 Messmethodik und instrumentelle Anordnung, insbesondere nach Arzneibuch</b>         | Prinzipieller Aufbau und Funktionsweise von MIR-Spektrometern; Lichtquellen, Detektoren, IR-durchlässige Materialien; Kalibrierung und Kontrolle nach Arzneibuch, Wellenzahlskala, Auflösungsvermögen; Messung von MIR-Spektren fester, flüssiger und gasförmiger Substanzen; Absorptionsbanden, Rotationsschwingungsspektren (-banden); Bedeutung des Fingerprint-Bereichs; Absorptions- und Transmissionsspektren; Messung durch abgeschwächte Totalreflexion (ATR), Lösungsmittel, Eigenabsorption und deren Einfluss |
| <b>6.10.2 Pharmazeutische Anwendungen der MIR-Spektroskopie, insbesondere nach Arzneibuch</b> | Identitätsprüfungen von Arznei- und Hilfsstoffen, Polymorphe; pharmazeutisch relevante Methoden, Reinheitsprüfungen, Stabilitätsprüfungen; Verwendung von Referenzsubstanzen und Referenzspektren nach Arzneibuch; Anwendung zum Nachweis von Substanzklassen und funktionellen Gruppen  |

## 6.11 Spektroskopie im nahen Infrarot (Nahinfrarotspektroskopie, NIR)

- |   |   |
|---|---|
| <b>6.11.1 Messmethodik</b>                                      | Besonderheiten der Messtechnik, Anforderungen des Arzneibuchs; Messung mittels Transmission, diffuser Reflexion und Transflexion; Geräteprüfung nach Arzneibuch; Prinzipien der Spektrenauswertung, Datenauswertung nach Arzneibuch |
| <b>6.11.2 Pharmazeutische Anwendungen der NIR-Spektroskopie</b> | Identitätsprüfung von Arznei- und Hilfsstoffen  |

## 6.12 Raman-Spektroskopie

- |   |   |
|---|---|
| <b>6.12.1 Messmethodik</b>  | Besonderheiten der Messtechnik, Stokes- und Anti-Stokes-Banden, Rayleigh-Streuung, Anforderungen des Arzneibuchs; Prinzipien der Spektrenauswertung |
| <b>6.12.2 Pharmazeutische Anwendungen der Raman-Spektroskopie</b> | Prüfung von Arznei- und Hilfsstoffen  |

## 6.13 Kernresonanzspektroskopie (NMR)

- 6.13.1 Grundlagen**  
NMR-aktive Atome, natürliche Häufigkeit, Kernspin, Kernspinquantenzahl, gyromagnetisches Verhältnis; Wechselwirkung mit äußerem Magnetfeld und elektromagnetischen Wellen, Kernresonanz, Zahl der Energiezustände im äußeren Feld, Besetzungsunterschiede, Relaxation, Resonanzbedingung, Larmor-Gleichung
- 6.13.2 Messmethodik**  
Funktionsprinzip von NMR-Geräten, Kernresonanzspektrometer, Puls-Fourier-Transformations-NMR-Spektroskopie (FT-NMR); Durchführung von Messungen, insbesondere nach Arzneibuch
- 6.13.3 NMR-Spektrum**  
Chemische Verschiebung und ihre Ursachen, Abschirmung, Entschirmung; interner Standard für chemische Verschiebung,  $\delta$ -Skala; Größenordnung chemischer Verschiebungen bei  $^1\text{H}$  und  $^{13}\text{C}$ ; Spin-Spin-Kopplung, homo- und heteronukleare Kopplungen; Signalaufspaltungen, Kopplungskonstante, Multiplizitätsregeln; Integrationskurve; qualitative und quantitative Auswertung der Spektren, Anwendung zur Strukturaufklärung pharmazeutische Anwendung nach Arzneibuch, quantitative NMR (qNMR)

## 6.14 Massenspektrometrie

- 6.14.1 Grundlagen**  
Masse-Ladungsverhältnis ( $m/z$ ), monoisotopische Masse, akkurate Masse, exakte Masse, Massenauflösung, Isotopensignatur, Isotopologe, massenspektrometrische Isomere und Isobare
- 6.14.2 Grundprozesse der Ionisation und Fragmentierung**  
wichtige Ionisationsverfahren, z. B. Elektrospray-Ionisation (ESI), Elektronenionisation (EI), chemische Ionisation (CI), chemische Ionisation bei Atmosphärendruck (APCI), Matrix-gestützte Laser-Desorptions-Ionisation (MALDI), Ionisation durch induktiv-gekoppeltes Plasma (ICP); Fragmentierungswege, z. B. Wasserabspaltung und Bildung von Tropyliumkationen, Adduktbildung, mehrfach geladene Ionen
- 6.14.3 Prinzipien massenselektiver Analysatoren**  
Flugzeit-Analysatoren (ToF), Quadrupol-Analysatoren, Ionenfallen und Orbitrap
- 6.14.4 Massenspektrometrische Kopplungstechniken**  
Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS), Flüssigkeitschromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS), Kapillarelektrophorese-Massenspektrometrie (CE-MS), Flüssigchromatographie mit superkritischen Phasen, gekoppelt mit Massenspektrometrie (SFC-MS), Massenspektrometrie mit induktiv-gekoppeltem Plasma (ICP-MS) und Tandem-Massenspektrometrie (MS/MS)
- 6.14.5 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch**  
Strukturaufklärung, Analyse von Gemischen, quantitative Bestimmungen, Isotopenverdünnungsanalyse, Elementanalytik

## 6.15 Radiochemische Analysenverfahren

<b>6.15.1 Grundlagen radiochemischer Messmethoden</b>	radioaktive Strahlung; Messgrößen für radioaktive Strahlung, Geräte zur Messung radioaktiver Strahlung; pharmazeutisch wichtige Radioisotope; Isotopenmarkierung
<b>6.15.2 Auswerteverfahren</b>	Zählausbeute; natürliche Untergrund-Strahlung; energiedispersive Techniken, Gammaskpektrometrie
<b>6.15.3 Pharmazeutische Anwendungen</b>	Prüfung von radioaktiven Arzneistoffen und Zubereitungen nach Arzneibuch (Identität, Aktivität, radionukleare Reinheit, radiochemische Reinheit, spezifische Radioaktivität)

## 7 Chromatographische Trenn- und Analysenverfahren

### 7.1 Grundlagen

<b>7.1.1 Chromatographische Trennmechanismen</b>	Physikalisch-chemische Grundlagen von Trennungen: Adsorption, Verteilung, Ionenaustausch, Größenausschluss von Molekülen, Bioaffinität; van-Deemter-Gleichung, Enantiomertrennung
<b>7.1.2 Chromatographische Phasen</b>	Stationäre und mobile Phasen, eluotrope Reihen
<b>7.1.3 Chromatographische Größen</b>	Trennstufenhöhe (HETP), effektive Trennstufenhöhe; Anzahl theoretischer Böden (Trennstufenzahl, Plattenzahl), effektive Trennstufenzahl; Retardationsfaktor ( $R_F$ -Wert), relativer Retardationsfaktor ( $R_{St}$ -Wert); Retentionszeit, Gesamtretentionszeit (Bruttoretentionszeit), adjustierte Retentionszeit (Nettoretentionszeit), Retentionsvolumen, Rückhaltezeit (Totzeit, Hold-up-Zeit), Rückhaltevolumen (Totvolumen, Hold-up-Volumen); Retentionsfaktor (Kapazitätsverhältnis, Masseverteilungsverhältnis); Auflösung, Peak-Tal-Verhältnis, relative Retention
<b>7.1.4 Auswertung von Chromatogrammen</b>	Chromatogramme; qualitative und quantitative Auswertung; Peakform, Peak-, Fleck-, Zonen-, Bandenverbreiterung; van-Deemter-Gleichung; Peaksymmetrie, Symmetriefaktor; Signal/Rausch-Verhältnis

### 7.2 Dünnschichtchromatographie (DC)

<b>7.2.1 Grundlagen</b>	Prinzip; Sorbentien, Normal- und Umkehrphasen; Schichtdicke, mittlere Korngrößen, Fließmittel und Fließmittelmischungen, Entwicklung, $\beta$ -Front, Gleichgewichte zwischen Fließmitteln, Adsorbens und Dampfdruck
<b>7.2.2 Messmethodik und instrumentelle Anordnung</b>	Versuchsaufbau und Durchführung, insbesondere nach Arzneibuch; Hochleistungsdünnschichtchromatographie (HPTLC); Entwicklungskammern, Auftragevolumen, Auftragechniken, vertikale und horizontale DC, Detektionsmöglichkeiten, DC-Scanner
<b>7.2.3 Pharmazeutische Anwendung, insbesondere nach Arzneibuch</b>	Identitäts- und Reinheitsprüfungen, Gehaltsbestimmungen

### 7.3 Flüssigchromatographie (LC, HPLC, UHPLC)

- |  |   |
|--|---|
| <b>7.3.1 Grundlagen</b>  | Prinzip; Geräteaufbau und Durchführung, Detektion; stationäre und mobile Phasen, isokratische und Gradientenelution, Temperaturabhängigkeit   |
| <b>7.3.2 Methoden, insbesondere nach Arzneibuch</b>                    | Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und Ultrahochleistungsflüssigkeitschromatographie (UHPLC), Dwell-Volumen, Ionenchromatographie, Ionenaustauschchromatographie, Ionenpaarchromatographie |
| <b>7.3.3 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch</b> | Identifizierungen, Reinheits- und Gehaltsbestimmungen; Bestimmung von Verteilungskoeffizienten, Enantiomerentrennung  |

### 7.4 Flüssigchromatographie mit superkritischen Phasen (SFC)

- |  |  |
|--|--|
| <b>7.4.1 Grundlagen</b>                  | Prinzip; Geräte und Durchführung; stationäre und mobile Phasen; Druck- und Temperaturregulation; Detektion |
| <b>7.4.2 Pharmazeutische Anwendungen</b> | Identifizierungen, Reinheits- und Gehaltsbestimmungen; Enantiomerentrennung                                |

### 7.5 Gaschromatographie (GC, GLC)

- |  |  |
|--|--|
| <b>7.5.1 Grundlagen</b>  | Prinzip; Funktionsweise, Geräteaufbau und Durchführung, auch nach Arzneibuch; stationäre Phasen, Kapillarsäulen; Trägergase; Detektoren; isotherme Elution und Temperaturgradient; Derivatisierung |
| <b>7.5.2 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch</b> | Identitäts- und Reinheitsprüfungen, Gehaltsbestimmungen, Bestimmung von Lösungsmitteln, Restlösungsmitteln, Headspace-Analytik   |

### 7.6 Ausschlusschromatographie (SEC)

- |  |  |
|--|--|
| <b>7.6.1 Grundlagen</b>  | Prinzip; Geräteaufbau und Durchführung, Trägermaterialien, mobile Phasen, Ausschlussvolumen (Retentionsvolumen einer nicht zurückgehaltenen Komponente); Ausschlusszeit (Retentionszeit einer nicht zurückgehaltenen Komponente); Permeationsvolumen (Mobile-Phase-Volumen), Mobile-Phase-Zeit; Verteilungskonstante |
| <b>7.6.2 Pharmazeutische Anwendungen, insbesondere nach Arzneibuch</b> | Bestimmung der relativen Zusammensetzung von Gemischen, von Molekülmassen, der molekularen Größenverteilung von Polymeren  |

## 8 Thermische Analysenverfahren

### 8.1 Grundlagen

- |  |   |
|--|---|
| 8.1.1 Zustandsformen                       | Aggregatzustände, insbesondere metastabile Zustände, Polymorphie, Pseudopolymorphie |
| 8.1.2 Thermoanalytisch erfassbare Vorgänge | Zustandsänderungen  |

### 8.2 Thermogravimetrie (TG), Differentialthermogravimetrie (DTG)

- |  |   |
|--|---|
| 8.2.1 Grundlagen   | Prinzip; mit Änderungen der Probenmasse verbundene Vorgänge   |
| 8.2.2 Geräteaufbau und Durchführung                                    | Thermowaagen, Öfen, Temperaturbereiche, Massen- und Temperaturkalibrierung nach Arzneibuch; inerte und reaktive Atmosphären |
| 8.2.3 Pharmazeutischer Anwendungsbereich, insbesondere nach Arzneibuch | Trocknungsverlust, Hydratwasser, Identitätsprüfung und Charakterisierung, insbesondere von Polymeren                        |

### 8.3 Thermoanalyse (TA), Differenzthermoanalyse (DTA), kalorimetrische Verfahren (DDK/DSC)

- |  |  |
|--|--|
| 8.3.1 Grundlagen                         | Prinzip; mit Änderungen der Proben temperatur verbundene Vorgänge, Messgrößen                              |
| 8.3.2 Geräteaufbau und Durchführung      | Kalorimeter; Wärmefluss zur Probe, Messung der Wärmemengen, Temperaturmessung; Kalibrierung; Referenzprobe |
| 8.3.3 Pharmazeutischer Anwendungsbereich | Identifizierung, Reinheitsprüfung und Charakterisierung von Arznei- und Hilfsstoffen und von Polymeren     |