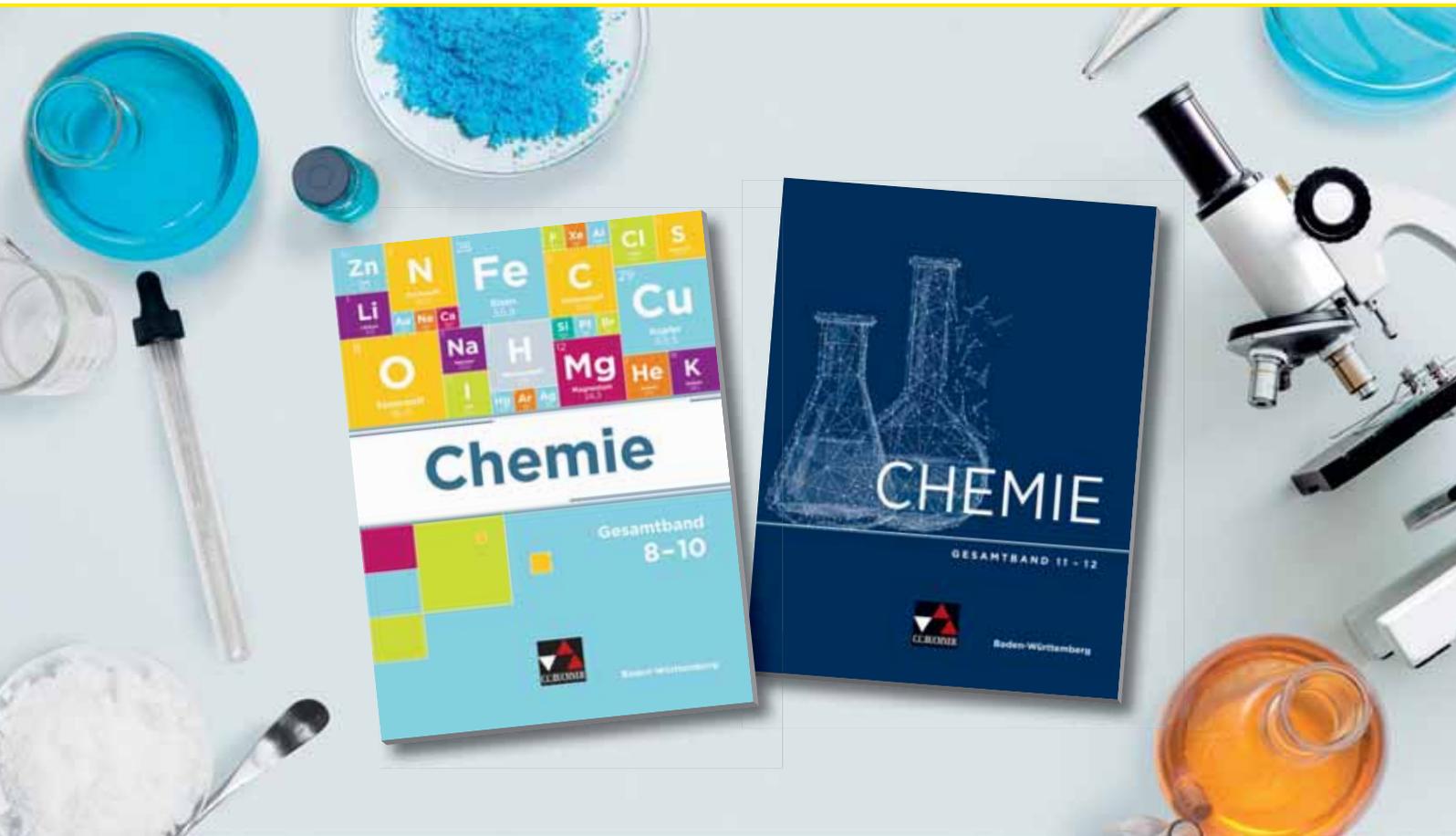




Baden-
Württemberg



Mit C.C.Buchner von der ersten Stunde bis zum Abitur





Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

zum Schuljahr 2021/22 bieten wir Ihnen gemäß dem aktuellen Bildungsplan 2016 unser Lehrwerk **Chemie** auch für die Jahrgangsstufen 11–12 an. **Chemie Baden-Württemberg – Sek II** berücksichtigt zudem die 2020 von der Kultusministerkonferenz neu verabschiedeten, bundesweit geltenden Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife und gewährleistet einen motivierenden, fundierten Unterricht.

Selbstverständlich bieten wir Ihnen auch volle Unterstützung über das Schulbuch hinaus: Unser **digitales Lehrmaterial click & teach** unterstützt Sie optimal bei der Gestaltung des Unterrichts und bietet zahlreiche Zusatzmaterialien wie z.B. Gefährdungsbeurteilungen, Aufgabenlösungen, Videos und Lernanwendungen.

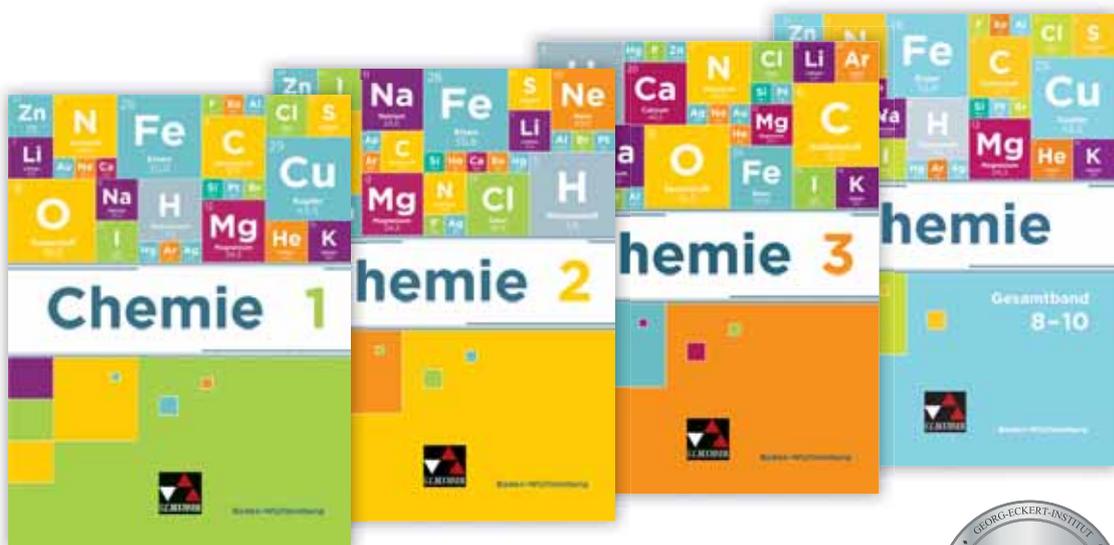
Wenn Sie mehr über die Lehrwerksreihen **Chemie für die Sekundarstufe I und II** am Gymnasium in Baden-Württemberg erfahren möchten, kontaktieren Sie uns! Wir beraten Sie gern.



Annette Goldscheider
Telefon: 0821 2593648
Mobil: 0171 6012371
E-Mail: goldscheider@ccbuchner.de



Christof Muechler
Telefon: 07131 8995148
Mobil: 0171 6012376
E-Mail: muechler@ccbuchner.de



Chemie in der Sekundarstufe I

Die Lehrwerksreihe **Chemie – Baden-Württemberg** ist passgenau auf den aktuellen Bildungsplan zugeschnitten. Sie bietet Lehrkräften die Möglichkeit, einen experiment- und kompetenzorientierten Unterricht effizient vorzubereiten und optimal zu gestalten. Gleichzeitig unterstützt sie die Schülerinnen und Schüler bei der selbstständigen Nacharbeit der im Unterricht behandelten Themen.

Fachcurricula für den Bildungsplan finden Sie als kostenfreien Download auf www.ccbuchner.de (Eingabe im Suchfeld: 05011, 05012, 05013, 05037).

Neun gute Gründe für Chemie – Baden-Württemberg:

1. Passgenau zum Bildungsplan für Baden-Württemberg

Chemie setzt alle Vorgaben passgenau und praxisnah um – für einen Unterricht nach den Intentionen des Bildungsplans 2016 und des Beispielcurriculums 2.

2. Klare Struktur aller Kapitel nach dem konstruktivistischen Lernzirkel

Der klare Aufbau (Explorieren, Experimentieren, Akkommodieren, Anwenden) unterstützt die Struktur der Lernprozesse Ihrer Schülerinnen und Schüler – und Sie bei Ihrem Unterricht.

3. „Vom Experiment zur Erkenntnis“

Ausführliche Auswertungsfragen zu den Experimenten erleichtern den Erkenntnisgewinn.

4. Selbstständige Erarbeitung und Nacharbeit leicht möglich

Die ausführlich und klar strukturierten Texte auf den Erarbeitungsseiten ermöglichen Ihren Schülerinnen und Schülern, den Lernstoff eigenständig und sicher zu erfassen.

5. Selbstkontrolle durch Lösungen im Buch ermöglicht

So wissen Ihre Schülerinnen und Schüler immer, wo sie stehen.

6. Viele Aufgaben – Kompetenzorientierung inklusive

Chemie bietet Ihnen umfangreiches, kompetenzorientiertes Aufgabenmaterial.

7. Sprach- und Medienbildung gefördert

Aufgaben, die zur Förderung der Fachsprache beitragen, sind extra ausgewiesen. Die neuen Leitperspektiven werden durchgängig berücksichtigt.

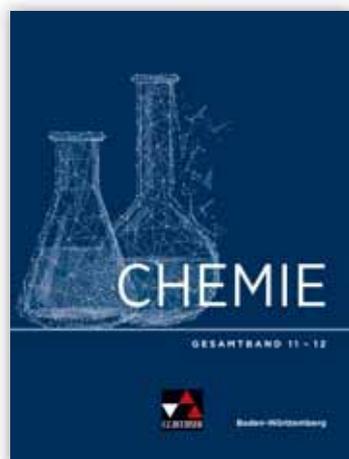
8. Sonderseiten – Fachmethoden, Exkurse, ...

Mit diesen ist handlungsorientierter und fächerübergreifender Unterricht möglich.

9. Perfekt abgestimmtes Zusatzmaterial

Die gedruckten Lösungsbände inkl. Gefährdungsbeurteilungen und das digitale Lehrermaterial click & teach sind optimal auf das Schulbuch abgestimmt und ermöglichen eine komfortable Unterrichtsvorbereitung.

Perfekt abgestimmt auf die neuen,
bundesweit geltenden Bildungs-
standards von 2020



Chemie in der Sekundarstufe II

Der **Chemie Gesamtband 11–12** ist passgenau auf den aktuellen Bildungsplan zugeschnitten und berücksichtigt die **2020** von der Kultusministerkonferenz neu verabschiedeten, **bundesweit geltenden Bildungsstandards** für die allgemeine Hochschulreife.

Die Lehrwerksreihe behält ihr bewährtes Konzept aus der Sekundarstufe I bei und setzt dieses in der Oberstufe fort.

0 Grundlagen aus Klasse 8–10

1 Reaktionsgeschwindigkeit und chemische Gleichgewichte

- 1.1 Reaktionsgeschwindigkeit
- 1.2 Chemisches Gleichgewicht
- 1.3 Beeinflussung des Gleichgewichts
- 1.4 Haber-Bosch-Verfahren
- 1.5 Löslichkeitsgleichgewichte

2 Säure-Base-Reaktionen

- 2.1 Säure-Base-Reaktionen im Alltag und im Labor
- 2.2 Der pH-Wert
- 2.3 Starke und schwache Säuren und Basen
- 2.4 Puffersysteme
- 2.5 Indikatoren und Titrationen

3 Aminosäuren und Proteine

- 3.1 Spiegelbildisomerie und optische Aktivität
- 3.2 Aminosäuren und Peptidbindung
- 3.3 Struktur und Denaturierung der Proteine

4 Kohlenhydrate

- 4.1 Glucose und Fructose
- 4.2 Saccharose und andere Disaccharide
- 4.3 Cyclodextrine, Stärke und Cellulose
- 4.4 Nachwachsende Rohstoffe

5 Fettsäuren und Fette

- 5.1 Fette und Fettsäuren
- 5.2 Tenside

6 Chemische Energetik

- 6.1 Energie und Reaktionswärme
- 6.2 Reaktionsenthalpie und Bildungs-enthalpie
- 6.3 Entropie und freie Enthalpie

7 Aromatische Verbindungen

- 7.1 Benzol
- 7.2 Das Orbitalmodell
- 7.3 Aromaten in Natur, Alltag und Technik
- 7.4 Farbstoffe aus Aromaten
- 7.5 Reaktionen von Aromaten

8 Kunststoffe

- 8.1 Struktur und Eigenschaften von Kunststoffen
- 8.2 Die radikalische Polymerisation
- 8.3 Die Polykondensation
- 8.4 Die Polyaddition
- 8.5 Verarbeitung von Kunststoffen für Produkte in Alltag und Industrie
- 8.6 Umweltaspekte bei Kunststoffen

9 Elektrochemie

- 9.1 Oxidation und Reduktion
- 9.2 Das Daniell-Element und die elektrochemische Doppelschicht
- 9.3 Galvanische Zellen – Stromfluss durch chemische Reaktionen
- 9.4 Korrosion und Korrosionsschutz
- 9.5 Batterien – verpackte Energie
- 9.6 Elektrolysen wässriger Lösungen
- 9.7 Akkumulatoren und Brennstoffzellen

Aktivierung des Vorwissens

KC
KOMPETENZCHECK
3

Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis E ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediacode 060112).

Kompetenz	sehr gut	gut	schwach
A IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen			
B Die Säure-Base-Theorie nach saenstro anwenden			
C Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen			
D Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern			
E Kondensation am Beispiel erläutern			

KOMPETENZ A: IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen

A1 Benennen Sie folgende Moleküle nach der IUPAC-Nomenklatur und ordnen Sie diese einer geeigneten organischen Stoffgruppe (z. B. Alkane) zu.

a) CCCC

b) CCCCC

c) CCCCC

d) CCCCC

A2 Entwickeln Sie die Strukturformel folgender Verbindungen und kennzeichnen Sie jeweils die funktionelle Gruppe:

a) Butan-2-ol
b) Propanal
c) Propanon

KOMPETENZ B: Die Säure-Base-Theorie nach saenstro anwenden

B1 Winden Sie die Definition einer Säure und einer Base nach saenstro an je einem Beispiel an.

B2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Essigsäure mit Wasser und kennzeichnen Sie die saenstro-Säure und die saenstro-Base.

B3 Milchsäure (2-Hydroxypropansäure) wird mit Natrionarge versetzt. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Protonenübergangswerte in Strukturformelschreibweise.

KOMPETENZ C: Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen

C1 Geben Sie die Art der zwischenmolekularen Wechselwirkungen an, die zwischen folgenden Molekülen wirken:

a) Wasser-Moleküle
b) Ammoniak-Moleküle
c) Methan-Moleküle
d) Propan-1,2,3-triol-Moleküle
e) Essigsäure-Moleküle

C2 Geben Sie die Art der chemischen Bindung zwischen den Teilchen in folgenden Stoffen an:

a) Natriumchlorid
b) Magnesium
c) Wasserstoff
d) Chlorwasserstoff
e) Aluminiumoxid
f) Ethanol
g) Eisen

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 462 und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwach	zum Nachlesen
A IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen	11-9	8-6	5-3	5,24-27
B Die Säure-Base-Theorie nach saenstro anwenden	9-8	7-5	4-2	5,94,95
C Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen	12-9	8-6	5-3	5,32
D Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern	10-8	7-5	4-2	5,24,119
E Kondensation am Beispiel erläutern	4	3	2	5,28,50,51

136
AMINOSÄUREN UND PROTEINE
137

KC
KOMPETENZCHECK
3

Ziel erreicht?

Vorlesen Sie über die Kompetenzen dieses Kapitels! Lösen Sie entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediacode 060113) und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Fischer-Projektionsformeln aufstellen			5,142,143
B Spiegelbildisomerie und optische Aktivität erläutern			5,140-145
C Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren erläutern			5,148-151
D Nachweismethoden für Aminosäuren und Proteine beschreiben			5,150
E Struktur und Denaturierung von Proteinen erläutern			5,156-159

KOMPETENZ A: Fischer-Projektionsformeln aufstellen

A1 Geben Sie die D- und L-Form für 2,3-Dihydroxypropanal (Glyceraldehyd) in der Fischer-Projektionsformel an. Kennzeichnen Sie asymmetrisch substituierbare Kohlenstoff-Atome.

A2 Zeichnen Sie Propan-1,2,3-triol (Glycerin) in der Fischer-Projektion und begründen Sie, ob eine D- bzw. L-Form möglich ist.

A3 Folgende Formel zeigt ein Enantiomer des Glucose-Moleküls in der Fischer-Projektion:

a) Erläutern Sie, ob es sich bei der dargestellten Fischer-Projektion um das D- oder L-Enantiomer handelt.

b) Geben Sie das entsprechende Spiegelbildisomer zu der gegebenen Form des Glucose-Moleküls an.

KOMPETENZ B: Spiegelbildisomerie und optische Aktivität erläutern

B1 Weinsäure ist der Trivialname für 2,3-Dihydroxybutandisäure.

a) Geben Sie Strukturformeln von D- und L-Weinsäure und meso-Weinsäure in der Fischer-Projektion an.

b) Erläutern Sie, dass D- und L-Weinsäure optisch aktiv sind, meso-Weinsäure jedoch nicht.

c) Erläutern Sie eine Eigenschaft, in der sich D- und L-Weinsäure voneinander unterscheiden.

d) Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man nachweisen kann, dass D- bzw. L-Weinsäure optisch aktiv sind.

B2 Erläutern Sie, ob es sich bei Propan-1,2,3-triol (Glycerin) um eine chirale Substanz handelt.

Gelatine, Fisch, Joghurt und Orangensaft: Beschreiben Sie die zu erwartenden Beobachtungen und erklären Sie diese.

D3 Glutation ist ein Tripeptid aus den drei verschiedenen Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin. Glutation ist in fast allen Zellen des Menschen in hoher Konzentration enthalten. Es gehört zu den wichtigsten als Antioxidans wirkenden Stoffen im menschlichen Körper. Erläutern Sie ein Experiment, mit dem man diese drei Aminosäuren aus dem Tripeptid voneinander eindeutig identifizieren kann.

KOMPETENZ E: Struktur und Denaturierung von Proteinen erläutern

E1 Die Strukturformel zeigt ein Dipeptid.

NC(=O)C(C)C(=O)N

a) Geben Sie die Aminosäurebausteine des Dipeptids an und benennen Sie es.

b) Formulieren Sie die Bildungsreaktion des gezeigten Dipeptids.

c) Benennen Sie den Reaktionsstyp der Bildungsreaktion.

d) Mit denselben Aminosäurebausteinen kann man auch ein anderes Dipeptid erhalten. Geben Sie seine Strukturformel an und benennen Sie dieses.

E2 Erläutern Sie die Ursachen, die zur Ausbildung der Tertiärstruktur eines Proteins führen können.

E3 Erläutern Sie die Vorgänge, die beim Braten eines Spiegels auf Teilerbene ablaufen.

E4 Magnesiumspiegel bei der Verdauungsstörung und bei der Abstoßung von Krankheitserregern eine wichtige Rolle. Erläutern Sie die Funktion der Magnesium.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 463 und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

166
AMINOSÄUREN UND PROTEINE
167

BW
BASISWISSEN
3

Festigung des Wesentlichen

Alles im Blick

1 Spiegelbildisomerie und Fischer-Projektionsformeln

Chirale Moleküle (griech. über Hand) verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild. Dieses Phänomen finden wir auch im Alltag: Hände und Füße sind chiral. Moleküle, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten, nennt man **Spiegelbildisomere** oder **Enantiomere**. Kohlenstoff-Atome mit vier verschiedenen Substituenten heißen **asymmetrisch substituierbare Kohlenstoff-Atome** (Chiralitätszentren) und werden als C* gekennzeichnet. Stereoisomere, die keine Enantiomere sind, bezeichnet man als **Diastereomere**. Diese Art der räumlichen Isomerie nennt man auch **Stereoisomerie**.

COOH
HO-CH-CH-CH3
L-Milchsäure D-Milchsäure

2 Optische Aktivität

Die Fähigkeit einer optisch aktiven Verbindung, die Schwingungsebene von **linear polarisiertem Licht** (Licht einer Schwingungsebene) zu drehen, wird **optische Aktivität** genannt. Bei optisch aktiven Stoffen unterscheidet man je nach Drehrichtung **rechts-** (+) und **linksdrehende** (-) Stereoisomere. Die Bezeichnungen D- und L-Enantiomere sind in der Fischer-Projektionsformel willkürlich gewählt, während es sich bei der Drehrichtung der Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht um eine rein experimentell beobachtbare Eigenschaft handelt. Aus der Bezeichnung D- bzw. L-Form lässt sich also nicht auf die Drehrichtung des linear polarisierten Lichts schließen. Die optische Aktivität kann mit einem **Polarimeter** untersucht werden.

3 Aminosäuren

Aminosäuren sind spezielle Carbonsäuren, deren Moleküle neben der Carboxyl-Gruppe (-COOH) noch mindestens eine Amino-Gruppe (-NH₂) tragen. Dabei ist eine Amino-Gruppe jeweils an das C-Atom gebunden, das der Carboxyl-Gruppe benachbart ist. Dieses C-Atom wird als α-C-Atom bezeichnet, die entsprechenden Aminosäuren nennt man α- oder 2-Aminosäuren.

Um die räumlichen Strukturen der Spiegelbildisomere in der Papierebene zu übertragen, formuliert saenstro folgende Regeln:

- Die längste Kohlenstoff-Kette wird beim Zeichnen von oben nach unten angeordnet. Das C-Atom mit der höchsten Oxidationszahl steht oben.
- Chiralitätszentren werden nach und nach in die Papierebene gebracht: Die stärksten Bindungen zeigen vom Betrachter weg, die schwächsten Bindungen zum Betrachter hin.
- Befindet sich die funktionelle Gruppe am C*-Atom auf der rechten (linken) Seite, gehört das Molekül zu den D-Enantiomeren (L-Enantiomeren).
- Die D/L-Zuordnung wird an dem Chiralitätszentrum getroffen, welches am weitesten vom höchst oxidierten C-Atom entfernt ist.

Proteine sind unter physiologischen Bedingungen, d. h. bei pH = 7,4 und einer Temperatur von 37 °C äußerst stabil. Wenn Proteine jedoch auf über 60 °C erhitzt oder mit Säuren, Laugen, organischen Lösungsmitteln oder Schwermetallsalzen versetzt werden, findet ihre Denaturierung statt. Dabei kommt es zu meist irreversiblen Veränderungen der räumlichen Proteinstruktur, die Bindungen und Wechselwirkungen der Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur werden zerstört.

4 Bildung von Peptiden

Aminosäuren reagieren in einer **Kondensationsreaktion** zu Peptiden. Dabei reagiert jeweils die Carboxyl-Gruppe des einen mit der Amino-Gruppe eines anderen Aminosäure-Moleküls. Linear abgebaute Aminosäurebausteine bilden in wässriger Lösung Zwitterionen. Sie können als Ampholyte reagieren. Der **isoelektrische Punkt (IEP)** ist der pH-Wert, bei dem Aminosäure-Moleküle in wässriger Lösung in Form von Zwitterionen vorliegen.

NC(=O)C(C)C(=O)N
Molekül Zwitterion

5 Strukturen der Proteine und ihre Denaturierung

Die Proteinstruktur wird modifiziert in die **Primärstruktur** (Aminosäuresequenz), **Sekundärstruktur** (räumliche Anordnung einzelner Abschnitte), **Tertiärstruktur** (dreidimensionale Proteinstruktur) und **Quartärstruktur** (mehrere Peptidketten) eingeteilt. Ein Beispiel für ein Protein mit Quartärstruktur ist der rote Blutfarbstoff Hämoglobin. Die Stabilisierung der dreidimensionalen Struktur erfolgt durch Ionenbindungen, Disulfidbrücken, Wasserstoffbrücken und van-der-Waals-Wechselwirkungen.

Überprüfung des Kompetenzerwerbs

Proteine sind unter physiologischen Bedingungen, d. h. bei pH = 7,4 und einer Temperatur von 37 °C äußerst stabil. Wenn Proteine jedoch auf über 60 °C erhitzt oder mit Säuren, Laugen, organischen Lösungsmitteln oder Schwermetallsalzen versetzt werden, findet ihre Denaturierung statt. Dabei kommt es zu meist irreversiblen Veränderungen der räumlichen Proteinstruktur, die Bindungen und Wechselwirkungen der Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur werden zerstört.

Die Proteinstruktur wird modifiziert in die Primärstruktur (Aminosäuresequenz), Sekundärstruktur (räumliche Anordnung einzelner Abschnitte), Tertiärstruktur (dreidimensionale Proteinstruktur) und Quartärstruktur (mehrere Peptidketten) eingeteilt. Ein Beispiel für ein Protein mit Quartärstruktur ist der rote Blutfarbstoff Hämoglobin. Die Stabilisierung der dreidimensionalen Struktur erfolgt durch Ionenbindungen, Disulfidbrücken, Wasserstoffbrücken und van-der-Waals-Wechselwirkungen.





Kohlensäurehaltige Getränke im Sommer nicht im Auto lagern!
Im Sommer kann sich im Auto durch die Sonne schnell auf über 60 °C aufheizen. Lagern sich kohlensäurehaltige Getränke bei diesem Temperaturverlauf im Auto, können Flaschen und vor allem auch Dosen explodieren. Zur Sicherheit sollten diese unter dem Sitz oder im Kofferraum aufbewahrt werden.

1.3 Beeinflussung des Gleichgewichts

Kohlensäurehaltiges Mineralwasser stellt man her, indem man unter hohem Druck Kohlendioxid in Mineralwasser einleitet. Bei der Reaktion zwischen Kohlendioxid und Mineralwasser stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein. Durch welche Bedingungen lässt sich das Gleichgewicht und damit der Kohlendioxidgehalt des Mineralwassers beeinflussen?

1.3.1 Versuche und Material

V Einfluss der Konzentration

- Gleichgewichtsreaktionen stellen für Synthesen in der chemischen Industrie eine besondere Herausforderung dar. Da die Edukte nicht vollständig umgesetzt werden, ist die Ausbeute an den gewünschten Produkten geringer als theoretisch möglich. Kann man durch Konzentrationsänderungen die Produktausbeute erhöhen?
- V1 Vermischen Sie 25 ml einer Eisen(II)-chlorid-Hechylsäurelösung (GH5.1.7) mit dem gleichen Volumen einer Kaliumthiocyanatlösung (GH5.7). Verteilen Sie die Lösung gleichmäßig auf fünf Reagenzglasröhrchen und nummerieren Sie diese von 1 bis 5.
- V2 Fügen Sie in Reagenzglas 2 eine kleine Menge festes Eisen(II)-chlorid-Hechylsäure und in Reagenzglas 3 eine kleine Menge festes Kaliumthiocyanat hinzu.
- V3 Fügen Sie in Reagenzglas 4 einige Tropfen Silbernitratlösung ($w = 2\%$, GH5.1.9) und in Reagenzglas 5 einige Tropfen Nitrosocyanid ($c = 0,1 \text{ mol/l}$, GH5.5) hinzu.
- AUSWERTUNG**
- a) Vergleichen Sie die Farbe der Lösungen in Reagenzglas 1 mit der Farbe der Lösungen in V2 und V3.
- b) Eisen(II)-Ionen Fe^{2+} und Thiocyanat-Ionen SCN^- reagieren nach der folgenden vereinfachten Reaktionsgleichung zu Eisen(III)-thiocyanat-Ionen FeSCN^{2+} : $\text{Fe}^{2+} + \text{SCN}^- \rightleftharpoons \text{FeSCN}^{2+}$ (rot)
- Übernehmen Sie die Reaktionsgleichung und notieren Sie darunter die Farben der Lösungen (V).
- c) Notieren Sie Ihre Beobachtungen aus V2 und V3 und besprechen Sie diese auf die Reaktionsgleichung.

Versuche und Material 1.3

- d) Formulieren Sie mithilfe der Versuchsergebnisse aus V2 eine begründete Aussage darüber, ob die Bildung von Eisen(III)-thiocyanat-Ionen in V1 vollständig abläuft.
- e) Die in den Reagenzglas 4 und 5 gebildeten Niederschläge bestehen aus schwachgelbem Silberthiocyanat AgSCN bzw. schwachgelbem Eisen(III)-hydroxid $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichungen für die Bildung dieser Niederschläge. Notieren Sie unter jeder Formel die Farbe der Lösungen bzw. Niederschläge.
- f) Vergleichen Sie die Farbänderung von V2 mit den Beobachtungen in Reagenzglas 4 und 5.
- g) Erklären Sie die Beobachtungen aus V2 und V3 als Antwort des Systems im Gleichgewicht auf die Veränderung der Konzentration.

ENTSORGUNG G3

V Einfluss des Drucks und der Temperatur

Leitungswasser wird mithilfe von Kohlendioxid, das sich im Wasser fest, zum Sprudelgas gemacht. Wie kann man ein Mineralwasser mit einem hohen Kohlendioxidgehalt herstellen?

- V4 Füllen Sie eine 50 ml-Spritze mit 20 ml Leitungswasser (Raumtemperatur) und befüllen Sie eine weitere Spritze mit 30 ml Kohlendioxid. Verbinden Sie beide Spritzen mit einem Druckwaage (B) und drücken Sie das Gas vorsichtig in die mit Wasser gefüllte Spritze. Verschließen Sie die befüllte Spritze mit dem Hahn und schrauben Sie die leere Spritze ab.
- V5 Stellen Sie insgesamt drei Ansätze nach V4 her. Legen Sie eine Spritze bei Raumtemperatur, eine Spritze in Eiswasser, Schütteln Sie die befüllte Spritze vorsichtig und stellen Sie sie auf den Stempel. Lesen Sie das statische Gasvolumen ab, sobald es sich nicht mehr verändert.
- V6 Stellen Sie einen Ansatz nach V4 her. Geben Sie dieses Mal zunächst so viele Tropfen Bromthymolblau-Indikatrlösung (GH5.1.7) zu, bis das Wasser leicht gelblich färblich ist. Verteilen Sie die Lösung gleichmäßig auf zwei weiteren Spritzen und verschließen Sie die Spritzen mit einem Luert-Lock-Verschluss. (Anleitung zum Vorbereiten der Spritze und Informationen zum Luert-Lock-Verschluss siehe

QR-/Mediencode 06011-04). Erzeugen Sie in den Spritzen einen Unterdruck, indem Sie den Stempel leicht nach oben ziehen. Fixieren Sie den Stempel, indem Sie einen Nagel durch das Loch im Stempel stecken. Entfernen Sie vorsichtig den Nagel aus einer der Spritzen und drücken Sie den Stempel in die Spritze. Schützen Sie die Spritze dabei leicht und wiederholen Sie das Zusammendrücken bei Bedarf. Die andere Spritze dient als Vergleich.

AUSWERTUNG

- a) Vergleichen Sie die Volumina in V5 und formulieren Sie eine Je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen.
- b) Die Reaktion zwischen Kohlendioxid und Wasser zu Kohlendioxidverbindung verläuft exotherm. Die Rückreaktion, bei der Kohlendioxid freigesetzt wird, verläuft demzufolge endotherm. Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V5 den Einfluss der Temperatur auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.
- c) Bromthymolblau-Indikator färbt sich im sauren Milieugelb, im neutralen grün und im alkalischen Blau. Erklären Sie vor diesem Hintergrund die Beobachtung von V6 auch mithilfe von Reaktionsgleichungen.
- d) Formulieren Sie mithilfe von V6 eine Je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei Druckänderung.
- e) Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V6 den Einfluss des Drucks auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.

ENTSORGUNG A

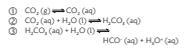
Erarbeiten und Nacharbeiten

1.3 Beeinflussung des Gleichgewichts

1.3.3 Einfluss des Drucks und der Temperatur

Gekoppelte Gleichgewichte

Kohlensäurehaltiges Mineralwasser ist sehr beliebt. Das Trinkwasser wird dazu mit Kohlendioxid versetzt. Dabei löst sich das Gas in Wasser und ein Teil des gelösten Kohlendioxids reagiert mit dem Wasser zu Kohlensäure (2). Die sehr instabilen Kohlenstoffsäure-Moleküle reagieren mit Wasser-Molekülen in einer Säure-Base-Reaktion zu Hydrogencarbonat-Ionen und Chlorid-Ionen (3), die für den sauren Charakter der Lösung verantwortlich sind.



Wie man erkennen kann, hängen diese Gleichgewichte zusammen. Man spricht von **gekoppelten Gleichgewichten**.

Einfluss der Temperatur

Stellt man sein kohlensäurehaltiges Mineralwasser z.B. zu Hause mithilfe eines Wasserzupfens selbst her, wird empfohlen, möglichst kaltes Wasser zu verwenden, wenn man viel Kohlendioxid in Wasser lösen möchte. Auf der anderen Seite kommt es leicht zum Übersprudeln von kohlensäurehaltigen Getränken, wenn man diese im Sommer unverschütt öffnet. Die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser nimmt mit steigender Wassertemperatur ab.



B3 In 20 ml Wasser (mit Bromthymolblau) wurden 30 ml Kohlendioxid gelöst. Wassertemperatur: 50 °C (links), 0 °C (rechts).

(V5, B3), u. a. die Bildung von Kohlenstoffsäure aus Kohlendioxid und Wasser (2) exotherm verläuft. Bei unvollständigen Reaktionen gilt: Ist die Hinreaktion exotherm, so ist die Rückreaktion endotherm und umgekehrt.

Nimmt die Temperatur zu, wird das chemische Gleichgewicht gestört. Die endotherme Rückreaktion zu Kohlendioxid und Wasser (2) wird begünstigt. Die Erhöhung der Konzentration des in Wasser gelösten Kohlendioxids verschiebt das Gleichgewicht zwischen gasförmigem und gelöstem Kohlendioxid (1) auf die Seite des gasförmigen Kohlendioxids. Umgekehrt nimmt die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei geringerer Wassertemperatur zu. Das System reagiert auf die Abkühlung, indem die exotherme Hinreaktion verstärkt wird. Aus Kohlendioxid und Wasser wird vermehrt Kohlenstoffsäure gebildet (2). Durch die Abnahme der Konzentration des in Wasser gelösten Kohlendioxids verschiebt sich das Gleichgewicht zwischen gasförmigem und gelöstem Kohlendioxid (1) auf die Seite des gasförmigen Kohlendioxids.

Neueinstellung des Gleichgewichts

Stellt sich ein chemisches Gleichgewicht aufgrund von Temperaturänderung neu ein, beeinflusst dies auch die Gleichgewichtskonstante K_c und bei Temperaturänderung gleichermaßen die Reaktionsenthalpie der exothermen Reaktion ist von links nach rechts negativ.

Einfluss des Drucks

In einem geschlossenen System stellt sich ein Gleichgewicht zwischen gasförmigen und in Wasser gelösten Kohlendioxid ein (V4). Vermindert man den Druck im System, kann man beobachten, dass sich Gasbläschen bilden und sich die Farbe der Lösung ändert. Der Bromthymolblau-Indikator zeigt an, dass sich der pH-Wert erhöht (V6, B4).

Durch die Druckverminderung verschiebt sich das chemische Gleichgewicht zur Seite des gasförmigen Kohlendioxids. Die Konzentration



B4 Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei Normaldruck (links) und bei vermindertem Druck (rechts).

des in Wasser gelösten Kohlendioxids nimmt ab und die chemischen Gleichgewichte in (1) und (2) verschieben sich auf die Seite der Edukte. Die Abnahme der Konzentration der Chlorid-Ionen führt zu einer Erhöhung des pH-Werts.

Ein erhöht man den Druck wieder, verschiebt sich das chemische Gleichgewicht in die umgekehrte Richtung. Durch das verringerte Volumen der Gasphase verschiebt sich das gasförmige Kohlendioxid in Wasser bei Druckänderung. Die Konzentration der Chlorid-Ionen steigt und der pH-Wert sinkt (V6).

Wiederherstellung des Gleichgewichts

Bei Gleichgewichtsreaktionen, an denen gasförmige Stoffe beteiligt sind, werden durch Druckänderung beeinflusst. Eine Druckverminderung bewirkt, dass sich die Lage des chemischen Gleichgewichts durch Druckänderung beeinflusst.

Wird der Druck vermindert, stellt sich das chemische Gleichgewicht neu ein, indem sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase erhöht. Eine Druckverminderung hingegen führt dazu, dass sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase vermindert (B5).

Die Druckverminderung beeinflusst die Gleichgewichtskonstante K_c (genauso wie bei der Konzentrationsänderung) nicht. Durch die Volumenvergrößerung nimmt die Konzentration der gasförmigen Stoffe ab. In Reaktion (1) nimmt daher die Konzentration beider Stoffe ab. Es

Vom Experiment zur Erkenntnis

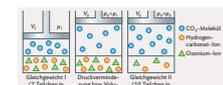
QR-/Mediencode 06011-04. Erzeugen Sie in den Spritzen einen Unterdruck, indem Sie den Stempel leicht nach oben ziehen. Fixieren Sie den Stempel, indem Sie einen Nagel durch das Loch im Stempel stecken. Entfernen Sie vorsichtig den Nagel aus einer der Spritzen und drücken Sie den Stempel in die Spritze. Schützen Sie die Spritze dabei leicht und wiederholen Sie das Zusammendrücken bei Bedarf. Die andere Spritze dient als Vergleich.

AUSWERTUNG

- a) Vergleichen Sie die Volumina in V5 und formulieren Sie eine Je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen.
- b) Die Reaktion zwischen Kohlendioxid und Wasser zu Kohlendioxidverbindung verläuft exotherm. Die Rückreaktion, bei der Kohlendioxid freigesetzt wird, verläuft demzufolge endotherm. Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V5 den Einfluss der Temperatur auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.
- c) Bromthymolblau-Indikator färbt sich im sauren Milieugelb, im neutralen grün und im alkalischen Blau. Erklären Sie vor diesem Hintergrund die Beobachtung von V6 auch mithilfe von Reaktionsgleichungen.
- d) Formulieren Sie mithilfe von V6 eine Je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei Druckänderung.
- e) Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V6 den Einfluss des Drucks auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.

ENTSORGUNG A

Beeinflussung des Gleichgewichts 1.3



B5 Modell zum Einfluss des Drucks: entzerte solange gasförmiges Kohlendioxid, bis der Quotient im MWG wieder den Wert von K_c erreicht.

Bei Gleichgewichtsreaktionen benötigt eine Temperaturerhöhung den Ablauf der endothermen und eine Temperaturverminderung den Ablauf der exothermen Reaktion. In diesem Fall stellt sich ein neues chemisches Gleichgewicht mit einem neuen Wert für K_c ein. K_c ist eine temperaturunabhängige Konstante.

Gleichgewichtsreaktionen, an denen gasförmige Stoffe beteiligt sind, werden durch Druckänderung beeinflusst. Eine Druckverminderung bewirkt, dass sich die Lage des chemischen Gleichgewichts durch Druckänderung beeinflusst.

Wird der Druck vermindert, stellt sich das chemische Gleichgewicht neu ein, indem sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase erhöht. Eine Druckverminderung hingegen führt dazu, dass sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase vermindert (B5).

Die Druckverminderung beeinflusst die Gleichgewichtskonstante K_c (genauso wie bei der Konzentrationsänderung) nicht. Durch die Volumenvergrößerung nimmt die Konzentration der gasförmigen Stoffe ab. In Reaktion (1) nimmt daher die Konzentration beider Stoffe ab. Es

AUFGABEN

- A1 Bei der Herstellung von kohlensäurehaltigen Mineralwasser wird unter hohem Druck Kohlendioxid in das Wasser eingebracht. Öffnet man die Mineralwasserflasche, bilden sich im Wasser kleine Gasbläschen. Erklären Sie diese Beobachtung.
- A2 Erläutern Sie die Temperaturabhängigkeit von K_c anhand der auf dieser Seite beschriebenen Versuchsergebnisse und mithilfe des MWG.

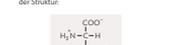
A AUFGABEN

Zum Üben und Weiterdenken

- A1 Alanin ist eine nicht essenzielle Aminosäure, die häufig als Baustein in Proteinen zu finden ist. Beachten Sie:
- Geben Sie beide Enantiomere von Alanin in der Fischer-Projektion an.
 - Erläutern Sie, dass Alanin wie fast alle in der Natur vorkommenden Aminosäuren optisch aktiv ist.
 - Beschreiben Sie, wie man mithilfe eines Experimentes D- und L-Alanin voneinander unterscheiden kann.



A2 Die Aminosäure Cystein ist ein Feststoff mit folgenden Struktur:

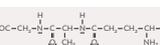


- Erhitzen man Cystein stark, so schmilzt die Verbindung unter Zersetzung. Erklären Sie diese Beobachtung.
- Wie verläuft die Synthese von Cystein bei den elektrophilen Substitutionen (E₂) von S₂O₈²⁻ und begründen Sie den Begriff IEP an diesem Beispiel.
- Zu der wässrigen Lösung von Cystein wird ein verdünnter Salzsäure gegeben, ein anderes Mal verdünnte Natrihydroxid. Formulieren Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen und beschreiben die jeweils ablaufenden Vorgänge.
- Erläutern Sie die besondere Rolle der Aminosäure Cystein im Zusammenhang zur räumlichen Struktur von Eweil-Molekülen.

- Geben Sie die Strukturformel von Histamin unter Berücksichtigung der Angaben in der Aufgabe an.
- Erklären Sie, dass es sich bei der Aminosäure Histidin um ein Ampholyt handelt.
- Schmerzmittel Rötungen und Nasenbluten lassen sich nach einem Wespennest auch mit einem sogenannten „Schockhalt“ behandeln. Dabei handelt es sich um einen elektrischen Stoß, welcher durch kurzzeitiges Erwärmen auf ca. 50 °C eine Schmerzänderung verursacht. Erläutern Sie die Wirkungsweise des „Schockhalt“ bei der Behandlung von Rötungen und Nasenbluten nach einem Wespennest.

A4 Rote Blutkörperchen enthalten in hoher Konzentration das Tripeptid Glutathion.

- Geben Sie die Aminosäurebausteine an, aus denen Glutathion aufgebaut ist.
- Bei Glutathion handelt es sich aufgrund der besonderen Peptidbindungen nicht um ein echtes Tripeptid. Erläutern Sie dessen Sachverhalt.



- Erläutern Sie die Art der zwischenmolekularen Wechselwirkungen und chemischen Bindungen, die Aminosäure-Reste im Glutathion-Molekül zu anderen Glutathion-Molekülen ausbilden können.

T3 Das Faserprotein Keratin

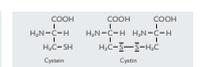
Keratin ist ein Faserprotein, welches von tierischen und menschlichen Organismen gebildet wird. Das menschliche Haar besteht zu 90 % aus Keratin. Keratin enthält die Aminosäure Cystein. In Cystein-Molekülen ist je ein Schwefel-Atom in der hochreaktiven Sulfhydryl-Gruppe (-SH) gebunden. Zwischen den Cystein-Molekülen der Polypeptidketten im Protein entstehen stabile Querverbindungen in Form von Disulfidbrücken. Beim Frisieren der Haare werden die räumlichen Strukturen im Keratin gestört. Um die Haare neu zu formen, müssen die Disulfid-Brücken zwischen den Polypeptidketten zunächst durch chemische Prozesse gelöst werden und nach Formgebung der Haare erneut ausgebildet werden (B1). Eine relativ neue Form der Dauerwelle ist die Cystein-Dauerwelle. Sie erfolgt in zwei Schritten. Schritt 1: Das Haar wird zunächst mit einer Cysteinlösung behandelt. In der anschließenden Cysteinlösung kann Cystein nachgewiesen werden. Schritt 2: Nachdem die Haare in die gewünschte Form gebracht wurden, behandelt man sie mit einer Wasserstoffperoxidlösung. Diese fixiert die Dauerwelle.



B1 Disulfidbrücken im Protein

AUFGABEN

- Beschreiben Sie die Struktur der Aminosäure Cystein und leiten Sie begründet zwei Eigenschaften für diese Verbindung ab.
- 0,1 mol/l Cysteinlösung besitzt einen kleinen pH-Wert als eine Cysteinlösung gleicher Stoffmengenkonzentration. Begründen Sie diesen Sachverhalt.
- Beide Lösungen werden einmal mit verdünnter Salzsäure und einmal mit verdünnter Natrihydroxid versetzt. Entschärfen Sie, ob jeweils eine chemische Reaktion stattfindet und formulieren Sie für die ablaufenden Reaktionen Reaktionsgleichungen.
- Erklären Sie anhand einer Gleichung aus B3, dass es sich um eine Säure-Base-Reaktion nach Brønsted handelt.
- 0,1 mol/l Cysteinlösung besitzt einen kleinen pH-Wert als eine Cysteinlösung gleicher Stoffmengenkonzentration. Begründen Sie diesen Sachverhalt.
- Beide Lösungen werden einmal mit verdünnter Salzsäure und einmal mit verdünnter Natrihydroxid versetzt. Entschärfen Sie, ob jeweils eine chemische Reaktion stattfindet und formulieren Sie für die ablaufenden Reaktionen Reaktionsgleichungen.
- Erklären Sie anhand einer Gleichung aus B3, dass es sich um eine Säure-Base-Reaktion nach Brønsted handelt.
- Berechnen Sie den Massenanteil der im Keratin gebundenen Cysteinbausteine. Geben Sie davon an, dass Keratin einen Massenanteil an Schwefel von 5 % aufweist.
- Formulieren Sie begründete Vermutungen zu den chemischen Prozessen der Cystein-Dauerwelle.
- Erläutern Sie die Rolle von Wasserstoffperoxid nach seiner Verwendung in der Cystein-Dauerwelle.
- Bewerten Sie die Aussage des Herstellers, wonach der Einsatz von Cystein als Enriecher der Haare minimal belastet.



B2 Strukturformeln des Cystein- und Cystin-Moleküls

Vielfältiges Übungsmaterial ...

... auch zur Vorbereitung auf Klausuren



Die zahlreichen Versuche und die Materialien sind passend für die Erkenntnisgewinnung ausgewählt und konzipiert.



Kohlensäurehaltige Getränke im Sommer nicht im Auto lagern!
Im Sommer kann sich ein Auto durch die Sonne schnell auf über 80 °C aufheizen. Lagert man kohlensäurehaltige Getränke bei diesen Temperaturen länger im Auto, können Flaschen und Dosen explodieren. Zur Sicherheit sollten diese unter dem Sitz oder im Kofferraum aufbewahrt werden.

1.3 Beeinflussung des Gleichgewichts

Kohlensäurehaltiges Mineralwasser stellt man her, indem man unter hohem Druck Kohlenstoffdioxid in Mineralwasser einleitet. Bei der Reaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Mineralwasser stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein. Durch welche Bedingungen lässt sich das Gleichgewicht und damit der Kohlensäuregehalt des Mineralwassers beeinflussen?

1.3.1 Versuche und Material

V Einfluss der Konzentration

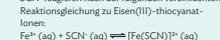
Gleichgewichtsreaktionen stellen für Synthesen in der chemischen Industrie eine besondere Herausforderung dar. Da die Edukte nicht vollständig umgesetzt werden, ist die Ausbeute an den gewünschten Produkten geringer als theoretisch möglich. Kann man durch Konzentrationsänderungen die Produktausbeute erhöhen?

V1 Vermischen Sie 25 ml einer Eisen(III)-chlorid-Hexahydratlösung (GHS 5 [7]) mit dem gleichen Volumen einer Kaliumthiocyanatlösung (GHS 7). Verteilen Sie die Lösung gleichmäßig auf fünf Reagenzgläser und nummerieren Sie diese von 1 bis 5.

V2 Fügen Sie in Reagenzglas 2 eine kleine Menge festes Eisen(III)-chlorid-Hexahydrat und in Reagenzglas 3 eine kleine Menge festes Kaliumthiocyanat hinzu.

V3 Fügen Sie in Reagenzglas 4 einige Tropfen Silbernitratlösung (w = 2 %, GHS 5 [9]) und in Reagenzglas 5 einige Tropfen Natronlauge (c = 0,1 mol/L, GHS 5) hinzu.

AUSWERTUNG
a) Vergleichen Sie die Farbe der Lösung in Reagenzglas 1 mit der Farbe der Lösungen in V2 und V3.
b) Eisen(III)-Ionen Fe³⁺ und Thiocyanat-Ionen SCN⁻ reagieren nach der folgenden vereinfachten Reaktionsgleichung zu Eisen(III)-thiocyanat-Ionen:



Übernehmen Sie die Reaktionsgleichung und notieren Sie darunter die Farben der Lösungen (V1).
c) Notieren Sie Ihre Beobachtungen aus V2 und beziehen Sie diese auf die Reaktionsgleichung.

- d) Formulieren Sie mithilfe der Versuchsergebnisse aus V2 eine begründete Aussage darüber, ob die Bildung von Eisen(III)-thiocyanat-Ionen in V1 vollständig abläuft.
- e) Die in den Reagenzgläsern 4 und 5 gebildeten Niederschläge bestehen aus schwerlöslichem Silberthiocyanat AgSCN bzw. schwerlöslichem Eisen(III)-hydroxid Fe(OH)₃. Entwickeln Sie die Reaktionsgleichungen für die Bildung dieser

- Niederschläge. Notieren Sie unter jede Formel die Farbe der Lösungen bzw. Niederschläge.
- f) Vergleichen Sie die Farbänderung von V2 mit den Beobachtungen in Reagenzglas 4 und 5.
- g) Erklären Sie die Beobachtungen aus V2 und V3 als „Antwort des Systems im Gleichgewicht auf die Veränderung der Konzentration“.

ENTSORGUNG G3

V Einfluss des Drucks und der Temperatur

Leitungswasser wird mithilfe von Kohlenstoffdioxid, das sich im Wasser löst, zum Sprudeln gebracht. Wie kann man ein Mineralwasser mit einem hohen Kohlensäuregehalt herstellen?

V4 Füllen Sie eine 50-ml-Spritze mit 20 ml Leitungswasser (Raumtemperatur) und befüllen Sie eine weitere Spritze mit 30 ml Kohlenstoffdioxid. Verbinden Sie beide Spritzen mit einem Dreiweghahn (B) und drücken Sie das Gas vorsichtig in die mit Wasser gefüllte Spritze. Verschließen Sie die befüllte Spritze mit dem Hahn und schrauben Sie die leere Spritze ab.



B1 Befüllen der Spritze mit Kohlenstoffdioxid

V5 Stellen Sie insgesamt drei Ansätze nach V4 her. Lagern Sie eine Spritze bei Raumtemperatur, eine Spritze in einem Wasserbad bei 50 °C und die letzte Spritze in Eiswasser. Schütteln Sie die befüllte Spritze vorsichtig und stellen Sie sie auf den Stempel. Lesen Sie das restliche Gasvolumen ab, sobald es sich nicht mehr verändert.

V6 Stellen Sie einen Ansatz nach V4 her. Geben Sie dieses Mal zunächst so viele Tropfen Bromthymolblau-Indikatorlösung (GHS 2 [7]) in das zur besseren Sichtbarmachung leicht alkalische Wasser, bis sich das Wasser deutlich verfärbt. Verteilen Sie die Lösung gleichmäßig auf zwei weitere Spritzen und verschließen Sie die Spritzen mit einem Luer-Lock-Verschluss. (Anleitung zum Vorbereiten der Spritze und Informationen zum Luer-Lock-Verschluss siehe

QR-/Mediencode 06011-04). Erzeugen Sie in den Spritzen einen Unterdruck, indem Sie den Stempel kräftig nach oben ziehen. Fixieren Sie den Stempel, indem Sie einen Nagel durch das Loch im Stempel stecken. Entfernen Sie vorsichtig den Nagel aus einer der Spritzen und drücken Sie den Stempel in die Spritze. Schütteln Sie die Spritze dabei leicht und wiederholen Sie das Zusammendrücken bei Bedarf. Die andere Spritze dient als Vergleich.

AUSWERTUNG

- a) Vergleichen Sie die Volumina in V5 und formulieren Sie eine je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser mit unterschiedlichen Temperaturen.
- b) Die Reaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Wasser zu Kohlensäurelösung verläuft exotherm. Die Rückreaktion, bei der Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, verläuft demzufolge endotherm. Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V5 den Einfluss der Temperatur auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.
- c) Bromthymolblau-Indikator färbt sich im sauren Milieu gelb, im neutralen grün und im alkalischen Blau. Erklären Sie vor diesem Hintergrund die Beobachtung von V6 auch mithilfe von Reaktionsgleichungen.
- d) Formulieren Sie mithilfe von V6 eine je-desto-Beziehung für die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser bei Druckänderung.
- e) Leiten Sie aus Ihren Beobachtungen in V6 den Einfluss des Drucks auf die Lage des chemischen Gleichgewichts ab.

ENTSORGUNG A

Ein einleitender Text sowie ein Problemeinstieg zu jedem Versuch stellen einen Kontext her.

Auswertungsfragen führen Schritt für Schritt zur Erkenntnis.

Anschauliche Grafiken oder Fotos verdeutlichen die Sachverhalte.

Die ausführlichen Lesetexte sind verständlich geschrieben und erleichtern den Schülerinnen und Schülern die eigenständige Erarbeitung und selbstständige Nachbereitung des Lernstoffs.

1.3 Beeinflussung des Gleichgewichts
Beeinflussung des Gleichgewichts 1.3

1.3.3 Einfluss des Drucks und der Temperatur

Gekoppelte Gleichgewichte
Kohlensäurehaltiges Mineralwasser ist sehr beliebt. Das Trinkwasser wird dazu mit Kohlendioxid versetzt. Dabei löst sich das Gas in Wasser (1) und ein Teil des gelösten Kohlendioxids reagiert mit dem Wasser zu Kohlensäure (2). Die sehr instabilen Kohlensäure-Moleküle reagieren mit Wasser-Molekülen in einer Säure-Base-Reaktion zu Hydrogencarbonat-Ionen und Oxonium-Ionen (3), die für den sauren Charakter der Lösung verantwortlich sind.

$$\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$$

$$\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$$

$$\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$$

Wie man erkennen kann, hängen diese Gleichgewichte zusammen. Man spricht von **gekoppelten Gleichgewichten**.

Einfluss der Temperatur
Stellt man sein kohlensäurehaltiges Mineralwasser zuhause mithilfe eines Wassersprudlers selbst her, wird empfohlen, möglichst kaltes Wasser zu verwenden, wenn man viel Kohlendioxid im Wasser lösen möchte. Auf der anderen Seite kommt es leicht zum Übersprudeln von kohlensäurehaltigen Getränken, wenn man diese im Sommer unverschützt öffnet. Die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser nimmt mit steigender Wassertemperatur ab.

B3 In 20 mL Wasser (mit Bromthymolblau-Indikator) wurden 30 mL Kohlendioxid gelöst. Wassertemperatur: 50 °C (links), 20 °C (Mitte), 0 °C (rechts)

B4 Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser bei Normaldruck (links) und bei vermindertem Druck (rechts)

on des im Wasser gelösten Kohlendioxids nimmt ab und die chemischen Gleichgewichte in (2) und (3) verschieben sich auf die Seite der Edukte. Die Abnahme der Konzentration der Oxonium-Ionen führt zu einer Erhöhung des pH-Werts. Erhöht man den Druck wieder, verschiebt sich das chemische Gleichgewicht in die umgekehrte Richtung. Durch das verringerte Volumen der Gasphase löst sich das gasförmige Kohlendioxid im Wasser. Die Systeme in den chemischen Gleichgewichten (2) und (3) reagieren entsprechend auf die Erhöhung der Konzentration des in Wasser gelösten Kohlendioxids und werden zur Seite der Produkte verschoben. Die Konzentration der Oxonium-Ionen steigt und der pH-Wert sinkt (V6).

Wiedereinstellung des Gleichgewichts
Bei Gleichgewichtsreaktionen, an denen Gase beteiligt sind, lässt sich die Lage des chemischen Gleichgewichts durch Druckänderung beeinflussen. Wird der Druck vermindert, stellt sich das chemische Gleichgewicht erneut ein, indem sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase erhöht. Eine Druckerhöhung hingegen führt dazu, dass sich die Anzahl der Moleküle in der Gasphase vermindert (B5). Die Druckänderung beeinflusst die Gleichgewichtskonstante K_f (genauso wie bei der Konzentrationsänderung) nicht. Durch die Volumenerhöhung nimmt die Konzentration der gasförmigen Stoffe ab. In Reaktion (1) nimmt daher die Konzentration beider Stoffe ab. Es

B5 Modell zum Einfluss des Drucks
entsteht solange gasförmiges Kohlendioxid, bis der Quotient im MWG wieder den Wert von K_f erreicht.

Bei Gleichgewichtsreaktionen begünstigt eine Temperaturerhöhung den Ablauf der endothermen und eine Temperaturverminderung den Ablauf der exothermen Reaktion. In diesem Fall stellt sich ein neues chemisches Gleichgewicht mit einem neuen Wert für K_f ein. K_f ist eine temperaturabhängige Konstante.

Gleichgewichtsreaktionen, an denen gasförmige Stoffe beteiligt sind, werden durch Druckänderung beeinflusst. Eine Druckerhöhung begünstigt die Reaktion, bei der die Teilchenanzahl in der gasförmigen Phase geringer ist. Umgekehrt verschiebt eine Druckverminderung die Reaktion, bei der die Teilchenanzahl in der Gasphase höher ist. K_f bleibt unverändert.

AUFGABEN
A1 Bei der Herstellung von kohlensäurehaltigem Mineralwasser wird unter hohem Druck Kohlendioxid in das Wasser eingeleitet. Öffnet man die Mineralwasserflasche, bilden sich in Wasser kleine Gasbläschen. Erklären Sie diese Beobachtung.
A2 Erläutern Sie die Temperaturabhängigkeit von K_f anhand der auf dieser Seite beschriebenen Versuchsergebnisse und mithilfe des MWG.

62 REAKTIONSGESCHWINDIGKEIT UND CHEMISCHE GLEICHGEWICHTE
REAKTIONSGESCHWINDIGKEIT UND CHEMISCHE GLEICHGEWICHTE 63

Zahlreiche Grafiken und Fotos veranschaulichen die Inhalte.

Viele Abschnitte gliedern die Texte. Ein Merkekasten am Ende jeder Doppelseite fasst das Wichtigste in prägnanter Sprache zusammen.

1.4 HABER-BOSCH-Verfahren
HABER-BOSCH-Verfahren 1.4

1.4.2 Die technische Ammoniaksynthese

Bedeutung
Alle Lebewesen brauchen für ihr Wachstum Stickstoff. Seine Atome stellen einen zentralen Bestandteil pflanzlicher, tierischer und menschlicher Proteine dar. Im Ackerbau wird Mist und Kompost, auf die Felder ausgebracht, um den Pflanzen ausreichend Stickstoffverbindungen zur Verfügung zu stellen. Abgesehen vom Luftstickstoff, der nur von wenigen Organismen genutzt werden kann (M1), existieren auf der Erde nur vereinzelt stickstoffhaltige Mineralien.

Historischer Kontext
In Chile gibt es Lagerstätten von Natriumnitrat. Diese wurden im 19. Jahrhundert in großem Maßstab abgebaut und als Chilesalpeter nach Europa exportiert, um als Mineraldünger das Pflanzenwachstum zu verbessern. Der profitable Abbau führte um 1880 sogar zum Salpeterkrieg mehrerer Länder um diese Lagerstätten.

Verbesserte Lebensbedingungen während der Industriellen Revolution hatten eine enorme Zunahme der Bevölkerung zur Folge, die von der Landwirtschaft ernährt werden musste. Der britische Chemiker WILLIAM CROOKES warnte deshalb 1898 vor einer weltweiten Hungersnot durch fehlenden Stickstoffdünger und veranlasste, Stickstoff nach Möglichkeiten zu forschen, den verstärkt aus der Luft in für Pflanzen nutzbare Stickstoffverbindungen umzuwandeln. „Brot aus Luft“ avancierte zum Schlagwort der Zeit.

Nach jahrelangen Forschungen gelang es Anfang des 20. Jahrhunderts Wissenschaftlern und Ingenieuren um FRIZ HABER und CARL BOSCH, einen Prozessablauf zu entwickeln, mit dem Luftstickstoff erfolgreich in Form von **Ammoniak** gebunden werden kann.

Herstellung Ammoniak
Heute stellt Ammoniak eine wichtige Grundchemikalie dar. Über 200 Mio. Tonnen werden jährlich weltweit produziert. 80 % davon werden zu Düngemitteln umgewandelt, der Rest wird zur Herstellung zahlreicher anderer Produkte

verwendet, ohne die unser tägliches Leben nicht denkbar wäre (B1).

B1 Verwendung von Ammoniak

Im **HABER-BOSCH-Verfahren** (B2 auf S. 67) wird Ammoniak aus den Elementen Stickstoff und Wasserstoff synthetisiert. Während Stickstoff in der Luft bereits elementar vorliegt, muss Wasserstoff in einem vorgeschalteten Prozess erst erzeugt werden.

Erzeugung des Synthesegasgemischs
Wasserstoff lässt sich durch Reduktion von Wasser herstellen. Großtechnisch wird diese Reduktion mit einer Oxidation kohlenstoffhaltiger Energieträger kombiniert – früher hauptsächlich Kohle, heute fast ausschließlich Erdgas. Da die resultierende Redoxreaktion bei hohen Temperaturen abläuft, liegt das Wasser dabei als Wasserdampf vor. Man spricht deshalb auch von **Dampfpreformierung** (engl. steam reforming).

Im **Primärreformer** (1) wird Wasserdampf mit entschwefeltem Erdgas (v. a. Methan) in einer stark endothermen Reaktion zu Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid bei etwa 800 °C an einem Katalysator umgesetzt:

$$\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \quad | \text{endotherm}$$

Im **Primärreformer** setzt sich das Methan nur unvollständig um. Erhöht wird die Ausbeute von Wasserstoff im **Sekundärreformer** (2) durch die Zufuhr von Luft bei ca. 1000 °C. Der Luftsaauerstoff oxidiert verbleibendes Methan in einer exothermen Reaktion zu Kohlenstoffmonoxid. Dabei wird weiterer Wasserstoff freigesetzt.

$$2 \text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{CO}(\text{g}) + 4 \text{H}_2(\text{g}) \quad | \text{exotherm}$$

Durch die Luftzufuhr kommt an dieser Stelle auch der für die Synthese benötigte Stickstoff zu dem Gasgemisch. Er reagiert jedoch aufgrund der stabilen Dreifachbindung seiner Moleküle unter diesen Reaktionsbedingungen noch nicht. Durch Steuerung der zugeführten Luftmenge lässt sich bereits hier das richtige Volumenverhältnis von Stickstoff zu Wasserstoff auf 1 : 3 einstellen.

Neben Stickstoff und Wasserstoff liegt im Gasgemisch nun auch Kohlenstoffmonoxid vor, das als Katalysatortoxikant wirkt. Um es zu entfernen, wird das Gasgemisch als nächstes in der **Konvertierungsanlage** (3) mit weiterem Wasserdampf versetzt. Damit reagiert das Kohlenstoffmonoxid in einer exothermen Reaktion zu weiterem Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid:

$$\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \quad | \text{exotherm}$$

Das Kohlenstoffdioxid lässt sich durch **Gaswäsche** (4) entfernen.

Synthese von Ammoniak
Das so vorliegende Gasgemisch aus Stickstoff und Wasserstoff wird nun durch einen Wärmetauscher geleitet und dort vorgewärmt. Anschließend wird es in einem Kompressor verdichtet und in die **Reaktor** (5) geleitet. Bei einer Temperatur von ca. 400–500 °C und einem Druck von ca. 15–30 MPa entsteht hier an einem Katalysator in einer exothermen Reaktion Ammoniak als Stickstoffverbindung:

$$\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{g}) \quad | \text{exotherm}$$

Anschließend wird das Gasgemisch aus Ammoniak, Wasserstoff und Stickstoff abgekühlt, sodass Ammoniak kondensiert und im **Abscheider** (6) als Flüssigkeit abgetrennt werden kann. Stickstoff und Wasserstoff werden wieder komprimiert und erneut im Kreislauf dem Reaktor zugeführt (B2).

B2 Überblick über das HABER-BOSCH-Verfahren

Das **HABER-BOSCH-Verfahren** ermöglicht die großtechnische Umwandlung von Luftstickstoff in eine reaktive Stickstoffverbindung. Aus Methan, Luft und Wasserdampf wird über mehrere Gleichgewichtsreaktionen Ammoniak erzeugt.

AUFGABEN
A1 Nennen Sie wichtige Chemikalien, die aus Ammoniak hergestellt werden, sowie deren Bedeutung in unserem Alltag (B1).
A2 Analysieren Sie für die vier aufgeführten Gleichgewichtsreaktionen im HABER-BOSCH-Verfahren jeweils, welche Möglichkeiten bestehen, um das Gleichgewicht auf die Seite der Produkte zu verschieben.
A3 Erklären Sie, dass das Volumenverhältnis von Stickstoff zu Wasserstoff auf 1 : 3 eingestellt wird.
A4 Das Auswaschen von Kohlenstoffdioxid (3) wird z. B. mit Kaliumcarbonatlösung durchgeführt. Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung dafür.
A5 Begründen Sie die Abhängigkeit des Ammoniakpreises vom Preis fossiler Brennstoffe.

68 REAKTIONSGESCHWINDIGKEIT UND CHEMISCHE GLEICHGEWICHTE
REAKTIONSGESCHWINDIGKEIT UND CHEMISCHE GLEICHGEWICHTE 69

Die Informationen in der Randspalte liefern weiterführende Hinweise, Bezüge zu anderen Kapiteln und digitales Zusatzmaterial (z. B. Videos) über QR-Codes.

Wichtige Fachbegriffe werden gesondert hervorgehoben. Die Aufgaben am Ende jeder Doppelseite ermöglichen kleinschrittiges Üben direkt nach Erarbeitung des neuen Stoffs.

Die konsequent umgesetzte Methodenschulung trainiert Kompetenzen, auch im Bereich digitaler Medien.

MK MEDIENKOMPETENZ

1.2.4 Das chemische Gleichgewicht simulieren

Um den Einfluss der Ausgangskonzentration c_0 und der Geschwindigkeitskonstanten k auf die Einstellung des chemischen Gleichgewichts zu untersuchen, kann man dieses mithilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms simulieren.

Während der Einstellung des chemischen Gleichgewichts bei der Gleichgewichtsreaktion $A \rightleftharpoons B$ reagiert Edukt A mit der Geschwindigkeit $v_{\text{vor}} = \frac{\Delta c(A)}{\Delta t} = k_{\text{vor}} \cdot c(A)$ zu Produkt B. Gleichzeitig reagiert Produkt B mit der Geschwindigkeit $v_{\text{rück}} = \frac{\Delta c(B)}{\Delta t} = k_{\text{rück}} \cdot c(B)$ zu Edukt A. Mit $\Delta c(A)$ und $\Delta c(B)$ kann man $c(A)$ und $c(B)$ zu verschiedenen Zeitpunkten berechnen.

Gegeben sind $c_0(A) = 1 \text{ mol/L}$, $k_{\text{vor}} = 0,005 \text{ 1/s}$; $c_0(B) = 0 \text{ mol/L}$ und $k_{\text{rück}} = 0,001 \text{ 1/s}$. Berechnen Sie das Verhältnis von Produkt zu Edukt im Gleichgewichtszustand, wenn $c_0(A)$ um das 100-Fache erhöht wird.

VORGEHEN

- Benennen Sie die Felder A1–C1 mit Zeitintervall [s], khin, khück und die Felder A4–C4 mit [mol/L], $c(A)$ [mol/L], $c(B)$ [mol/L]. Tragen Sie die bekannten Werte ein und legen Sie das Zeitintervall auf 60 s fest. Legen Sie unter t [min] 50 Zeitpunkte mit fortlaufender Nummerierung, beginnend mit 0, an (B1).
- Nach einer Minute hat sich die Anfangskonzentration von A $c_0(A)$ bzw. B $c_0(B)$ um $\Delta c(A)$ bzw. $\Delta c(B)$ verändert. Da A bei der Reaktion von A zu B verbraucht und gleichzeitig bei der Reaktion von B zu A gebildet wird, hängt $\Delta c(A)$ von den Reaktionsgeschwindigkeiten von A und B ab. Stellen Sie die Gleichung zur Berechnung von $c(A)$ und $c(B)$ zum Zeitpunkt t auf.

$$c_1(A) = c_0(A) - \Delta c(A) \text{ bzw. } c_1(B) = c_0(B) + \Delta c(B)$$

mit $\frac{\Delta c(A)}{\Delta t} = -k_{\text{vor}} \cdot c(A) + k_{\text{rück}} \cdot c(B)$ bzw. $\frac{\Delta c(B)}{\Delta t} = -k_{\text{rück}} \cdot c(B) + k_{\text{vor}} \cdot c(A)$

$$c_1(A) = c_0(A) + [-k_{\text{vor}} \cdot c_0(A) + k_{\text{rück}} \cdot c_0(B)] \cdot \Delta t$$

$$c_1(B) = c_0(B) + [-k_{\text{rück}} \cdot c_0(B) + k_{\text{vor}} \cdot c_0(A)] \cdot \Delta t$$

- Übertragen Sie die Gleichungen zur Berechnung in das Tabellenkalkulationsprogramm (B1). (Hinweis: Σ kennzeichnet, dass diese Werte bei der Übernahme der Formeln für spätere Zeitpunkte gleich bleiben)

$$c_2(A) = c_1(A) + [-k_{\text{vor}} \cdot c_1(A) + k_{\text{rück}} \cdot c_1(B)] \cdot \Delta t$$

$$B6: B5 + (-C5E2 * BS + C5E2 * CS) * AS2$$

$$c_2(B) = c_1(B) + [-k_{\text{rück}} \cdot c_1(B) + k_{\text{vor}} \cdot c_1(A)] \cdot \Delta t$$

$$C6: C5 + (-C5E2 * C5 + B5E2 * BS) * AS2$$

Übernehmen Sie die Formeln für die übrigen Zeitpunkte, indem Sie in der Formel B5 bzw. C5 automatisch durch B6 bzw. C6 usw. ersetzen. Klicken Sie dazu die Zelle B5 bzw. C5 an und fahren Sie mit dem Cursor auf die untere rechte Ecke der Zelle. Ziehen Sie das erscheinende + bei gedrückter linker Maustaste nach unten.

t	A	B	C	D
0	1	0		
1	0,995	0,005		
2	0,99	0,01		
3	0,985	0,015		
4	0,98	0,02		

B1 Ansicht im Tabellenkalkulationsprogramm

- Lesen Sie ab, wann sich das Gleichgewicht eingestellt hat und berechnen Sie mit den Gleichgewichtskonzentrationen $c_{\text{eq}}(A)$ und $c_{\text{eq}}(B)$ das Verhältnis von Produkt und Edukt. Das Gleichgewicht hat sich nach 16 Minuten mit $c_{\text{eq}}(A) = 0,167 \text{ mol/L}$ und $c_{\text{eq}}(B) = 0,833 \text{ mol/L}$ eingestellt. Das Verhältnis von Produkten zu Edukten ist = 4,99. (Hinweis: Je nach Rundung können die Werte abweichen).
- Erhöhen Sie $c_0(A)$ auf 100 mol/L und beschreiben Sie, wie sich das Verhältnis von Edukt und Produkt im Gleichgewichtszustand verändert. Das Verhältnis zwischen Produkten zu Edukten im Gleichgewichtszustand beträgt unverändert 4,99.

AUFGABEN

- Stellen Sie den Konzentrationsverlauf des Edukts und Produkts im Tabellenkalkulationsprogramm mit einem Diagramm für $c_0(A) = 1 \text{ mol/L}$ und einem Diagramm für $c_0(A) = 100 \text{ mol/L}$ dar. Vergleichen Sie die beiden Diagramme. (Informationen zur Diagrammstellung unter QR-/Mediencode 06011-03)
- Beschreiben Sie die Auswirkungen auf das chemische Gleichgewicht, wenn a) k_{vor} halbiert wird, b) $k_{\text{rück}}$ 0,009 1/s ist und c) k_{vor} und $k_{\text{rück}}$ 0,005 1/s sind.

FM FACHMETHODE

1.2.6 Berechnungen mit dem Massenwirkungsgesetz durchführen

Die Gleichgewichtskonstante K wurde für viele Reaktionen mithilfe experimentell gemessener Gleichgewichtskonzentrationen berechnet und tabelliert. Mit ihrer Hilfe kann man z. B. bestimmen, ob sich das Gleichgewicht einer Reaktion bereits eingestellt hat und wie hoch die Konzentration der Stoffe im Gleichgewicht sind. Außerdem kann man damit vorhersagen, wie hoch die Ausbeute eines gewünschten Produkts ist.

Die Gleichgewichtskonstante einer Reaktion berechnen

- In einem Behälter mit dem Volumen $V = 5 \text{ L}$ hat sich zwischen Stickstoff ($n_{\text{N}_2} = 5,05 \text{ mol}$), Wasserstoff ($n_{\text{H}_2} = 8 \text{ mol}$) und Ammoniak ($n_{\text{NH}_3} = 0,5 \text{ mol}$) ein Gleichgewicht eingestellt. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K für die Reaktion.
- Zur Herstellung von Schwefelsäure wird Schwefeldioxid ($c_0 = 8 \text{ mol/L}$) mit Sauerstoff ($c_0 = 5 \text{ mol/L}$) bei $726 \text{ }^\circ\text{C}$ zu Schwefeltrioxid oxidiert. Im Gleichgewicht beträgt die Konzentration von Schwefeltrioxid $7,56 \text{ mol/L}$. Berechnen Sie die Gleichgewichtskonstante K für die Reaktion.

VORGEHEN

- Formulieren Sie eine Reaktionsgleichung: $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$
- Geben Sie den mathematischen Ausdruck für die Gleichgewichtskonstante K an. $K = \frac{c(\text{NH}_3)^2}{c(\text{N}_2) \cdot c(\text{H}_2)^3}$
- Entnehmen Sie die Größen, die zur Berechnung notwendig sind, aus der Aufgabenstellung oder, falls nötig, berechnen Sie diese mithilfe der Angaben. Berechnen Sie die Stoffmengenkonzentrationen.

gegeben	gesucht
$V = 5 \text{ L}$	$c_{\text{eq}}(\text{N}_2)$
$n_{\text{N}_2} = 5,05 \text{ mol}$	$c_{\text{eq}}(\text{H}_2)$
$n_{\text{H}_2} = 8 \text{ mol}$	$c_{\text{eq}}(\text{NH}_3)$
$n_{\text{NH}_3} = 0,5 \text{ mol}$	$c_{\text{eq}}(\text{O}_2)$
$c_{\text{eq}}(\text{N}_2) = \frac{n_{\text{N}_2}}{V} = \frac{5,05 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 1,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	
$c_{\text{eq}}(\text{H}_2) = \frac{n_{\text{H}_2}}{V} = \frac{8 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	
$c_{\text{eq}}(\text{NH}_3) = \frac{n_{\text{NH}_3}}{V} = \frac{0,5 \text{ mol}}{5 \text{ L}} = 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$	

- Setzen Sie die Größen in das MWG ein und berechnen Sie den Wert für K . $K = \frac{(0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{(1,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}) \cdot (1,6 \frac{\text{mol}}{\text{L}})^3} = 2,41 \cdot 10^{-3} \frac{\text{L}^2}{\text{mol}^2}$

- $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$

gegeben	gesucht
$c_0(\text{SO}_2) = 8 \text{ mol/L}$	$c_{\text{eq}}(\text{SO}_2)$
$c_0(\text{O}_2) = 5 \text{ mol/L}$	$c_{\text{eq}}(\text{O}_2)$
$c_{\text{eq}}(\text{SO}_3) = 7,56 \text{ mol/L}$	

$c_{\text{eq}}(\text{SO}_2)$ und $c_{\text{eq}}(\text{O}_2)$ lassen sich mithilfe ihrer Ausgangskonzentrationen c_0 und der Konzentration von Schwefeltrioxid im Gleichgewicht $c_{\text{eq}}(\text{SO}_3)$ berechnen. Aus den stöchiometrischen Faktoren in der Reaktionsgleichung lässt sich der Zusammenhang zwischen der Konzentration von Schwefeltrioxid mit den Konzentrationen von Schwefeldioxid und Sauerstoff im chemischen Gleichgewicht ableiten. Das Verhältnis von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid ist 1:1. Das Verhältnis von Sauerstoff zu Schwefeltrioxid ist 1:2. Durch Umlinieren kann man daraus die Konzentration von Schwefeldioxid und Sauerstoff aus der Konzentration von Schwefeltrioxid bestimmen: $\frac{c(\text{SO}_2)}{c(\text{SO}_3)} \cdot 1 \rightarrow c(\text{SO}_2) = c(\text{SO}_3)$ $\frac{c(\text{O}_2)}{c(\text{SO}_3)} \cdot 2 \rightarrow c(\text{O}_2) = \frac{1}{2} c(\text{SO}_3)$

Bei der Bildung von Schwefeltrioxid verringern sich die Anfangskonzentrationen von Schwefeldioxid um die Konzentration des gebildeten Schwefeltrioxids. Die Anfangskonzentration von Sauerstoff verringert sich um die Hälfte der Konzentration des gebildeten Schwefeltrioxids: $c_{\text{eq}}(\text{SO}_2) = c_0(\text{SO}_2) - c_{\text{eq}}(\text{SO}_3)$ $c_{\text{eq}}(\text{O}_2) = c_0(\text{O}_2) - \frac{1}{2} c_{\text{eq}}(\text{SO}_3)$

	SO_2	O_2	SO_3
c_0 [mol/L]	8	5	0
c_{eq} [mol/L]	$(8 - 7,56)$ $= 0,44$	$(5 - \frac{1}{2} \cdot 7,56)$ $= 1,22$	7,56

Exkurse machen Chemie lebendig und unterstützen fächerübergreifendes Unterrichten.

E EXKURS

1.4.5 Großtechnische Synthese von Schwefelsäure

Neben Ammoniak gibt es einen zweiten wichtigen Grundstoff, der überwiegend zur Herstellung mineralischer Düngemittel verwendet wird: Schwefelsäure. In der Natur entsteht Schwefelsäure nur selten unter extremen Bedingungen wie im Geothermalgebiet Dallol (B1) oder in der Atmosphäre als Bestandteil des sauren Regens – die Bildung scheint nicht trivial zu sein. Mit einer Weltjahresproduktion von etwa 150 Mio. Tonnen ist Schwefelsäure jedoch eine der weltweit meistproduzierten anorganischen Chemikalien. Wie wird Schwefelsäure industriell hergestellt?



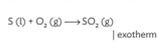
B1 Natürlich entstandener Schwefelsäureteufel im Geothermalgebiet Dallol in Äthiopien

Als Edukte für die Synthese von Schwefelsäure H_2SO_4 wird neben Luft und Wasser nur Schwefel benötigt. Dieser wird überwiegend aus Schwefelwasserstoff gewonnen, der in großen Mengen als Abfallprodukt bei der Schwefelung fossiler Rohstoffe wie Erdgas und Erdöl anfällt. Außerdem wird Schwefel in manchen Ländern auch in Schwefelergästen abgebaut.

Die großtechnische Synthese erfolgt heute fast überall im sogenannten **Doppelkontaktverfahren** (B2).

Überblick
Generell lässt sich die Synthese in drei Schritten unterteilen:

1) Verbrennung von Schwefel: Im Verbrennungskessel wird flüssiger, auf ca. $150 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzter Schwefel fein zerstäubt mit Luft umgesetzt. Dabei reagiert der Luftsauerstoff mit dem Schwefel zu Schwefeldioxid.



2) Oxidation von Schwefeldioxid: Das heiße Schwefeldioxid-Luft-Gemisch wird durch einen Abtitzkessel geleitet und gelangt so auf ca. $450 \text{ }^\circ\text{C}$ gekühlt in den Kontaktkessel. Dort findet die katalytische Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid statt:



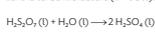
3) Reaktion mit Schwefelsäure: Das gebildete Schwefeltrioxid reagiert nur langsam und in geringem Ausmaß direkt mit Wasser zu Schwefelsäure. Deshalb leitet man das Gas aus dem Kontaktkessel zunächst in konzentrierte Schwefelsäure ein, die in den Absorbiervorrichtungen vorliegt. In Schwefelsäure löst sich das Schwefeltrioxid vollständig und bildet dabei Dischwefelsäure:



Es entsteht ein Gemisch aus Dischwefelsäure, Schwefelsäure und gelöstem Schwefeltrioxid, das auch

als „rauchende Schwefelsäure“ bezeichnet wird. Das enthaltene Schwefeltrioxid entwickelt leicht aus der Lösung und bildet dann mit der Luftfeuchtigkeit einen Nebel aus Schwefelsäuretröpfchen.

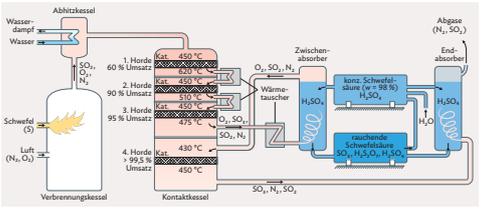
4) Reaktion mit Wasser: Durch Zutritt von Wasser zur rauchenden Schwefelsäure hydrolysiert diese in einem zweiten Schritt zu konzentrierter Schwefelsäure ($w = 98 \text{ } \%$):



Sowohl rauchende als auch konzentrierte Schwefelsäure sind gefragte Chemikalien im Handel.

SO_2/SO_3 -Gleichgewicht im Kontaktkessel
Der entscheidende Schritt bei der Synthese der Schwefelsäure ist die Oxidation von Schwefeldioxid zu Schwefeltrioxid im Kontaktkessel.

Ähnlich wie bei der Ammoniaksynthese im HABER-BOSCH-Verfahren handelt es sich auch hier um eine exotherme Reaktion, deren Pro-



B2 Schematischer Aufbau einer Anlage zur Schwefelsäuresynthese nach dem Doppelkontaktverfahren

duktanteil im Gleichgewicht mit steigender Temperatur sinkt. Nach dem Prinzip von LE CHATELIER wäre deshalb für eine hohe Ausbeute an Schwefeltrioxid eine möglichst geringe Temperatur günstig. Dabei sinkt allerdings auch die Reaktionsgeschwindigkeit so stark, dass die Reaktion fast zum Erliegen kommt. Durch den Einsatz eines Katalysators aus Vanadium(V)-oxid V_2O_5 lässt sich die Reaktionsgeschwindigkeit ausreichend beschleunigen. Der Katalysator ist allerdings nur zwischen ca. $420 \text{ }^\circ\text{C}$ und $620 \text{ }^\circ\text{C}$ wirksam. Die freigesetzte Reaktionswärme muss deshalb zwischendurch mehrfach mittels Wärmetauschern abgeführt werden. Der Kontaktkessel ist deshalb als **Hordenkontaktkessel** aufgebaut. Der Katalysator liegt auf insgesamt vier Horden (Rosten), die das Gasgemisch aus Luft, Schwefeldioxid und zunehmend mehr Schwefeltrioxid durchströmt. Nach jeder Horde werden die Produktgase durch einen Wärmetauscher geleitet und so wieder auf eine günstige Temperatur abgekühlt. Die Ausbeute an

Schwefeltrioxid steigt entsprechend bei jedem Schritt. Nachdem die Gase drei Horden durchdrungen haben, werden sie durch konzentrierte Schwefelsäure im Zwischenabsorbier geleitet. Dabei wird dem Gasgemisch das bereits entstandene Schwefeltrioxid entzogen; es reagiert zu Dischwefelsäure. Nach dem Prinzip von LE CHATELIER wird seine Nachbildung an der vierten Horde durch Entzug des Produkts gefördert. Weitere Maßnahmen zur Beeinflussung des Gleichgewichts im Kontaktkessel sind ein deutlicher Überschuss an Luft sowie in manchen Anlagen ein erhöhter Druck.

Durch den Einbau des Zwischenabsorbierers (Doppelkontakt) wurde der Anteil des nicht umgesetzten Schwefeltrioxids im Vergleich zu früheren Anlagen deutlich verringert. Das ist besonders wichtig, da das verbleibende Schwefeldioxid als Abgas in die Luft geleitet wird und dort zur Bildung von saurem Regen beiträgt.

AUFGABEN

- Recherchieren Sie Einsatzfelder für Schwefelsäure für die Herstellung von Produkten in und außerhalb der Landwirtschaft.
- Fassen Sie alle Aspekte zusammen, die im Kontaktkessel einen möglichst hohen Anteil an Schwefeltrioxid im Gleichgewicht bewirken. Begründen Sie die Effekte der eingesetzten Reaktionsbedingungen.
- Erläutern Sie den Aufbau des Kontaktkessels sowie die Vorteile des Doppelkontaktverfahrens in Bezug auf die Umwelt.
- Vergleichen Sie die Reaktionsbedingungen zur Beeinflussung des Gleichgewichts bei der Ammoniaksynthese nach dem HABER-BOSCH-Verfahren (Kap. 14.2) mit denen der Schwefelsäuresynthese.

Vielfältiges Aufgabenmaterial hilft beim Üben.

A AUFGABEN
3

Zum Üben und Weiterdenken

A1 Alanin ist eine nicht essenzielle Aminosäure, die häufig als Baustein in Proteinen zu finden ist.

- Geben Sie beide Enantiomere von Alanin in der *rische*-Projektion an.
- Erläutern Sie, dass Alanin wie fast alle in der Natur vorkommenden Aminosäuren optisch aktiv ist.
- Beschreiben Sie, wie man mithilfe eines Experiments D- und L-Alanin voneinander unterscheiden kann.

A2 Die Aminosäure Cystein ist ein Feststoff mit folgender Struktur:

$$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ | \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{C} - \text{H} \\ | \\ \text{CH}_2 - \text{SH} \end{array}$$

- Erhitzt man Cystein sehr stark, so schmilzt die Verbindung unter Zersetzung. Erklären Sie diese Beobachtung.
- Eine wässrige Lösung von Cystein hat den isoelektrischen Punkt (IEP) von 5,0. Erläutern und begründen Sie den Begriff IEP an diesem Beispiel.
- Zu der wässrigen Lösung von Cystein wird einmal verdünnte Salzsäure gegeben, ein anderes Mal verdünnte Natronlauge. Formulieren Sie die entsprechenden Reaktionsgleichungen und beschreiben die jeweils ablaufenden Vorgänge.
- Erläutern Sie die besondere Rolle der Aminosäure Cystein im Zusammenhang zur räumlichen Struktur von Eweiß-Molekülen.

A3 Histamin ist neben vielen anderen Komponenten wie Proteinen, Aminosäuren und Enzymen ein Bestandteil des Wespengifts, das allergische Reaktionen wie die Nesselschwellung auslösen kann. Histamin wird im Körper mithilfe von Enzymen aus der Aminosäure Histidin durch Abspaltung von Kohlenstoffdioxid gebildet.



Histidin

- Geben Sie die Strukturformel von Histidin unter Berücksichtigung der Angaben in der Aufgabe an.
- Erläutern Sie, dass es sich bei der Aminosäure Histidin um einen Ampholyt handelt.
- Schmerzhafte Rötungen und Nesseln lassen sich nach einem Wespengift auch mit einem sogenannten „Sichtheiler“ behandeln. Dabei handelt es sich um einen elektrischen Stift, welcher durch kurzzeitiges Erwärmen auf ca. 50 °C eine Schmerzlinderung verspricht. Erläutern Sie die Wirkungsweise des „Sichtheilers“ bei der Behandlung von Rötungen und Nesseln nach einem Wespengift.

A4 Rote Blutkörperchen enthalten in hoher Konzentration das Tripeptid Glutathion.

- Geben Sie die Aminosäurebausteine an, aus denen Glutathion aufgebaut ist.
- Bei Glutathion handelt es sich aufgrund der besonderen Peptidbindungen nicht um ein echtes Tripeptid. Erläutern Sie diesen Sachverhalt.

$$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{SH}}{\underset{|}{\text{N}}}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\underset{|}{\text{C}}}-\underset{\text{H}}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{CH}-\underset{\text{NH}_2}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{COOH}$$

- Erläutern Sie die Art der zwischenmolekularen Wechselwirkungen und chemischen Bindungen, die Aminosäure-Reste im Glutathion-Molekül zu anderen Glutathion-Molekülen ausbilden können.

A5 Bei einem Tripeptid stellt man folgende Aminosäuresequenz fest: Glycin-Lysin-Glutaminsäure (Glycin: 2-Aminoethansäure, Lysin: 2,6-Diaminohexansäure, Glutaminsäure: 2-Aminopentandisäure)

- Geben Sie die Strukturformel dieses Tripeptids an.
- Mit diesem Tripeptid werden die Biuretreaktion und die Xanthoproteinderivatsreaktion durchgeführt. Beschreiben Sie diese Nachweisreaktionen und begründen Sie die zu erwartenden Beobachtungen.
- In der biochemischen Forschung und medizinischen Diagnostik spielt die Spaltung von Proteinen und die Identifizierung der Aminosäure-Bausteine eine immer größere Rolle. Erläutern Sie ein Verfahren zur Spaltung dieses Tripeptids in seine Aminosäure-Bausteine. Nennen Sie den Reaktionstyp.
- Geben Sie ein Verfahren an, mit dem man die Aminosäuren aus c) nach der Hydrolyse des Tripeptids identifizieren kann. Erläutern Sie die Verfahrensweise und die Möglichkeit zur Identifizierung.

A6 In sehr heißen Quellen, z. B. im Yellowstone Nationalpark in Wyoming (USA), findet man überraschenderweise noch Lebewesen mit funktionstüchtigen Proteinen.



Diese hitzeresistenten Mikroorganismen tolerieren Temperaturen bis knapp über 100 °C. Solche hohen Temperaturen werden in heißen Quellen am Meeresboden erreicht, wo geothermisch erhitztes Wasser unter höherem Druck steht. Der Mikroorganismus *Pyrobolus fumarius* („der Feuerlappen aus dem Kamin“) zeigt die größte Hitzeresistenz und kann sich bei einer Temperatur von 113 °C sogar noch vermehren.

- Stellen Sie eine Vermutung auf, was man normalerweise für die Proteine dieser Organismen bei den hohen Temperaturen erwarten würde. Erläutern Sie unter Verwendung von Fachbegriffen.
- Erläutern Sie, welche Besonderheiten in der Proteinstruktur dieser Mikroorganismen die Ursache für die hohe Hitzeresistenz sein könnten. Diskutieren Sie verschiedene Möglichkeiten.

A7 Das Enzym Urease ist ein Protein, welches besonders in Pflanzensamen, wirbellosen Tieren, Bakterien und Pilzen vorkommt. Urease spaltet das Substrat Harnstoff, wobei unter anderem Ammonium-Ionen NH₄⁺ und Hydroxid-Ionen OH⁻ entstehen. Um die Wirkung der Urease zu untersuchen, wird folgendes Experiment durchgeführt: In ein Becherglas gibt man 40 mL einer Harnstofflösung. Nach einer Minute werden 10 mL Urease-Suspension zugegeben und nach weiteren drei Minuten wird eine Spaltelektrode eines wasserlöslichen Bleisalzes zugegeben. Während des gesamten Versuchs wird bei konstanter Temperatur laufend die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Man erhält die im folgenden Diagramm dargestellten Messwerte:



- Beschreiben Sie den Verlauf des Graphen.
- Erläutern Sie den im Diagramm dargestellten Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit.
- Erläutern Sie die Wirkung der Blei-Ionen auf die Urease auf Teilchenebene.

164 AMINOSÄUREN UND PROTEINE
AMINOSÄUREN UND PROTEINE 165

Materialbasierte Aufgaben erlauben das Arbeiten in größeren Zusammenhängen, ideal zur Vorbereitung auf Klausuren.

KC KOMPETENZCHECK
3

Klausuraufgaben

T1 Eiklar

Eiklar besteht zu 90 % aus Wasser und zu 10 % aus kugelförmig verknäuelten Proteinen, überwiegend Ovalbumin, dessen Molekül u. a. die Reste der Aminosäuren Alanin, Serin, Isoleucin, Asparagin enthält (B1).

Wenn man Eiklar schaumig schlägt, entsteht zähflüssiger Schaum. Werden beim Schlagen ein wenig Zitronensaft und Zucker zugegeben, wird der Schaum fester. Lässt man gequarkten Schaum länger als 15 Minuten an der Luft stehen, zerfällt er. Durch das Backen innerhalb von ca. 90 Minuten bei ca. 120 °C erhält man Baisers (Dessertgebäck mit eingeschlossener Luftbläschen).

$$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{R} \\ | \\ \text{NH}_2 \end{array} \quad \text{R= a) } -\text{CH}_2-\text{OH} \quad \text{b) } -\text{CH}_2-\text{C}-\text{NH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3 \quad \text{c) } -\text{CH}_2-\text{C}-\text{NH}_2 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CH}_3$$

B1 Seitenketten der Moleküle von a) Se, b) Ile und c) Asn

T2 Histidin

Histidin (B1) ist eine Aminosäure, die basisch wirkt und als Eweißbaustein weit verbreitet ist. Der Histidingehalt der Eweißkomponente des Blutes (pH = 7,4) beträgt ca. 11 %. Unter dem Einfluss von Fäulnisbakterien spaltet Histidin leicht Kohlenstoffdioxid ab und geht in Histamin über.

Aminosäuren kann man z. B. aus dem Pflanzensaft der Aloe Vera gewinnen. Dieser Pflanzensaft enthält eine Vielzahl von Mineralien, Enzymen und auch essenzielle Aminosäuren (z. B. Histidin).

Man kann Aminosäuren auch synthetisch herstellen. Um Alanin zu synthetisieren, wird zunächst Propansäure mit Chlor umgesetzt. Lässt man die 2-Chlorpropansäure einige Tage in konzentrierter Ammoniaklösung stehen, bildet sich Alanin.

$$\begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{Cl} \\ | \\ \text{H} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

B1 Seitenkette des Histidin-Moleküls

AUFGABEN

- Nennen Sie die Gemeinsamkeiten im Aufbau aller natürlich vorkommenden Aminosäuren.
- Ordnen Sie die gegebenen Aminosäuren den neutralen, sauren oder basischen Aminosäuren zu.
- Geben Sie die Strukturformel eines möglichen Isomers von Isoleucin an. Leiten Sie daraus zwei Eigenschaften von Isoleucin ab.

A2 a) Zeichnen Sie die genannte Aminosäuresequenz als Strukturformel mit allen bindenden und nichtbindenden Elektronenpaaren.
b) Kennzeichnen Sie die unpolare bzw. polare Seitenketten und erklären Sie die gute Wasserlöslichkeit des Ovalbumins.

A3 a) Erläutern Sie die Veränderungen des Ovalbumins beim Schlagen und Backen.
b) Begründen Sie die Wirkung des Zusatzes von Zitronensaft und das Zerfallen des gequarkten Eweißschaumes an der Luft.

AUFGABEN

- Geben Sie die Strukturformeln der Aminosäuren Glycin (Aminoethansäure) und Alanin (Aminopropansäure) in der *rische*-Projektion an.
b) Im Gegensatz zu Monocarbonsäuren vergleichbarer Molekülmasse sind Aminosäuren kristalline Stoffe mit relativ hoher Schmelztemperatur. Begründen Sie diese Unterschiede.

A2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen zur Bildung von Alanin und für die Umwandlung von Histidin in Histamin unter Verwendung von *rische*-Projektionen.

A3 Beschreiben Sie eine Möglichkeit, ein Gemisch aus Alanin, Glutaminsäure und Histidin zu trennen.

A4 0,155 g Histidin werden in 20 mL Salzsäure der Stoffmengenkonzentration c = 0,1 mol/L gelöst.

- Formulieren Sie die Reaktionsgleichung.
- Ermitteln Sie rechnerisch, ob dadurch eine vollständige Protonierung möglich ist.

A4 Leiten Sie eine mögliche Funktion von Histidin im menschlichen Blut ab.

T3 Das Faserprotein Keratin



Keratin ist ein Faserprotein, welches von tierischen und menschlichen Organismen gebildet wird. Das menschliche Haar besteht zu 90 % aus Keratin. Keratin enthält die Aminosäure Cystein. In Cystein-Molekülen ist je ein Schwefel-Atom in der hochreaktiven Sulfhydryl-Gruppe -SH gebunden. Zwischen den Cystein-Moleküleesten der Polypeptidketten im Protein entstehen stabile Querverbindungen in Form von Disulfidbrücken. Beim Frisieren der Haare werden die räumlichen Strukturen im Keratin gezielt verändert. Um die Haare permanent zu wellen, müssen die Disulfid-Brücken zwischen den Polypeptidketten zunächst durch chemische Prozesse aufgebrochen und nach Formgebung des Haares erneut ausgebildet werden (B1). Eine relativ neue Form der Dauerwelle ist die Cystein-Dauerwelle. Sie erfolgt in zwei Schritten. Schritt 1: Das Haar wird zunächst mit einer Cysteinlösung behandelnd. In der ausgespülten Cysteinlösung kann Cystin nachgewiesen werden. Schritt 2: Nachdem die Haare in die gewünschte Form gebracht wurden, behandelt man sie mit einer Wasserstoffperoxidlösung. Diese fixiert die Dauerwelle.

$$\begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ -\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{H}_2\text{C}-\text{R} \\ | \\ \text{R} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ -\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{H}_2\text{C}-\text{R} \\ | \\ \text{R} \end{array} \quad \text{Polypeptidkette}$$

B1 Disulfidbrücken im Protein

$$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{SH} \\ \text{Cystein} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{H}_2\text{C} \\ \text{Cystin} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}_3\text{N}-\text{C}-\text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{S}-\text{S}-\text{H}_2\text{C} \\ \text{Cystin} \end{array}$$

B2 Strukturformeln des Cystein- und Cystin-Moleküls

168 AMINOSÄUREN UND PROTEINE
AMINOSÄUREN UND PROTEINE 169



Der Vorwissenstest ermöglicht die Überprüfung des vorhandenen und für das Kapitel notwendigen Wissens.

Selbsteinschätzung zu Beginn: Was kann ich? Was nicht?

KC KOMPETENZCHECK
3

Startklar?

Schätzen Sie Ihre Kompetenz in den Bereichen A bis E ein und prüfen Sie sich anhand der entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06011-12).

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig
A IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen			
B Die Säure-Base-Theorie nach BRÖNSTED anwenden			
C Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen			
D Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern			
E Kondensation am Beispiel erläutern			

KOMPETENZ A: IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen

A1 Benennen Sie folgende Moleküle nach der IUPAC-Nomenklatur und ordnen Sie diese einer zugehörigen organischen Stoffgruppe (z. B. Alkane) zu.

a) CCCC

b) CCCC

c) CCCC

d) CCCC

A2 Entwickeln Sie die Strukturformeln folgender Verbindungen und kennzeichnen Sie jeweils die funktionelle Gruppe.

a) Butan-2-ol d) Ethan-1,2-diol
 b) Propanal e) Methansäure
 c) Propanon f) 2,3-Dihydroxybutansäure

KOMPETENZ B: Die Säure-Base-Theorie nach BRÖNSTED anwenden

B1 Wenden Sie die Definition einer Säure und Base nach BRÖNSTED an je einem Beispiel an.

B2 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Essigsäure mit Wasser und kennzeichnen Sie die BRÖNSTED-Säure und die BRÖNSTED-Base.

B3 Milchsäure (2-Hydroxypropanensäure) wird mit Natronlauge versetzt. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für das Protolysegleichgewicht in Strukturformelschreibweise.

B4 Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für die Reaktion von Ammoniak mit Chlorwasserstoff und kennzeichnen Sie korrespondierende Säure-Base-Paare.

KOMPETENZ C: Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen

C1 Geben Sie die Art der zwischenmolekularen Wechselwirkungen an, die zwischen folgenden Molekülen wirken:

a) Wasser-Moleküle
 b) Ammoniak-Moleküle
 c) Methan-Moleküle
 d) Propan-1,2,3-triol-Moleküle
 e) Essigsäure-Moleküle

C2 Geben Sie die Art der chemischen Bindung zwischen den Teilchen in folgenden Stoffen an:

a) Natriumchlorid
 b) Magnesium
 c) Wasserstoff
 d) Chlorwasserstoff
 e) Aluminiumoxid
 f) Ethanol
 g) Eisen

KOMPETENZ D: Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern

D1 Ordnen Sie die Stoffe n-Butan, Isobutan und Propan begründet nach steigender Siedetemperatur.

D2 Alkane sind häufig in Mitteln zur Fleckenentfernung von Fettflecken enthalten. Begründen Sie diese Verwendung.

D3 Erläutern Sie, dass n-Heptan bei Raumtemperatur flüssig und n-Dodecan zähflüssig ist.

D4 In der biochemischen Forschung und medizinischen Diagnostik spielt die Methode der Dünnschichtchromatografie eine immer größere Rolle. Erläutern Sie dieses Stofftrennverfahren anhand einer Skizze.

KOMPETENZ E: Kondensation am Beispiel erläutern

E1 Essigsäureethylester entsteht durch eine Kondensationsreaktion.

a) Formulieren Sie die Reaktionsgleichung für diese Reaktion.

b) Erläutern Sie an diesem Beispiel den Reaktionstyp Kondensation.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 462 und geben Sie sich die entsprechende Punktzahl.

Kompetenz	sehr gut	gut	schwierig	zum Nachlesen
A IUPAC-Nomenklaturregeln anwenden und Moleküle Stoffklassen zuordnen	11 - 9	8 - 6	5 - 3	S. 24 - 27
B Die Säure-Base-Theorie nach BRÖNSTED anwenden	9 - 8	7 - 5	4 - 2	S. 94, 95
C Zwischenmolekulare Wechselwirkungen und Bindungsarten benennen	12 - 9	8 - 6	5 - 3	S. 32
D Struktur-Eigenschafts-Beziehungen erläutern	10 - 8	7 - 5	4 - 2	S. 24, 119
E Kondensation am Beispiel erläutern	4	3	2	S. 28, 50, 51

Danach: Bearbeitung der Aufgaben, die leicht auswertbar sind. Die Lösungen finden sich im Anhang.

Am Ende: Wo stehe ich? Vergleich zur Selbsteinschätzung

Das Basiswissen fasst wesentliche Inhalte prägnant zusammen und ist ideal zur Vorbereitung auf Klassenarbeiten geeignet.

BW BASISWISSEN
3

Alles im Blick

1 Spiegelbildisomerie und FISCHER-Projektionsformeln

Chirale Moleküle (griech. *chir*, Hand) verhalten sich zueinander wie Bild und Spiegelbild. Dieses Phänomen finden wir auch im Alltag: Hände und Füße sind chiral. Moleküle, die sich wie Bild und Spiegelbild verhalten, nennt man **Spiegelbildisomere** oder **Enantiomere**. Kohlenstoff-Atome mit vier verschiedenen Substituenten heißen **asymmetrisch substituierte Kohlenstoff-Atome** (Chiralitätszentren) und werden als C* gekennzeichnet. Stereoisomere, die keine Enantiomere sind, bezeichnet man als **Diastereomere**. Diese Art der räumlichen Isomerie nennt man auch **Stereoisomerie**.

$$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{HO}-\text{C}^*-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_3 \\ \text{L-Milchsäure} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}-\text{C}^*-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_3 \\ \text{D-Milchsäure} \end{array}$$

2 Optische Aktivität

Die Fähigkeit einer optisch aktiven Verbindung, die Schwingungsebene von **linear polarisiertem Licht** (Licht einer Schwingungsebene) zu drehen, wird **optische Aktivität** genannt. Bei optisch aktiven Stoffen unterscheidet man je nach Drehrichtung **rechts- (+)** und **linksdrehend (-)** Stereoisomere. Die Bezeichnungen D- und L-Enantiomere sind in der Fischer-Projektionsformel willkürlich gewählt, während es sich bei der Drehrichtung der Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht um eine rein experimentell beobachtbare Eigenschaft handelt. Aus der Bezeichnung D- bzw. L-Form lässt sich also nicht auf die Drehrichtung des linear polarisierten Lichts schließen. Die optische Aktivität kann mit einem **Polarimeter** untersucht werden.

3 Aminosäuren

Aminosäuren sind spezielle Carbonsäuren, deren Moleküle neben der Carboxy-Gruppe (-COOH) noch mindestens eine Amino-Gruppe (-NH₂) tragen. Dabei ist eine Amino-Gruppe jeweils an das C-Atom gebunden, das der Carboxy-Gruppe benachbart ist. Dieses C-Atom wird als α -C-Atom bezeichnet, die entsprechenden Aminosäuren nennt man α - oder γ -Aminosäuren.

Aminosäure-Moleküle bilden in wässriger Lösung Zwitterionen. Sie können als Ampholyte reagieren. Der **isoelektrische Punkt (IEP)** ist der pH-Wert, bei dem Aminosäure-Moleküle in wässriger Lösung in Form von Zwitterionen vorliegen.

4 Bildung von Peptiden

Aminosäuren reagieren in einer **Kondensationsreaktion** zu Peptiden. Dabei reagiert jeweils die Carboxy-Gruppe des einen mit der α -Amino-Gruppe eines anderen Aminosäure-Moleküls. Unter Abspaltung eines Wasser-Moleküls wird eine **Peptid-Gruppe** als neue funktionelle Gruppe gebildet. Die Spaltung eines Peptid-Moleküls durch Anlagerung eines Wasser-Moleküls wird als **Hydrolyse** bezeichnet.

5 Strukturen der Proteine und ihre Denaturierung

Die Proteinstruktur wird modellhaft in die **Primär-** (Aminosäuresequenz), **Sekundär-** (räumliche Anordnung einzelner Abschnitte), **Tertiär-** (dreidimensionale Proteinstruktur) und **Quartärstruktur** (mehrere Peptidketten) eingeteilt. Ein Beispiel für ein Protein mit Quartärstruktur ist der rote Blutfarbstoff Hämoglobin. Die Stabilisierung der dreidimensionalen Struktur erfolgt durch Ionenbindungen, Disulfidbrücken, Wasserstoffbrücken und van-der-Waals-Wechselwirkungen.

Proteine sind unter physiologischen Bedingungen, d. h. bei pH = 7,4 und einer Temperatur von 37 °C äußerst stabil. Wenn Proteine jedoch auf über 60 °C erhitzt oder mit Säuren, Laugen, organischen Lösungsmitteln oder Schwermetallsalzen versetzt werden, findet ihre Denaturierung statt. Dabei kommt es zur meist irreversiblen Veränderung der räumlichen Proteinstruktur, die Bindungen und Wechselwirkungen der Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur werden zerstört.

162 AMINOSÄUREN UND PROTEINE
163 AMINOSÄUREN UND PROTEINE

Nach Abschluss eines Kapitels können die Schülerinnen und Schüler überprüfen, ob ihr Kompetenzzuwachs dem Gewünschten entspricht. Neben den Kompetenzen des aktuellen Bildungsplans werden hier auch die Inhalte der neuen Bildungsstandards berücksichtigt.

KC KOMPETENZCHECK
3

Ziel erreicht?

Verfügen Sie über die Kompetenzen dieses Kapitels? Lösen Sie entsprechenden Aufgaben (Arbeitsblatt unter QR-/Mediencode 06011-13) und bewerten Sie sich mithilfe der Tabelle rechts unten.

KOMPETENZ A: Fischer-Projektionsformeln aufstellen

A1 Geben Sie die D- und L-Form für 2,3-Dihydroxypropanal (Glycerinaldehyd) in der Fischer-Projektionsformel an. Kennzeichnen Sie asymmetrisch substituierte Kohlenstoff-Atome.

A2 Zeichnen Sie Propan-1,2,3-triol (Glycerin) in der Fischer-Projektion und begründen Sie, ob eine D- bzw. L-Form möglich ist.

A3 Folgende Formel zeigt ein Enantiomer des Glucose-Moleküls in der Fischer-Projektion:

$$\begin{array}{c} \text{H} \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \\ | \\ \text{HO}-\text{C}^*-\text{H} \\ | \\ \text{H}-\text{C}^*-\text{OH} \\ | \\ \text{HO}-\text{C}^*-\text{H} \\ | \\ \text{HO}-\text{C}^*-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$

a) Erläutern Sie, ob es sich bei der dargestellten Fischer-Projektionsformel um das D- oder L-Enantiomer handelt.

b) Geben Sie das entsprechende Spiegelbildisomer zur dargestellten Form des Glucose-Moleküls an.

KOMPETENZ B: Spiegelbildisomerie und optische Aktivität erklären

B1 Weinsäure ist der Trivialname für 2,3-Dihydroxybutandisäure.

a) Geben Sie Strukturformeln von D- und L-Weinsäure und meso-Weinsäure in der Fischer-Projektion an.

b) Erläutern Sie, dass D- und L-Weinsäure optisch aktiv sind, meso-Weinsäure jedoch nicht.

c) Erläutern Sie eine Eigenschaft, in der sich D- und L-Weinsäure voneinander unterscheiden.

d) Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man nachweisen kann, dass D- bzw. L-Weinsäure optisch aktiv sind.

B2 Erläutern Sie, ob es sich bei Propan-1,2,3-triol (Glycerin) um eine chirale Substanz handelt.

B3 Erläutern Sie, dass ein äquimolares Gemisch von D- und L-2,3-Dihydroxypropanal (Glycerinaldehyd) optisch inaktiv ist.

KOMPETENZ C: Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren erläutern

C1 Erläutern Sie den Begriff L- α -Aminosäure an folgendem Beispiel:

$$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ | \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}^*-\text{H} \\ | \\ \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}^*-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

C2 Beschreiben Sie, was man unter einer essenziellen Aminosäure versteht.

C3 Begründen Sie die Einteilung der 22 natürlich vorkommenden Aminosäuren in Aminosäuren mit unpolaren und polaren Resten in den Molekülen sowie in saure und basische Aminosäuren.

C4 Geben Sie die Aminosäure Glycin in der Fischer-Projektionsformel an. Erläutern Sie daran, dass Glycin eine optisch inaktive Aminosäure ist.

C5 Begründen Sie, dass Aminosäure-Moleküle als Ampholyte fungieren können.

C6 Aminosäuren zeigen am isoelektrischen Punkt (IEP) keine Wanderung im elektrischen Feld. Erläutern Sie diese Beobachtung.

KOMPETENZ D: Nachweisemethoden für Aminosäuren und Proteine beschreiben

D1 Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man nachweisen kann, dass in Milchprodukten Proteine enthalten sind.

D2 Mit folgenden Lebensmitteln wird die Biuretreaktion durchgeführt:

Gelatine, Fisch, Joghurt und Orangensaft. Beschreiben Sie die zu erwartenden Beobachtungen und erklären Sie diese.

D3 Glutathion ist ein Tripeptid aus den drei verschiedenen Aminosäuren Glutaminsäure, Cystein und Glycin. Glutathion ist in fast allen Zellen des Menschen in hoher Konzentration enthalten. Es gehört zu den wichtigsten Antioxidans wirkenden Stoffen im menschlichen Körper. Erläutern Sie ein Experiment, mit dem man diese drei Aminosäuren aus dem Tripeptid zurückgewinnen und eindeutig identifizieren kann.

KOMPETENZ E: Struktur und Denaturierung von Proteinen erläutern

E1 Die Strukturformel zeigt ein Dipeptid.

$$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}^*-\text{C}^*-\text{N}-\text{C}^*-\text{COOH} \\ | \quad | \quad | \\ \text{CH}_2 \quad \text{H} \quad \text{CH}_3 \\ | \\ \text{H}_2\text{C}-\text{C}^*-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{H} \end{array}$$

a) Geben Sie die Aminosäurebausteine des Dipeptids an und benennen Sie es.

b) Formulieren Sie Bildungsreaktion des gezeigten Dipeptids.

c) Benennen Sie den Reaktionstyp der Bildungsreaktion.

d) Mit denselben Aminosäurebausteinen kann man auch ein anderes Dipeptid erhalten. Geben Sie seine Strukturformel an und benennen Sie dieses.

E2 Erläutern Sie die Ursachen, die zur Ausbildung der Tertiärstruktur eines Proteins führen können.

E3 Erläutern Sie die Vorgänge, die beim Braten eines Spiegeleis auf Teillebene ablaufen.

E4 Magensäure spielt bei der Eiweißverdauung und bei der Abtötung von Krankheitserregern eine wichtige Rolle. Erläutern Sie die Funktion der Magensäure.

Vergleichen Sie Ihre Antworten mit den Lösungen auf Seite 463 und kreuzen Sie auf dem Arbeitsblatt an.

Kompetenz	ja	nein	zum Nachlesen
A Fischer-Projektionsformeln aufstellen			S. 142, 143
B Spiegelbildisomerie und optische Aktivität erklären			S. 140 – 145
C Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren erläutern			S. 148 – 151
D Nachweisemethoden für Aminosäuren und Proteine beschreiben			S. 150
E Struktur und Denaturierung von Proteinen erläutern			S. 156 – 159

166 AMINOSÄUREN UND PROTEINE
167 AMINOSÄUREN UND PROTEINE