

Eigenschaften von Aminosäuren

Eine Gruppenarbeit
von Christiane Berger-Schaffitzel

Inhalt und Ziele:

Die Behandlung der „Eigenschaften von Aminosäuren“ ist Voraussetzung für ein Grundverständnis der Struktur und der Funktion von Proteinen. Dieses Thema schlägt daher eine Brücke zwischen Chemie und Biologie. Es können im folgenden Unterricht wichtige biochemische Prozesse behandelt werden. Die Schüler vertiefen und sichern ihr chemisches und biologisches Wissen und erhalten einen ersten Einblick in die Biochemie der Proteine.

Fachdidaktisches Review:

Urs Wuthier, Fachdidaktiker ETH Zürich

Fachliches Review:

Antonio Togni, Laboratorium für Anorganische Chemie, ETH Zürich

Publiziert auf EducETH:

25. April 2006

Rechtliches:

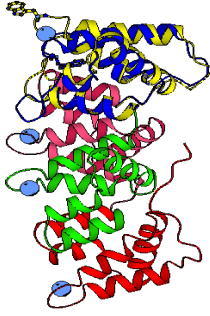
Die vorliegende Unterrichtseinheit darf ohne Einschränkung heruntergeladen und für Unterrichtszwecke kostenlos verwendet werden. Dabei sind auch Änderungen und Anpassungen erlaubt. Der Hinweis auf die Herkunft der Materialien (ETH Zürich, EducETH) sowie die Angabe der Autorinnen und Autoren darf aber nicht entfernt werden.

Publizieren auf EducETH?

Möchten Sie eine eigene Unterrichtseinheit auf EducETH publizieren? Auf folgender Seite finden Sie alle wichtigen Informationen: <http://www.educeth.ch/autoren>

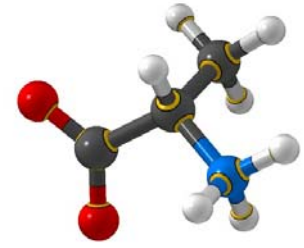
Weitere Informationen:

Weitere Informationen zu dieser Unterrichtseinheit und zu EducETH finden Sie im Internet unter <http://www.educ.ethz.ch> oder unter <http://www.educeth.ch>.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Institut für Verhaltenswissenschaft
Departement Chemie

Gruppenunterricht zum Thema
"Eigenschaften von Aminosäuren"

Fach: Chemie

Schultyp: Gymnasium, alle Typen

Adressaten: Schwerpunktfach Chemie, kurz vor der Matura

Art der Gruppenarbeit: Partner- und Kleingruppenarbeit

Dauer der Unterrichtseinheit: Ein Nachmittag (5 - 6 Unterrichtsstunden)

Autorin: Dr. Christiane Berger-Schaffitzel
Letzte Entstehung: 30.09.2003 (Letzte Überarbeitung: April 2006)
Betreuer: Christian Eggenberger

Schulerprobung: Teilweise im Schwerpunktfach an der Kantonsschule Trogen

Inhaltsverzeichnis

Leitidee und Lernziele	<u>2</u>
Vorwissen der Schüler	<u>4</u>
Sequenz der Lernaktivitäten	<u>5</u>
Informierender Unterrichtseinstieg	<u>7</u>
Aufbau von Aminosäuren	
Informationen für die Fachlehrperson	<u>8</u>
Arbeitsblätter	<u>9</u>
Lösungen zu “Aufbau von Aminosäuren”	<u>16</u>
Gruppenaktivität: Partnerarbeit - Umzusetzende wissenschaftliche Erkenntnisse	<u>19</u>
Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren	
Informationen für die Fachlehrperson	<u>20</u>
Arbeitsblätter	<u>21</u>
Lösungen zu “Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren ”	<u>29</u>
Ausgewählte Aminosäuren (Lehrervortrag)	
Informationen für die Fachlehrperson	<u>34</u>
Kontrollfragen und Antworten	<u>34</u>
Powerpoint Präsentation	
Die Peptidbindung	
Informationen für die Fachlehrperson	<u>36</u>
Anweisungen für die Gruppenarbeit	<u>37</u>
Arbeitsblätter	<u>38</u>
Lösungen zu “Peptidbindung”	<u>45</u>
Gruppenaktivität: Kleingruppenarbeit - Umzusetzende wissenschaftliche Erkenntnisse	<u>47</u>
Literatur	<u>48</u>

Leitidee:

Proteine bilden die Grundlage biologischer Vielfalt. Sie sind verantwortlich für den Aufbau und die Funktion von Zellen und Zellverbänden (Organismen). Proteine werden aus einem begrenzten Bausatz von 20 Aminosäuren synthetisiert. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften und die räumliche Anordnung dieser proteinogenen Aminosäuren bestimmen die Funktion eines Proteins. Darüber hinaus sind Aminosäuren wichtige, vielseitige Naturstoffe und essentielle Bestandteile unserer Nahrung.

Die Behandlung der „Eigenschaften von Aminosäuren“ ist Voraussetzung für ein Grundverständnis der Struktur und der Funktion von Proteinen. Dieses Thema schlägt daher eine Brücke zwischen Chemie und Biologie. Es können im folgenden Unterricht wichtige biochemische Prozesse behandelt werden (Proteinsynthese, Proteinfaltung, Enzymkatalyse).

Durch diese Unterrichtseinheit sollen die Schüler eigenständig in kleinen Gruppen die Eigenschaften von Aminosäuren erarbeiten. Sie vertiefen und sichern dabei Ihr chemisches und biologisches Wissen und erhalten einen ersten Einblick in die Biochemie der Proteine. Die Schüler werden durch diese Gruppenarbeit zu selbstständigem Denken und kooperativem Handeln ermutigt.

Dispositionsziele:

Das Thema Aminosäuren ist der Einstieg in die Proteinbiochemie. Im weiteren Verlauf des Unterrichts können die Schüler die erworbenen Kenntnisse über Aminosäuren auf komplexere Systeme wie Peptide und schliesslich Proteine übertragen und anwenden.

Die Schüler interessieren sich nach dieser Gruppenarbeit für das Thema Aminosäuren und Proteine, sowie deren biologische Funktion. Sie sind beeindruckt von der biologischen Vielfalt, die durch die Evolution von Proteinen entstanden ist. Zudem werden sie sich der wissenschaftlichen Leistung bewusst, derartige komplexe Systeme wie Proteine und ihre Eigenschaften zu erforschen.

Operationalisierte Lernziele:

1. Aufbau von Aminosäuren

- Jeder Schüler kann den grundsätzlichen Aufbau von Aminosäuren ohne Hilfsmittel aufzeichnen. Die Schüler kennen drei proteinogene Aminosäuren mit Namen und Strukturformel.
- Die Schüler können jede beliebige Aminosäure zu den unpolaren, polaren oder geladenen Aminosäuren zuordnen und ihre Zuordnung begründen.
- Die Schüler können drei Arten von Wechselwirkungen nennen, welche die Aminosäure-Seitenketten untereinander eingehen, und anhand je eines Beispiels veranschaulichen.

2. Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren

- Die Schüler können die Leitfähigkeit wässriger Aminosäure-Lösungen aufgrund der Struktur der Aminosäuren erklären. Die Ausführungen mit Skizze werden ohne Hilfsmittel angefertigt.
- Die Schüler können Voraussagen über die Löslichkeit jeder einzelnen Aminosäure treffen. Sie argumentieren mit dem Bau der Seitenkette.
- Die Schüler können ohne Hilfsmittel die Titrationskurve von Glycin skizzieren und die Pufferbereiche sowie die vorliegenden Molekülformen einzeichnen.

3. Ausgewählte Aminosäuren

- Die Schüler kennen zwei charakteristische Reaktionen der Thiolgruppe von Cystein und deren Funktion.

4. Die Peptidbindung

- Die Schüler können die Brutto-Reaktionsgleichung der Kondensationsreaktion zweier Aminosäuren zum Peptid aufzeichnen.
- Die Schüler können die Strukturformel eines vorgegebenen, einfachen Tripeptids aufzeichnen und berechnen, wie viele verschiedene Tripeptide aus den 20 proteinogenen Aminosäuren gebildet werden können.
- Die Schüler kennen die beiden Sekundärstruktur-Elemente, die eine Peptidkette ausbilden kann. Sie können diese beschreiben und skizzieren.

Lerntätigkeiten und Leistungen der Schüler in den vorangegangenen Stunden

Die Aminosäure-Unterrichtseinheit bietet sich als Abschluss eines Unterrichtsblocks über Organische Chemie oder als Einstieg in einen Biochemie-Block an. Sie eignet sich zur Vertiefung und Sicherung des Chemie-Grundverständnisses der Schüler kurz vor der Matura.

Aus dem vorangegangenen Unterricht kennen die Schüler die folgenden **Arten von Wechselwirkungen**:

- van der Waals Bindungen
- Wasserstoff-Brücken
- ionische Bindung
- Komplex-Bindung

Die Schüler sind vertraut mit den folgenden **Reaktionstypen**:

- **Säure/Base-Reaktionen**; hierzu gehören Protolysegleichgewichte in wässriger Lösung, sowie Puffersysteme. Sie können Titrationskurven interpretieren.
- **Redox-Reaktionen**
- **Komplex-Reaktionen**

Durch die vorausgegangenen Stunden über **Grundlagen der organischen Chemie** wissen die Schüler, was ein aromatisches System ist. Sie kennen einfache **Aromaten** wie Benzol und Phenol. Sie wissen, was mesomere Grenzformeln sind, und können diese für ein vorgegebenes Molekül aufzeichnen.

Sie wissen, was **optische Aktivität** ist und erkennen asymmetrische Kohlenstoffatome. Die Fischerprojektion als Darstellungsweise von asymmetrischen Kohlenstoffatomen und Verbindungen ist allen Schülern bekannt.

In den „Organische Chemie“-Stunden vor dem Aminosäure-Block haben die Schüler die Säure- / Base-Eigenschaften von **Aminen** und **Carbonsäuren** an ausgewählten Beispielen kennengelernt. Das **Konzept der funktionellen Gruppe** ist den Schülern bekannt. Sie kennen die Hydroxyl-, die Amino- und die Carboxyl-Gruppe als Gemeinsamkeit von Alkoholen, Aminen bzw. Carbonsäuren. Sie haben an diesen Substanzen gelernt, dass die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Gruppen durch die Beschaffenheit des Kohlenwasserstoffrestes beeinflusst werden.

Sie kennen Beispiele für einfache aliphatische Amine und deren Reaktion als Base, sowie einige einfache aliphatische Carbonsäuren und deren Reaktion als Säure.

Der Mechanismus der **Kondensationsreaktion** ist den Schülern durch die **Veresterung der Carbonsäuren** vertraut. Die Schüler haben diese Reaktion selbst im Labor durchgeführt.

Sequenz der Lernaktivitäten

Der Unterrichtsnachmittag beginnt mit einem „Informierenden Unterrichtseinstieg“ und einem kurzen Lehrervortrag zur Einleitung der Partnerarbeit. Pausen sind am besten nach Themenabschnitten anzusetzen.

Zeit	Unterrichtsgeschehen	Unterrichtsform	Material
5 Minuten	Einführung ins Thema	IU mit Lehrervortrag	Hellraumprojektor, Folien

Aufbau von Aminosäuren

25 Minuten	Text lesen, Fragen beantworten (schriftlich) - allgemeine Formel von AS - proteinogene Aminosäuren - Einteilung in unpolare, polare und geladene Aminosäuren	Partnerarbeit	Arbeitsblätter, Molekülmodell von Citrullin
5 Minuten	Besprechung der Partnerarbeit	Diskussion im Plenum	Hellraumprojektor, Folie

Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren

45 Minuten	Versuche durchführen - Wasserlöslichkeit verschiedener AS (10 Min.) - Leitfähigkeitsexperimente mit Glycin, Wasser und Essigsäure (15 Min.) - Pufferfähigkeit von Glycinlösung (20 Min.)	Schüler-Experiment in Partnerarbeit	Versuchsanleitung, Aminosäuren (Gly, Phe), Gesättigte und 0.1 M Glycinlösung, Essigsäure, 5 M, 1 M und 5 M HCl, 5M und 1 M NaOH, pH Meter, Leitfähigkeitsmessgerät
20 Minuten	Interpretation der Experimente - Zwitterionen, amphoterer Charakter von AS -Puffereigenschaften von Aminosäuren Text lesen, Fragen bearbeiten	Partnerarbeit	Arbeitsblätter
20 Minuten	Besprechung der Partnerarbeit	Diskussion im Plenum	Wandtafel

Ausgewählte Aminosäuren

10 Minuten	-Cystein und Cystin, Redoxreaktionen, Komplexbildung mit Metallionen	Lehrervortrag	Power point-Präsentation, Computer, Beamer Hellraumprojektor, Folie
10 Minuten	Beantworten der Fragen + Fragen der Schüler	Diskussion im Plenum	

Die Peptidbindung

30 Minuten	Text lesen, Fragen bearbeiten - Einführung der Peptidbindung - Primärstruktur / Sequenz von Proteinen (Kombinatorik) - Demonstration von dreidimensionalen Proteinstrukturen	Klein- gruppenarbeit	Arbeitsblätter, Modellbaukasten und Modelle von α -Helix, Proteinen, Peptiden
15 Minuten	Besprechung der Partnerarbeit	Diskussion im Plenum	Hellraumprojektor, Folien

Vorgehen:

Als eine Einführung in das Thema wird die Technik des Informierenden Unterrichtseinstiegs „IU“ gewählt. Die Lehrperson legt gemäss nachfolgend ausformuliertem IU die Folien in der gegebenen Reihenfolge auf.

Ausformulierter IU:

In den folgenden Stunden beschäftigen wir uns mit dem Thema Aminosäuren (Folie 1 – „Thema“). Jeder von Euch kennt Proteine als Bausteine der Zelle. Dass Aminosäuren die Bausteine der Proteine sind, ist vielleicht weniger bekannt. Tatsächlich bestehen die meisten Proteine aus nur 20 verschiedenen Aminosäuren (Folie 2 – „Grund“). Die Struktur und Eigenschaften der Aminosäuren bestimmen den Aufbau und die Funktion eines Proteins. Auch freie Aminosäuren sind im gesamten Zellbereich weit verbreitet. Teilweise haben sie sogar eine eigene biologische Funktion, zum Beispiel als Botenstoffe bei der Kommunikation zwischen Zellen.

Das Ziel (Folie 3 - „Lernziele“) dieser Unterrichtseinheit ist, dass Ihr den Aufbau und die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Aminosäuren kennenlernt. Ausserdem schauen wir uns die Aminosäuren, die am Aufbau der Proteine beteiligt sind, genauer an. Einige besonders interessante Aminosäuren werden wir herausgreifen. Schliesslich behandeln wir die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden und Proteinen.

Der Zeitplan (Folie 4 - „Themenkomplexe - zeitlicher Ablauf“) der folgenden Lektionen sieht wie folgt aus: Ich habe das Thema in vier grössere Komplexe eingeteilt:

1. den Aufbau der Aminosäuren,
2. die allgemeinen physikalisch-chemischen Eigenschaften,
3. besondere Eigenschaften ausgewählter Aminosäuren und
4. die Reaktion zum Peptid.

Jede dieser Komponenten wird in einer Lektion behandelt. Im Themenkomplex „Aufbau von Aminosäuren“ erarbeiten wir die allgemeine Formel der Aminosäuren, die Nomenklatur und ihre wichtigsten Vertreter in Form einer Partnerarbeit. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Aminosäuren wie die Löslichkeit der Aminosäuren, ihre Leitfähigkeit und Pufferwirkung werden wir in Zweiertteams experimentell bearbeiten. Als Beispiel habe ich Cystein ausgewählt. Die Reaktionsweise dieser Aminosäure werden wir näher betrachten. Schliesslich beenden wir den Unterrichtsnachmittag mit einer Gruppenarbeit und behandeln die Kondensationsreaktion von Aminosäuren zu Peptiden.

Im Verlauf des Unterrichts werdet Ihr mehrere eigenständige Partner- und Gruppenarbeiten durchführen. Vor jedem einzelnen Themenkomplex werde ich den genauen Ablauf der Lektion bekannt geben.

[Folien](#) zum IU (4 Seiten)

Informationen für die Fachlehrperson

Vorgehen:

1. Aufgabenblätter verteilen (folgende sechs Seiten 13-19).
2. Vorgehensweise mündlich präsentieren. Speziell hinweisen auf
 - Leises rücksichtsvolles Sprechen
 - Besprechung der Resultate im Anschluss an die Partnerarbeit
 - Keine Benotung
 - Zeitrahmen: 25 Minuten
3. Molekülmodell von Citrullin herumreichen.
4. Partnerarbeit findet statt (25 Minuten)
5. Besprechung der Resultate im Plenum (5 Minuten). Die Lehrperson sammelt die Antworten und schreibt Sie auf eine Folie hinter die vorgegebenen Fragen. Die Lernenden können dann die eigenen Ergebnisse kontrollieren.
Die beigefügten Lösungsblätter (Seiten 20-22) werden am Schluss ausgeteilt. Das Studium der Lösungsblätter ist Hausaufgabe.
6. Auf eine Lernerfolgskontrolle wird an dieser Stelle verzichtet.

Aufbau von Aminosäuren

Aufgabenstellung

Lesen Sie den nachfolgenden Text aufmerksam durch und bearbeiten Sie die Fragen schriftlich. Versuchen Sie alle Fragen zu beantworten.

Arbeitsform

Arbeiten Sie mit Ihrem Banknachbarn zusammen.

Masstab und Zeit

Die Partnerarbeit wird am Schluss besprochen und nicht benotet.

Sie haben 25 Minuten Zeit – ich wünsche Ihnen eine spannende Diskussion!

Was ist eine Aminosäure?

Proteine sind gewöhnlich aus 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut. Bei diesen biochemisch wichtigen Aminosäuren ist die **Aminogruppe** am gleichen Kohlenstoffatom gebunden, das auch die **Carboxylgruppe** trägt. Wenn man vom Kohlenstoffatom der Carboxylgruppe aus zu zählen beginnt, sitzt die Aminogruppe am ersten Kohlenstoffatom (α -C-Atom). Man spricht daher auch von **α -Aminosäuren**. Es gibt auch *β - und γ -Aminosäuren*. Sie wurden in Naturstoffen nachgewiesen. Die verschiedenen Aminosäuren unterscheiden sich im Aufbau der Seitenkette.

Definition einer Aminosäure:

Aminosäuren besitzen eine **saure** und eine **basische** Gruppe. Sie enthalten mindestens eine **Carboxylgruppe** und mindestens eine **Aminogruppe**.

Merkhilfe: Genau genommen müsste man von **Amino-Carbonsäuren** sprechen.

Aufgabe 1: Zeichnen Sie die allgemeine Formel einer **α -Aminosäure**, welche am α -C-Atom eine Seitenkette R trägt.

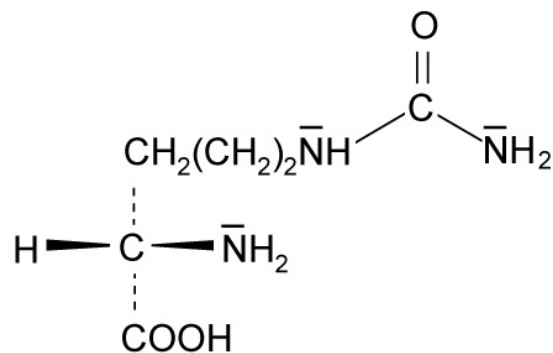
Bisher sind über 300 weitere natürlich vorkommende Aminosäuren bekannt. Viele dieser „seltenen“, nicht proteinogenen Aminosäuren entstehen durch spezifische chemische Veränderungen der Aminosäure-Reste. Sie haben eine Vielzahl von **biologischen Funktionen**. So wirken zum Beispiel die Neurotransmitter GABA (γ -Aminobuttersäure), Adrenalin und Dopamin als Botenstoffe bei der Kommunikation zwischen Zellen, Tyroxin als Schilddrüsenhormon und Histamin wird bei allergischen Reaktionen freigesetzt.

Abgesehen vom einfachsten Fall, bei welchem die Seitenkette ein Wasserstoffatom ist, sind an das α -Kohlenstoffatom vier verschiedene Substituenten gebunden. Es ist daher ein **asymmetrisches** Kohlenstoffatom, was zum Auftreten **optischer Aktivität** führt. Das heisst, die Ebene linear-polarisierten Lichts wird gedreht. Es hat sich herausgestellt, dass die in natürlichen Proteinen vorkommenden Aminosäuren ausschliesslich die **L-Konfiguration** besitzen. Die zugehörigen Reinstoffe nennt man **L- α -Aminosäuren**. Die nur selten natürlich vorkommenden *D-Aminosäuren* werden häufig als Antibiotika verwendet (z. B. Gramacidin S, ein bakterielles Peptid). Die optische Aktivität der Aminosäuren überträgt sich auch auf die **Proteine** und von ihnen katalysierte Reaktionen, bei denen meistens nur eine bestimmte Konfiguration als Edukt erkannt wird und eine Konfiguration als Produkt entsteht.

Aufgaben:

2. Welche der zwanzig natürlich vorkommenden L- α -Aminosäuren ist nicht chiral? (Schauen Sie in Fig. 1 nach).

3. Ist das in Wassermelonen vorkommende Citrullin eine Aminosäure? Markieren Sie alle asymmetrischen Kohlenstoff-Atome. Nehmen Sie ein Molekülmodell von Citrullin zu Hilfe. Begründen Sie die Antworten.



4. Wie lautet der systematische Name (IUPAC-Bezeichnung) von Alanin? (Schauen Sie die Strukturformel von Alanin in Fig. 1 nach).

Aminosäuren sind Proteinbausteine

Alle Proteine sind aus demselben Satz von 20 Aminosäuren aufgebaut. Die Aminosäuren sind in Proteinen kovalent verbunden und bilden lange, unverzweigte Ketten. Jede dieser proteinogenen Aminosäuren besitzt eine charakteristische Seitenkette, die in **Struktur, Grösse und Ladung** variiert und die **chemischen Eigenschaften** bestimmt.

Durch verschiedene Methoden, zum Beispiel Erhitzen mit Säure, lassen sich Proteine in die sie aufbauenden Aminosäuren spalten. Alle proteinogenen Aminosäuren (Fig. 1) haben Trivialnamen, die sich in einigen Fällen von den Quellen ableiten, aus denen sie zuerst isoliert wurden. So wurde Asparagin zuerst im Spargel (lateinisch: asparagus) und Tyrosin in Käse (griechisch: tyros) gefunden. Glycin wurde nach seinem süssen Geschmack (griechisch: glycos, süss) benannt. Den proteinogenen Aminosäuren wurden **Drei-Buchstaben-Abkürzungen** und **Ein-Buchstaben-Symbole** zugeordnet (Fig. 1). Mit dieser Kurzschrift wird die Zusammensetzung und Sequenz von Proteinen angegeben.

Acht der zwanzig Aminosäuren müssen dem menschlichen Organismus mit der Nahrung zugeführt werden; man nennt sie **essentielle Aminosäuren**. Beim Fehlen von essentiellen Aminosäuren in der Nahrung gerät die Proteinsynthese ins Stocken und als Folge stellen sich lebensbedrohliche Mangelercheinungen ein.

Die verzweigtkettigen Aminosäuren Valin, Leucin, Isoleucin und Threonin, sowie die aromatischen Aminosäuren Phenylalanin und Tryptophan sind für uns Menschen essentiell. Außerdem sind die Aminosäuren Methionin und Lysin und für Kleinkinder zusätzlich Histidin essentiell.

Es gibt einige angeborene Stoffwechselstörungen, bei denen Enzyme, die zur Biosynthese bestimmter Aminosäuren benötigt werden, ausfallen.

Bekanntestes Beispiel ist die Phenylketonurie (eine Erbkrankheit mit geistiger Retardierung). Bei dieser Krankheit kann aufgrund eines fehlenden Enzyms Phenylalanin nicht in Tyrosin umgewandelt werden. Tyrosin ist für diese Menschen eine essentielle Aminosäure.

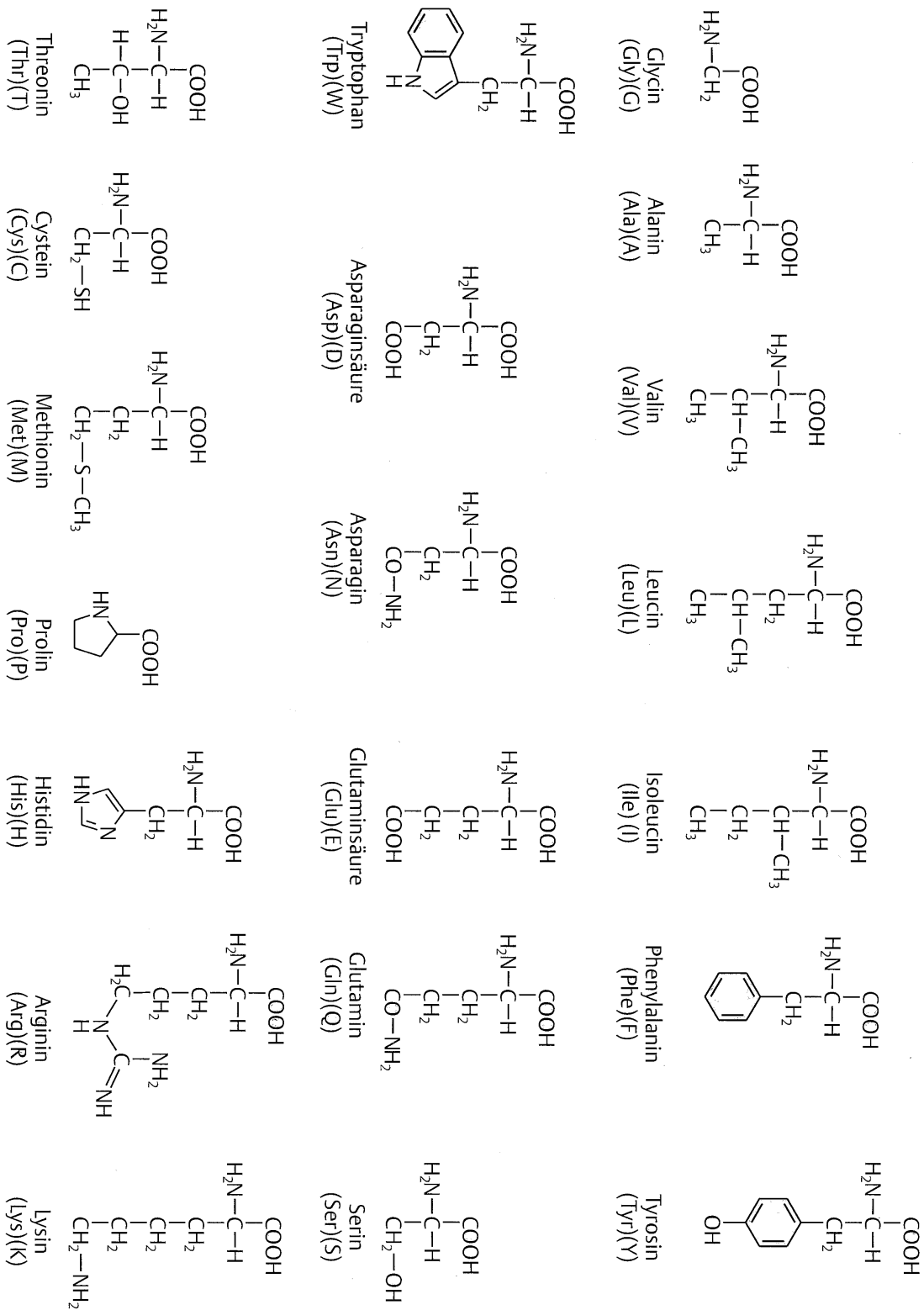
Im Gegensatz zu Säugetieren können Pflanzen und Mikroorganismen alle 20 Aminosäuren selbst synthetisieren.

Aufgaben:

5. Die Aminosäure Prolin (siehe Fig. 1) weist eine strukturelle Besonderheit auf, welche sie deutlich von den anderen Aminosäuren unterscheidet. Welche Besonderheit ist dies?
6. Faule Eier riechen nach Schwefelwasserstoff. Welche Aminosäuren sind verantwortlich?

Fig. 1: Proteinogene Aminosäuren

(Quelle: Knippers, R.: Molekulare Genetik. Stuttgart 1997, 7. Auflage, Kap. 1 (Thieme).)



Unpolare, polare und geladene Aminosäuren

Wodurch werden die unterschiedlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Aminosäuren bestimmt?

Durch die Natur der verschiedenen Aminosäuren-Seitenketten!

In Fig. 1 sind die zwanzig proteinogenen Aminosäuren zusammengestellt. Je nach Beschaffenheit der Seitenkette wird eine Einteilung in drei Untergruppen vorgenommen. Die Klassifizierung erfolgt meistens anhand der **Polarität der Seitenkette** in unpolare (lipophile) Aminosäuren, polare (hydrophile) Aminosäuren und geladene Aminosäuren. Letztere besitzen eine zusätzliche Amino- oder Carboxylgruppe.

1. Unpolare Seitenketten

Die Vertreter dieser Klasse können untereinander hydrophobe, d. h. **van der Waals Bindungen** eingehen. Diese sind besonders stark, wenn die aromatischen Gruppen übereinander gestapelt vorliegen.

Hierzu zählt man Aminosäuren mit Kohlenwasserstoff-Seitenketten und **Methionin**, dessen Seitenkette in vielen physikalischen Eigenschaften einem Kohlenwasserstoff-Rest gleicht (das Schwefelatom hat ungefähr die gleiche Grösse wie eine CH₂-gruppe und C und S haben ähnliche Elektronegativität).

Aufgabe 7: Listen Sie hier die Aminosäuren mit unpolarer Seitenkette auf.

2. Ungeladene polare Seitenketten

Die Seitenketten der Vertreter dieser Gruppe können mit Wasser und untereinander **Wasserstoff-Brücken** ausbilden.

Aufgabe 8: Listen Sie hier die Aminosäuren mit ungeladener, polarer Seitenkette auf.

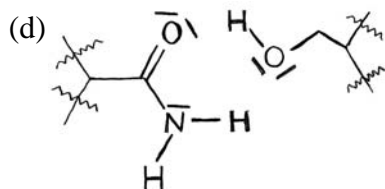
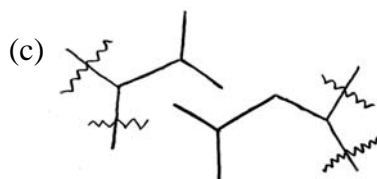
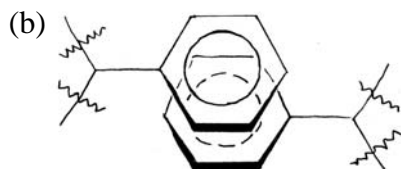
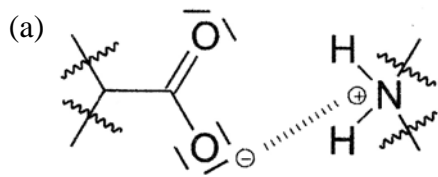
3. Geladene polare Seitenketten

Zwischen den geladenen Gruppen dieser Aminosäuren können sich **ionische Bindungen** ausbilden.

Aufgabe 9: Listen Sie hier die Aminosäuren mit geladener Seitenkette auf.

Hinweis: In Fig. 1 sind die neutralen Formen der Aminosäuren dargestellt. Überlegen Sie, in welchen Seitenketten bei einem pH-Wert von sieben geladene Gruppen vorliegen können.

Aufgabe 10: Bezeichnen Sie die Bindungsart in den folgenden Abbildungen. Zeichnen Sie bei (c) und (d) die Bindungen ein¹.



¹ Quelle Abb. a: Wuthier, U.: Erste Schritte in Chemie. ETH Zürich 2002, Kap. 27

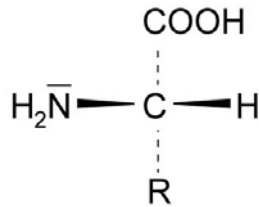
11. Nennen Sie mindestens drei Merkmale, wie sich die Seitenketten der 20 Aminosäuren voneinander unterscheiden.

12. In der Zelle ist der pH-Wert 7,5. Die Histidin-Seitenkette hat einen pK_S -Wert von 6,0. Berechnen Sie das Verhältnis von geladenen zu ungeladenen Histidin-Seitenketten in der Zelle.

Die Lysin-Seitenkette hat einen pK_S -Wert von 12,48. Wie ist das Verhältnis von geladenen zu ungeladenen Seitenketten in der Zelle?

Lösungen zu "Aufbau von Aminosäuren"

1. Zeichnen Sie die allgemeine Formel einer α -Aminosäure, welche am α -C-Atom eine Seitenkette R trägt.



2. Welche der zwanzig natürlich vorkommenden L- α -Aminosäuren ist nicht chiral? (Schauen Sie in Fig. 1, Seite 16 nach).

Glycin, da R ein Wasserstoffatom ist.

3. Ist das in Wassermelonen vorkommende Citrullin eine Aminosäure? Markieren Sie alle asymmetrischen Kohlenstoff-Atome. Nehmen Sie ein Molekülmodell von Citrullin zu Hilfe. Begründen Sie die Antworten.

Ja. Nur das C-Atom mit den 4 verschiedenen Substituenten ist chiral. Die C-Atome der Seitenkette sind nicht chiral.

4. Wie lautet die IUPAC-Bezeichnung von Alanin? (Schauen Sie die Strukturformel von Alanin in Fig. 1 nach).

2-Amino-Propansäure

5. Die Aminosäure Prolin weist eine strukturelle Besonderheit auf, welche sie deutlich von den anderen Aminosäuren unterscheidet. Welche Besonderheit ist dies?

*Prolin hat eine **sekundäre Aminogruppe** (eine Iminogruppe), dadurch entsteht die **cyclische Form** der Seitenkette.*

6. Faule Eier riechen nach Schwefelwasserstoff. Welche Aminosäuren sind verantwortlich?

Methionin und Cystein.

Beim Abbau von Proteinen durch Mikroorganismen entsteht Schwefelwasserstoff aus diesen schwefelhaltigen Aminosäuren.

7. Listen Sie die Aminosäuren mit unpolarer Seitenkette auf.

Glycin

Aliphatischer Kohlenwasserstoffrest: Alanin, Valin, Leucin, Isoleucin, Prolin

Aromatischer Rest: Phenylalanin, Tryptophan und Tyrosin werden auch zu den Aminosäuren mit aromatischen Seitenketten gezählt. Die Seitenkette von Phenylalanin ist unpolar. Die Seitenketten von Tryptophan und Tyrosin können Wasserstoff-Brücken bilden.

8. Listen Sie die Aminosäuren mit ungeladener polarer Seitenkette auf.

Hydroxy-Gruppe -OH: Serin, Threonin, Tyrosin

Amid-Gruppe -CO-NH₂: Asparagin, Glutamin

*Bei der Amid-Gruppe sind **Resonanz-Strukturen** möglich. Deshalb besitzen diese Aminosäuren keine geladene Seitenkette wie z.B. Lysin mit einer Amino-Gruppe -NH₂.*

Thiol-(SH-) Gruppe: Cystein

Methionin

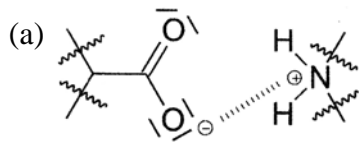
*Methionin und Cystein kommen wegen der geringen Polarität ihrer Seitenketten in hydrophober Umgebung vor (vgl. **Hydrophathie-Index**).*

9. Listen Sie die Aminosäuren mit geladener polarer Seitenkette auf.

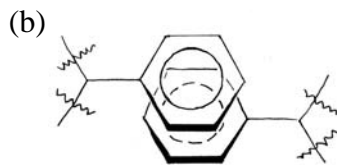
Positiv geladene Seitenkette: Lysin, Arginin, Histidin

Negativ geladene Seitenkette: Glutamat, Aspartat (ionisierte Form von Glutaminsäure und Asparaginsäure)

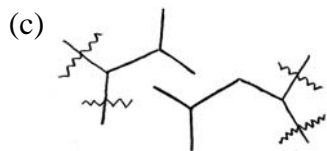
10. Bezeichnen Sie die Bindungsart in den folgenden Abbildungen. Zeichnen Sie bei (d) die Bindungen ein.



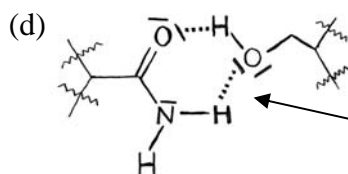
Ionische Bindung zwischen zwei geladenen Gruppen



van der Waals Bindungen zwischen zwei Phenylalanin-Seitenketten



van der Waals Bindungen zwischen aliphatischen Kohlenwasserstoff-Seitenketten



Wasserstoff-Brücken

11. Nennen Sie mindestens drei Merkmale, worin sich die Seitenketten der 20 Aminosäuren voneinander unterscheiden können.

Polarität,

Acidität / Basizität,

Grösse,

Aromatizität (C₆er-Ringe mit drei Doppelbindungen resp. 6 delokalisierten Elektronen, die auch als Kreis dargestellt werden können, gehören z.B. zu den aromatischen Verbindungen),

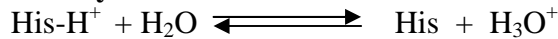
konformationelle Flexibilität (d.h. Möglichkeit zur Einnahme verschiedener Konformationen),

Fähigkeit zur Wasserstoff-Brückenbildung

12. In der Zelle ist der pH-Wert 7,5. Die Histidin-Seitenkette hat einen pK_s -Wert von 6,0. Berechnen Sie das Verhältnis von geladenen zu ungeladenen Histidin-Seitenketten in der Zelle.
Die Arginin-Seitenkette hat einen pK_s -Wert von 12,48. Wie ist das Verhältnis von geladenen zu ungeladenen Seitenketten in der Zelle?
-

Histidin

Protolyse-Stufe



$$K_s(\text{His-H}^+) = [\text{His}][\text{H}_3\text{O}^+] / [\text{His-H}^+]$$

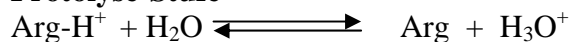
$$[\text{His}] / [\text{His-H}^+] = K_s(\text{His-H}^+) / [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6} / 10^{-7.5} = 10^{1.5} = 32 / 1$$

Es liegen also 32-mal mehr ungeladene Histidin-Seitenketten als positiv geladene vor.

Zusatzüberlegung: Die anderen beiden pK_s -Werte von **Histidin** betragen 1,82 resp. 9,17. Wie liegen die entsprechenden Gruppen beim pH-Wert 7,5 in der Zelle vor ?

Arginin

Protolyse-Stufe



$$K_s(\text{Arg-H}^+) = [\text{Arg}][\text{H}_3\text{O}^+] / [\text{Arg-H}^+]$$

$$[\text{Arg}] / [\text{Arg-H}^+] = K_s(\text{Arg-H}^+) / [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-12.48} / 10^{-7.5} = 10^{-4.98} = 0.0000105$$

In der Zelle sind 95499-mal mehr positiv geladene Arginin-Seitenketten als ungeladene vorhanden.

Zusatzüberlegung: Die anderen beiden pK_s -Werte von **Arginin** betragen 2,17 resp. 9,04. Wie liegen die entsprechenden Gruppen beim pH-Wert 7,5 in der Zelle vor ?

Anmerkung

Die Arginin-Seitenkette ist also in der Zelle immer positiv geladen, die Histidin-Seitenkette hingegen nur teilweise. Bei Histidin ändert sich schon bei kleinen pH-Veränderungen das Verhältnis von geladenen zu ungeladenen Seitenketten drastisch. Die Histidin-Seitenkette kann daher als einzige Aminosäure-Seitenkette bei physiologischem pH als Puffer wirken.

Gruppenaktivität: Partnerarbeit

Umzusetzende wissenschaftliche Erkenntnisse
(Allgemeine Didaktik, Kapitel 16, Quelle 2)

- (2): Die Aufgaben werden schriftlich gestellt, um eine präzise Aufgabenstellung zu gewährleisten.
- (3): Eng gefasste, leicht überschaubare Aufgaben.
- (6): Aggressives und nicht konstruktives Verhalten ansprechen und Konflikte lösen helfen. Dispute nicht eskalieren lassen.
- (7): In einer Abschlussbesprechung im Plenum werden die Ergebnisse diskutiert. Die Schüler müssen spüren, dass ihre selbstständig erarbeiteten Resultate ernst genommen werden, und sie müssen ihre eigenen Ergebnisse kontrollieren können.

Coppes (13): Es wird "rücksichtsvolles Sprechen und Flüstern" von den Schülern verlangt.

Coppes (14): Die Lehrperson greift nur in „seltenen Ausnahmefällen leise und zurückhaltend in den Kooperationsprozess der Lernenden ein“.

Informationen für die Fachlehrperson

Allgemeines:

Im Rahmen dieses Unterrichtsblocks sollen die Schüler in Form einer Partnerarbeit selbstständig Löslichkeits-, Puffer- und Leitfähigkeits-Eigenschaften von Aminosäuren experimentell und theoretisch erarbeiten.

Die umzusetzenden wissenschaftlichen Erkenntnisse für die Partnerarbeit sind auf Seite 23 aufgelistet.

Organisation der Arbeit im Labor:

Der Unterrichtsblock beginnt im Praktikum. Die erforderlichen Materialien sollten bereitstehen.

Da die Experimente ausser Versuch 3 einfach und ungefährlich sind, können im Ausnahmefall mehr als 12 Personen die Versuche im Schullabor durchführen. Die Fachlehrperson sollte vor allem Versuch 3 beaufsichtigen.

Vorgehen:

1. Versuchsanweisungen und Arbeitsblätter austeilen.
2. Folgendes sollte den Schülern mitgeteilt werden:

Zeitplan: (eventuell als Tafelanschrieb)

- Die Zeit für Experimente: 45 Minuten.
 - Bearbeitung der Fragen im Klassenzimmer (Arbeitsblatt): 20 Minuten.
 - Besprechung: 20 Minuten.

 - *Die Schüler sollen mit ihrem Banknachbarn als Partner zusammen-arbeiten.*
 - *Die Versuchsanleitung sollte genau durchgelesen werden, bevor mit der praktischen Arbeit begonnen wird.*
 - Die Schüler sollten ermahnt werden, sorgfältig und sauber zu arbeiten. Die allgemeinen Sicherheitsregeln (sowie die besonderen für konzentrierte Säuren und Laugen – siehe Versuchsanleitung “Leitfähigkeit von Aminosäuren”) im Labor müssen beachtet werden.
 - 1) Leises rücksichtsvolles Sprechen wird erwartet.
 - 2) Keine Benotung.
3. Experimentelle Partnerarbeit im Schullabor (45 Minuten).
 4. Bearbeiten des Arbeitsblattes in Partnerarbeit im Klassenzimmer (20 Minuten).
 5. Besprechung der Resultate im Plenum (20 Minuten). Die Versuchsergebnisse und die Antworten auf die Fragen des Arbeitsblattes werden von den Partnern an der Tafel vorgestellt. Die Klasse ergänzt allenfalls die präsentierten Ergebnisse. Die Lernenden kontrollieren und ergänzen die eigenen Ergebnisse.
 6. Die Lösungsblätter werden nach der Besprechung der Resultate an die Schüler ausgeteilt zur Sicherung und Vertiefung der Lerninhalte. Das Studium der Lösungsblätter ist Hausaufgabe (wie im Abschnitt „Aufbau von Aminosäuren“).

Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren

Aufgabenstellung

Die Versuche werden zu zweit im Schülerlabor durchgeführt. Lesen Sie die Versuchsanweisung aufmerksam durch und beginnen Sie erst dann mit der praktischen Arbeit. Wenn Sie Fragen haben, wenden Sie sich an die Lehrperson.

Nachdem Sie die Versuche beendet haben, begeben Sie sich ins Klassenzimmer, beginnen Sie mit der Auswertung von Versuch 2 und bearbeiten Sie die Fragen. Sie können dazu das Skript "Aufbau von Aminosäuren" zu Hilfe nehmen.

Arbeitsform

Arbeiten Sie mit Ihrem Banknachbarn zusammen. Bitte diskutieren Sie leise und stören Sie Ihre Klassenkameraden nicht.

Masstab und Zeit

Für die Experimente haben Sie 45 Minuten Zeit; für die Beantwortung der Fragen 20 Minuten.

Alle Fragen sollten zumindest stichwortartig beantwortet sein. Die Partnerarbeit wird am Schluss besprochen und nicht benotet. Jeder sollte in der Lage sein, eine beliebige Aufgabe möglichst vollständig an der Wandtafel zu präsentieren. Das Resultat wird anschliessend mit Ihren Klassenkameraden diskutiert und gegebenenfalls ergänzt – Viel Erfolg!

Versuch 1: Löslichkeit von Aminosäuren

Zeitbedarf: 10 Minuten

Material: Reagenzgläser, Mikrospatel

Chemikalien: Glycin, Phenylalanin

Durchführung:

- ① Zu 2 ml destilliertem Wasser wird spatelweise soviel Glycin gegeben, bis sich nichts mehr löst. Nach Zugabe jedes Mikrospatels wird geschüttelt. Merken Sie sich, wie viele Spatel Sie schon zugegeben haben, bevor sich nichts mehr löst. Gib höchstens 10 Mikrospatel zu.
- ② Das Experiment wird mit Phenylalanin wiederholt.

Beobachtungen: Notieren Sie Ihre Ergebnisse in der folgenden Tabelle.

Aminosäure	Löslichkeit (Anzahl Mikrospatel)
Glycin	
Phenylalanin	

Entsorgung: Abguss

Frage zu Versuch 1

1. Erklären Sie mit Hilfe der Strukturformel die verschiedenen Löslichkeiten der Aminosäuren Glycin und Phenylalanin.
Schätzen Sie die Löslichkeit der Aminosäuren Glutaminsäure und Leucin ab.
-

Versuch 2: Pufferwirkung von Aminosäuren

Zeitbedarf: 20 Minuten

Material: 4 Bechergläser 25 ml,
2 Plastik-Spritzen (mit Skala) mit abgeschliffener Spritzennadel, 2 ml

Geräte: pH-Meter

Chemikalien: 0.1 M Glycinlösung, 1M HCl, 1M NaOH

Durchführung:

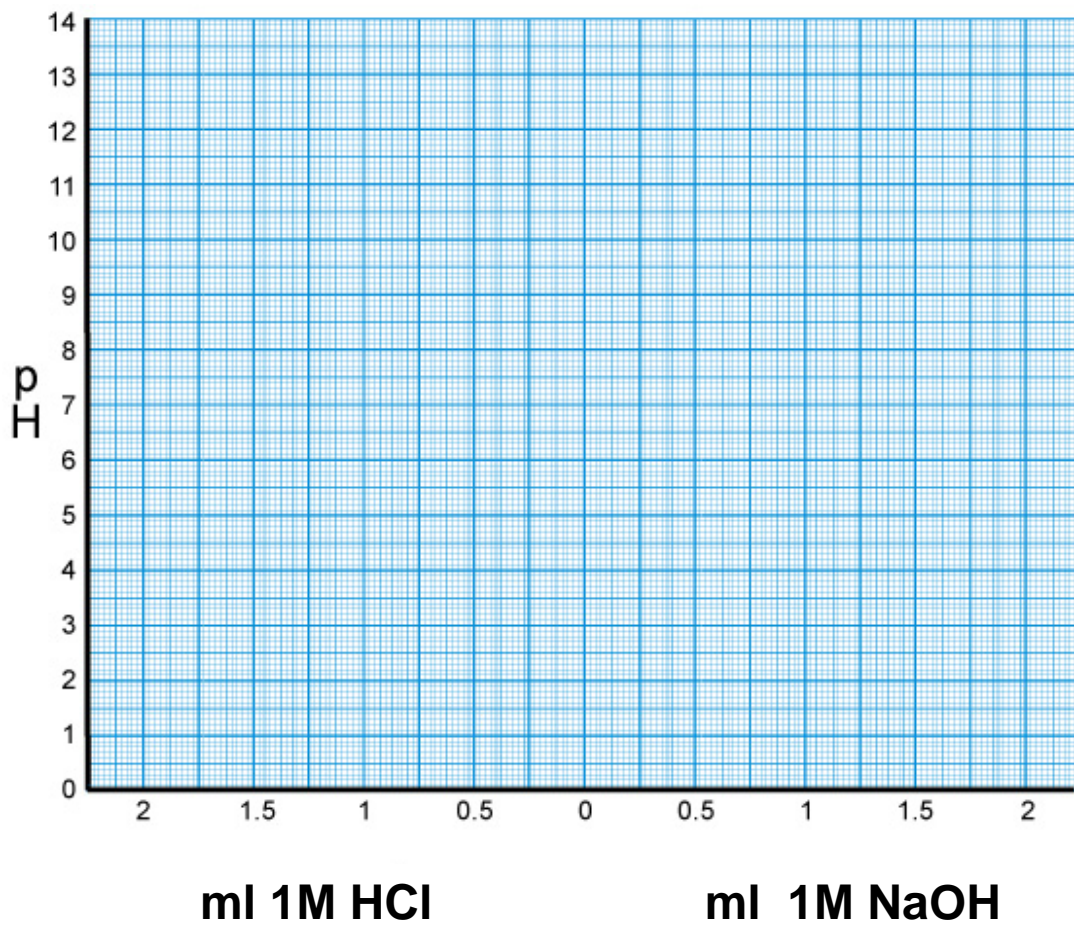
- ① Füllen Sie die Bechergläser 1) und 2) mit je 20 ml Leitungswasser und die Bechergläser 3) und 4) mit je 20 ml 0.1 M Glycinlösung.
- ② Verfolgen Sie den pH-Wert in den Bechergläsern 1) und 3) bei Zusatz von insgesamt 2 ml 1 M HCl in 0.5 ml Portionen.
Tragen Sie die Messwerte in untenstehende Tabelle ein.
- ③ Verfolgen Sie den pH-Wert in den Bechergläsern 2) und 4) bei Zusatz von 2 ml 1 M NaOH in 0.5 ml Portionen.
Tragen Sie die Messwerte in untenstehende Tabelle ein.

Messtabelle:

Zugabe in ml		Gemessener pH-Wert bei Zugabe zu	
		Leitungswasser	0.1 M Glycin-Lösung
1 M HCl	0	Anfangs pH-Wert:	Anfangs pH-Wert:
	0.5		
	1		
	1.5		
	2		
1 M NaOH	0	Anfangs pH-Wert:	Anfangs pH-Wert:
	0.5		
	1		
	1.5		
	2		

Entsorgung: Abguss

Auswertung: Tragen Sie alle Messwerte in das Diagramm ein.



Fragen zu Versuch 2

- 2a. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei pH 2 vor? Welche Ladung trägt Glycin? Zeichnen Sie die Strukturformel!
-

2b. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei pH 11 vor? Welche Ladung trägt Glycin? Zeichnen Sie die Strukturformel!

2c. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei neutralem pH vor? Zeichnen Sie die Strukturformel!

Glycin	pK_S-Wert
Carboxylgruppe	2.34
α-Aminogruppe	9.60

2d. Glycin ist eine ca. 100-mal stärkere Säure als Essigsäure (pK_S = 4.76). Wie erklären Sie sich das?

2e. In welchen pH-Bereichen kann Glycin als Puffer eingesetzt werden? Welche Strukturen liegen dann vor? Zeichnen Sie die Strukturformeln und Pufferbereiche in das Diagramm auf der letzten Seite ein.

Versuch 3: Leitfähigkeit von Aminosäuren

Zeitbedarf: 15 Minuten

Material: 3 Bechergläser 25 ml
3 Plastik-Spritzen mit abgeschliffener Spritzennadel, 2 ml

Geräte: Leitfähigkeitsmessgerät

Chemikalien: Glycinlösung, gesättigt 40 ml
Salzsäure ca. 5 M, 2ml
Essigsäure ca. 5 M, 2ml
Natronlauge ca. 5 M, 2ml

Sicherheitshinweise: *Diese Chemikalien können bei Berührung mit der Haut zu Verätzungen der betroffenen Hautpartien führen. Sollte aus Unachtsamkeit etwas Natronlauge oder Säure auf Ihre Haut gelangen, so spülen Sie die betroffene Stelle sofort mit viel Wasser ab und informieren Sie die Lehrperson. Tragen Sie in jedem Fall eine Schutzbrille, da diese Chemikalien zu schweren Augenverletzungen führen können.*

Durchführung:

- ① Füllen Sie zwei Bechergläser mit je 20 ml gesättigter Glycinlösung und eines mit destilliertem Wasser.
- ② Messen Sie die Leitfähigkeiten und tragen Sie diese in die Tabelle ein.
- ③ Geben Sie zur einen Glycinlösung 2 ml 5 M Natronlauge und messen Sie die Leitfähigkeit. Tragen Sie den Wert in der Tabelle ein.
- ④ a) Geben Sie zur zweiten Glycinlösung 2 ml 5 M Essigsäure und messen Sie die Leitfähigkeit. Tragen Sie den Wert in die Tabelle ein.
b) Geben Sie anschliessend 2 ml 5 M Salzsäure zu und messen Sie die Leitfähigkeit. Tragen Sie den Wert in die Tabelle ein.
- ⑤ Wiederholen Sie Prozedur ④a) und b) mit dem destillierten Wasser anstelle der Glycinlösung!

Entsorgung: Abguss

Beobachtungen:

		Leitfähigkeit in mS/cm
2	Destilliertes Wasser	
	Ges. Glycinlösung	
3	Ges. Glycinlösung + 2 ml 5 M Natronlauge	
4a	Ges. Glycinlösung + 2 ml 5M Essigsäure	
4b	Ges. Glycinlösung + 2 ml 5M Essigsäure + 2 ml 5 M Salzsäure	
5a	Dest. Wasser + 2 ml 5M Essigsäure	
5b	Dest. Wasser + 2 ml 5M Essigsäure + 2 ml 5 M Salzsäure	

Fragen zu Versuch 3

3a. Erklären Sie die Ergebnisse des Leitfähigkeitsversuchs.

3b. Der **Schmelzpunkt** von kristallinen Aminosäuren liegt mit 250-300°C viel höher als der Schmelzpunkt anderer organischer Moleküle ähnlicher Grösse (z.B. Essigsäure 17°C, Ethanamin -81°C) . Erklären Sie diese Beobachtung!

- 3c. Man nennt den pH-Wert, bei dem ein Molekül in der Summe keine Ladung trägt, **isoelektrischen Punkt**. Bei diesem pH-Wert (am isoelektrischen Punkt) leiten wässrige Lösungen von Aminosäuren nicht.
Kann Asparaginsäure auch einen isoelektrischen Punkt haben? Wenn ja, liegt er eher im sauren oder im basischen pH-Bereich?

Asparaginsäure	pK_s-Wert
α-Carboxylgruppe	1.88
α-Aminogruppe	9.60
β-Carboxylgruppe	3.65

- 3d. Welche der natürlich vorkommenden Aminosäuren leiten in wässriger Lösung bei neutralem pH-Wert den Strom? Geben Sie bei jeder Aminosäure an, ob sie im Gleichspannungsfeld zur Anode oder zur Kathode wandert!

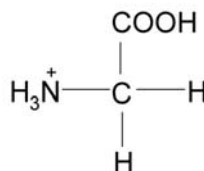
Aminosäure	pK_s (Seitenkette)
Asparaginsäure	3.65
Glutaminsäure	4.25
Histidin	6.0
Lysin	10.53
Arginin	12.48

Lösungen zu „Physikalisch-chemische Eigenschaften von Aminosäuren“

1. Erklären Sie mit Hilfe der Strukturformel die verschiedenen Löslichkeiten der Aminosäuren Glycin, Phenylalanin, Glutaminsäure, Leucin, Serin.

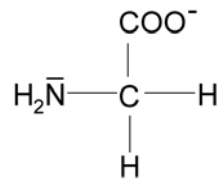
<i>Glycin:</i>	$R=H$ Das Wasserstoffatom beeinträchtigt die Löslichkeit von Glycin nicht. Die Löslichkeit von Glycin wird durch die Carboxylgruppe und die Aminogruppe mehr geprägt.	<i>sehr gute Wasserlöslichkeit</i>
<i>Phenylalanin:</i>	$R = \text{aromatischer, hydrophober Rest}$ Es werden bevorzugt van der Waals Bindungen zwischen den Phenylresten ausgebildet. Es kommen nur ganz schwache Wechselwirkungen mit Wasser zustande.	<i>sehr schlechte Wasserlöslichkeit</i>
<i>Glutaminsäure:</i>	$R = \text{geladener, hydrophiler Rest}$ Die Hydratisierung des geladenen Restes (Carboxylanion) ermöglicht eine gute Wasserlöslichkeit. Es entsteht eine Komplex-Bindung zwischen den Wassermolekülen und den geladenen Resten.	<i>sehr gute Wasserlöslichkeit</i>
<i>Leucin:</i>	$R = \text{ungeladener, hydrophober Rest}$ Es werden bevorzugt van der Waals Bindungen zwischen den Kohlenwasserstoff-Seitenketten ausgebildet. Es kommen nur ganz schwache Wechselwirkungen mit Wasser zustande.	<i>schlechte Wasserlöslichkeit</i>
<i>Serin:</i>	$R = \text{polarer hydrophiler Rest}$ Die Hydroxylgruppe kann Wasserstoffbrücken mit Wassermolekülen ausbilden.	<i>gute Wasserlöslichkeit</i>

- 2a. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei pH 2 vor? Welche Ladung trägt Glycin? Zeichnen Sie die Strukturformel!



*Begründung: Bei tiefem pH-Wert liegt eine hohe Konzentration an Hydronium-Ionen (H_3O^+) vor. Die Carboxylgruppe **und** die Aminogruppe werden protoniert.
Gesamtladung: einfach **positiv geladen**.*

- 2b. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei pH 11 vor? Welche Ladung trägt Glycin? Zeichnen Sie die Strukturformel!

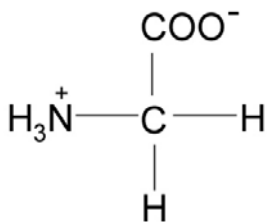


*Begründung: Bei hohem pH-Wert liegt eine hohe Konzentration an Hydroxid-Ionen (OH^-) vor. Die Carboxylgruppe **und** die Aminogruppe werden **deprotoniert**.
Gesamtladung: einfach **negativ geladen**.*

- 2c. Wie liegt Glycin in wässriger Lösung bei neutralem pH vor? Zeichnen Sie die Strukturformel!

Glycin	pK _S -Wert
Carboxylgruppe	2.34
α-Aminogruppe	9.60

Bei neutralem pH-Wert ist die Carboxylgruppe deprotoniert ($\text{pK}_S = 2.34$) und die Aminogruppe noch nicht deprotoniert ($\text{pK}_S = 9.60$).



*Die Carboxylgruppe liegt folglich als negativ geladene Carboxylat-Gruppe vor, die Aminogruppe als positiv geladene Ammonium-Gruppe. Daher trägt Glycin im neutralen pH-Bereich sowohl eine positive als auch eine negative Ladung. Es ist ein „inneres Salz“ bzw. ein **Zwitter-Ion**.*

Gesamtladung: neutral.

Aminosäuren sind **Ampholyte**: In Gegenwart starker Säuren reagieren sie als Base; in Gegenwart starker Basen als Säure.

- 2d. Glycin ist eine ca. 100-mal stärkere Säure als Essigsäure ($\text{pK}_a = 4.76$). Wie erklären Sie sich das?

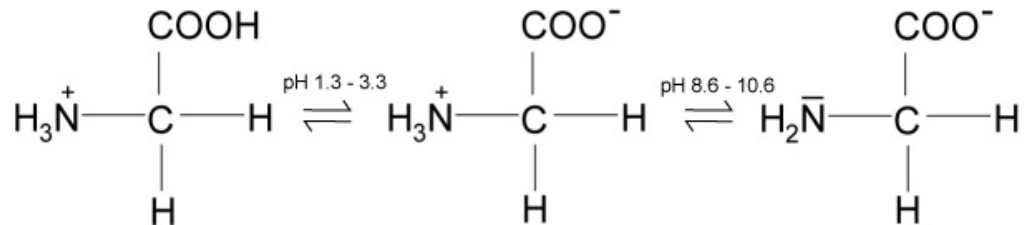
Das stark elektronegative Stickstoff-Atom des Glycins zieht auch aus der O-H Bindung der Carboxylgruppe Elektronanteile an sich. Die O-H Bindung wird dadurch stärker polar als diejenige der Essigsäure, d. h. die Wasserstoffkation der Carboxyl-Gruppe im Glycin wird leichter abgespalten. Glycin ist somit eine stärkere Säure als Essigsäure.

- 2e. In welchen pH-Bereichen kann Glycin als Puffer eingesetzt werden? Welche Strukturen liegen dann vor? Zeichnen Sie die Strukturformeln und Pufferbereiche in das Diagramm ein.

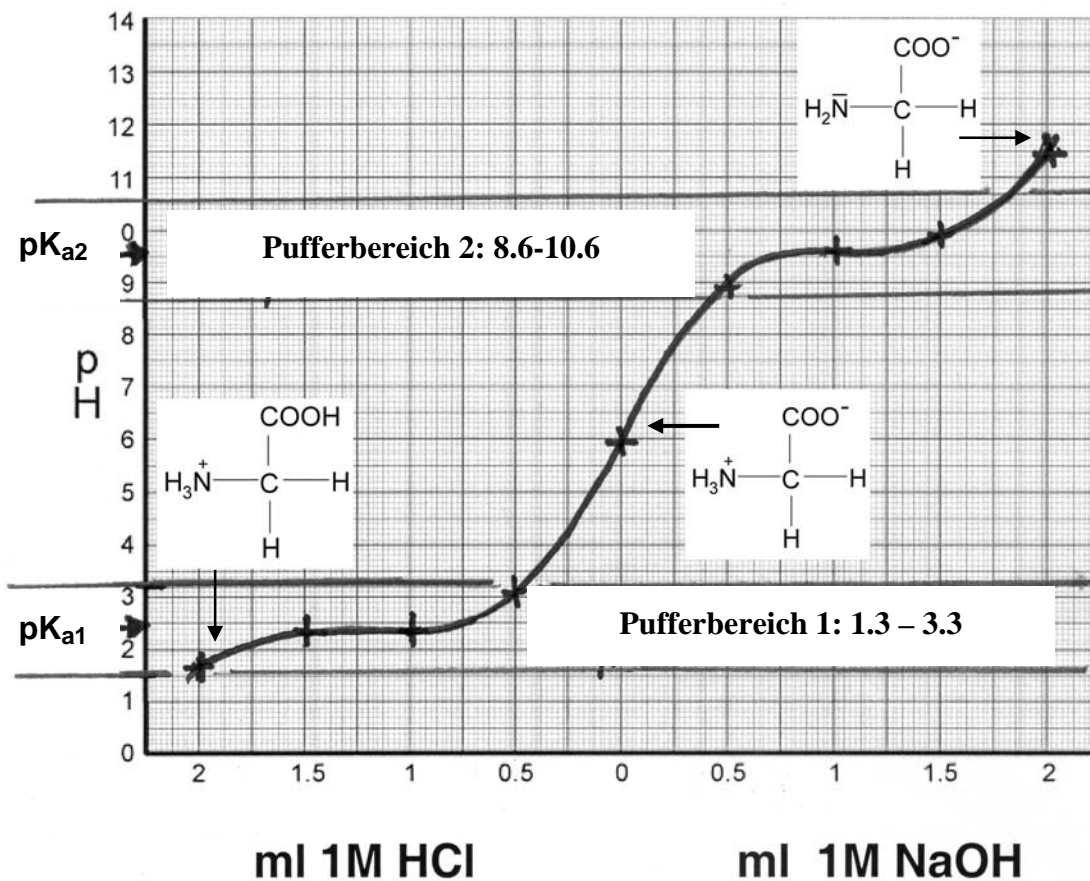
Pufferbereich: $pH = pK_s \pm 1$

Pufferbereich 1 von Glycin: 1.3 – 3.3. Die Carboxylgruppe wird protoniert.

Pufferbereich 2 von Glycin: 8.60 – 10.6. Die α -Aminogruppe wird protoniert.



Zwitterion



3a. Erklären Sie die Ergebnisse des Leitfähigkeitsversuchs.

Glycin leitet bei neutralem pH-Wert in wässriger Lösung den Strom schlecht. Im neutralen pH-Bereich ist Glycin formal ungeladen, d. h. es trägt gleich viele positive wie negative Ladungen. Daher wandert Glycin nicht im elektrischen Feld. In stark alkalischer oder stark saurer Lösung liegt Glycin als Anion bzw. als Kation vor. Dann kann Strom geleitet werden.

Die Gesamtladung und die **Leitfähigkeit** einer Aminosäure hängen vom **pH-Wert** ab.

3b. Der **Schmelzpunkt** von kristallinen Aminosäuren liegt mit 300°C viel höher als der Schmelzpunkt anderer organischer Moleküle ähnlicher Grösse (z.B. Essigsäure 17°C, Ethanamin -81°C). Erklären Sie diese Beobachtung!

*Auch in der festen kristallinen Form liegen die Aminosäuren als **Zwitter-Ionen** vor. Die ionischen Bindungen im Kristallgitter von Aminosäuren sind viel stärker als die Wasserstoff-Brücken, die bei festen Carbonsäuren oder festen Aminen ausgebildet werden können.*

3c. Man nennt den pH-Wert, bei dem ein Molekül in der Summe keine Ladung trägt, **isoelektrischen Punkt**. Bei diesem pH-Wert (dem isoelektrischen Punkt pI) leiten wässrige Lösungen von Aminosäuren den Strom nicht. Kann Asparaginsäure auch einen isoelektrischen Punkt haben? Wenn ja, liegt er eher im sauren oder im basischen pH-Bereich?

Asparaginsäure	pK_S-Wert
α-Carboxylgruppe	1.88
α-Aminogruppe	9.60
β-Carboxylgruppe	3.65

Aminosäuren mit einer geladenen Gruppe verhalten sich prinzipiell gleich wie ungeladene Aminosäuren. Nur liegt bei Asparaginsäure der isoelektrische Punkt durch die zusätzliche Carboxylgruppe im sauren Bereich ($pI = 2.77$).

Der isoelektrische Punkt hängt stark vom Rest R der Aminosäure ab.

- 3d. Welche der natürlich vorkommenden Aminosäuren leiten in wässriger Lösung bei neutralem pH-Wert den Strom? Geben Sie bei jeder Aminosäure an, ob sie im Gleichspannungsfeld zur Anode oder zur Kathode wandert!

Aminosäure	pK _s (Seitenkette)
Asparaginsäure	3.65
Glutaminsäure	4.25
Histidin	6.0
Lysin	10.53
Arginin	12.48

Nur die Aminosäuren mit geladener Seitenkette leiten bei neutralem pH-Wert den Strom.

Aspartat und Glutamat wandern zur Anode.

Lysin, Arginin und Histidin wandern zur Kathode.

Anwendung

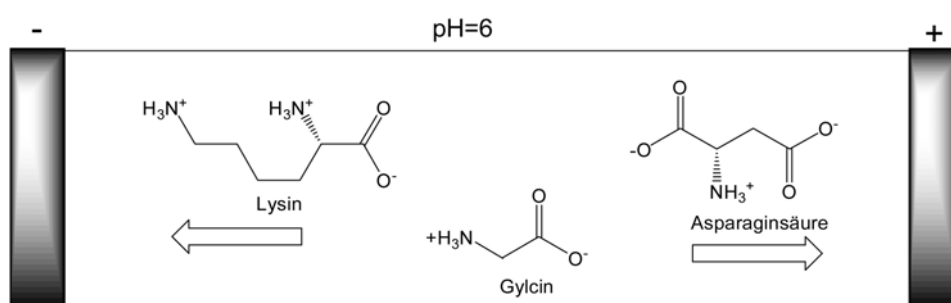
Der isoelektrische Punkt ist von besonderer Bedeutung für die Auftrennung von Aminosäure-Gemischen durch **Elektrophorese**.

Hier nützt man aus, dass die Wanderungsgeschwindigkeit eines Ions von seiner **Grösse** und der **Ladung** abhängt.

Durch Anlegen einer Gleichspannung kann man Aminosäuren, die unterschiedlich geladen sind, im elektrischen Feld auftrennen (Fig. 2):

- Entspricht der pH-Wert dem isoelektrischen Punkt pI einer Aminosäure, wandert diese im elektrischen Feld nicht.
- Bei pH-Werten oberhalb des pI ist eine Aminosäure negativ geladen, wandert also zur Anode.
- Bei pH -Werten unterhalb des isoelektrischen Punktes ist die Aminosäure positiv geladen und wandert zu Kathode.

Fig. 2: Prinzip der Elektrophorese²



Aufgabe: Tragen Sie die Wanderungsrichtungen der 3 Aminosäuren Lysin, Glycin und Asparaginsäure in Fig.2 ein, wenn pH 2 vorliegen würde.

² Quelle: Wuthier, U.: Erste Schritte in Chemie. ETH Zürich 2002, Kap. 27.

Ausgewählte Aminosäuren

Informationen für die Fachlehrperson

Allgemeines:

Am Beispiel von Cystein soll den Schülern vermittelt werden, dass jede einzelne Aminosäure aufgrund ihrer Seitenkette charakteristische Eigenschaften besitzt und besondere Reaktionen eingehen kann. Dies geschieht durch einen Lehrervortrag.

Vorgehen:

- Kontrollfragen als Blatt (letzte Folie des Vortrags) austeilern oder separat an die Wand projizieren (mit Hellraumprojektor).
- 10 Minuten Lehrervortrag mit Powerpoint Präsentation zur Aminosäure Cystein.
- Die Schüler sollen sich während des Vortrags Notizen machen.
- Nach dem Vortrag beantworten die Schüler die Kontrollfragen und haben Zeit, selbst Fragen zu stellen. (Zeit: 10 Minuten)

[Lehrervortrag](#) (Powerpoint Präsentation, 6 Seiten)

Kontrollfragen (mündlich und auf Folie) mit Antworten:

1. a) Nennen Sie zwei charakteristische Reaktionen, die die Thiolgruppe von Cystein eingehen kann.
b) Welche Funktion(en) haben die ausgebildeten Bindungen?
-

a) - Redoxreaktion zu Cystin unter Ausbildung einer Disulfid-Brücke
- Komplex-Bindung mit Metallionen

b) - Stabilisierung der Proteinstruktur durch die Disulfid-Brücke
- Bindung von Metallionen: Stabilisierung der Proteinstruktur und zur enzymatischen Katalyse

2. Warum gewinnt man Cystein aus Haaren und Horn?
-

Haare und Horn enthalten besonders viel **Keratin**. Keratin kann bis zu **17% Cystein** enthalten. Keratin benötigt die Cystin-Disulfid-Brücken zur Stabilisierung seiner Proteinstruktur.

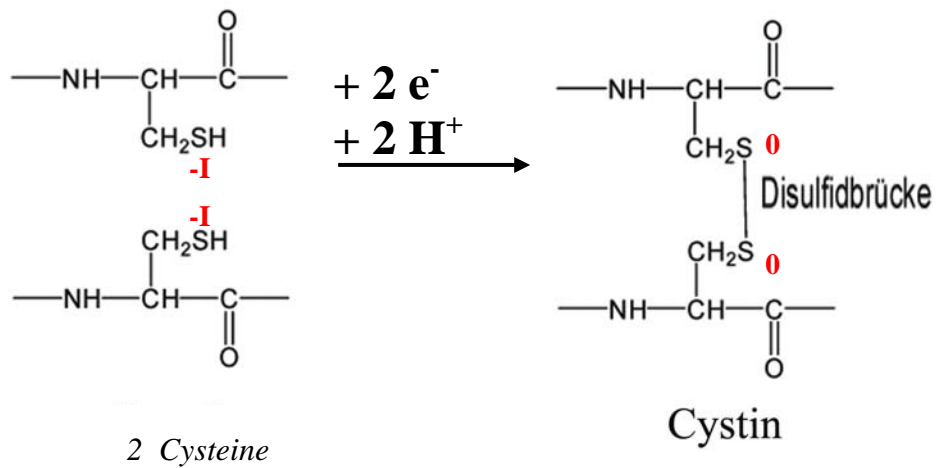
3. Warum ist Cystein gut wasserlöslich, Cystin hingegen schwerlöslich?
-

Beim Cystein können sich Wassermoleküle an die Thiol-Gruppen anlagern. Dies erhöht die Löslichkeit.

4. Welche Funktion hat Glutation in der Zelle?

Es reduziert Disulfid-Brücken von Proteinen zu Thiolgruppen.

5. Formulieren Sie die Oxidation von Cystein mit **Oxidationszahlen**.



6. Was versteht man unter einer intramolekularen und was unter einer intermolekularen Disulfid-Brücke?

- intramolekulare Disulfid-Brücke: die beiden Cysteine gehören zu einer Kette.
- intermolekulare Disulfid-Brücke: die beiden Cysteine quervernetzen zwei verschiedene Polypeptidketten.

Informationen für die Fachlehrperson

Allgemeines

In diesem Abschnitt wird Gruppenarbeit als didaktische Methode eingesetzt. Es wird die wichtigste Reaktion von Aminosäuren behandelt, die Kondensations-Reaktion, deren Produkt die Peptidbindung ist. Die Schüler bearbeiten in Gruppen mit Hilfe eines Skripts den Reaktionsmechanismus, die Eigenschaften der Peptidbindung und die Primärstruktur (Aminosäuresequenz) von Proteinen.

Vorgehen

1. In der Pause wird die Gruppeneinteilung an die Wandtafel geschrieben. Die Gruppen werden nach folgenden Kriterien gebildet:
 - Gruppengröße: **3 – 4** Schüler
 - **gemischte** Gruppen (leistungsschwache und sehr gute Schüler)
 - **homogene** Gruppen (nur mittelgute Schüler)
2. Nachdem sich die einzelnen Gruppen formiert haben, werden die Aufgabenblätter verteilt.
3. Folgende Gegenstände werden auf die Gruppen verteilt:
 - Molekülbaukasten
 - Modell einer α -Helix und eines Proteins

Während der Gruppenarbeit zirkulieren die Modelle zwischen den einzelnen Gruppen.
4. Die Anleitung zur Gruppenarbeit wird zusätzlich mündlich präsentiert. Speziell hinweisen auf:
 - leises und rücksichtsvolles Sprechen
 - zuerst selbstständiges Arbeiten; dann einander helfen, noch vorhandene Probleme zu lösen
 - keine Benotung
5. Gruppenarbeit (30 Minuten)
6. Besprechung der Resultate im Plenum (15 Minuten). Ausgewählte Aufgaben werden von den Gruppen an der Tafel vorgelöst. Die Lernenden können dadurch selbst die eigene Leistung beurteilen. Die Klasse ergänzt allenfalls die präsentierten Resultate. Die Lösungsblätter auf den folgenden Seiten kommen während der Besprechung der Gruppenarbeit nicht zum Einsatz.
7. Am Schluss der Stunde werden die Lösungsblätter verteilt und das Studium der Lösungsblätter als Hausaufgabe aufgegeben.

Gruppenarbeit zum Thema: Peptidbindung, Reaktion von Aminosäuren

Warum jetzt dieses Thema?

In den vorausgegangenen Unterrichtseinheiten haben Sie die Struktur und charakteristischen Eigenschaften von Aminosäuren kennengelernt. Im folgenden Themenblock beschäftigen wir uns nun mit der wichtigsten Funktion der Aminosäuren als Bausteine der Proteine. Die Bildung der Peptidbindung als Reaktionsweise der Aminosäuren und die Merkmale dieser Bindung stehen dabei im Mittelpunkt. Ausserdem wollen wir unser Augenmerk auf die ungeheure Menge an Kombinationsmöglichkeiten der Aminosäuren richten.

Aufgabenstellung

Lesen Sie das Skript und beantworten Sie die Fragen auf dem Arbeitsblatt.

Arbeitsform

Sie arbeiten in Dreier- bzw. Viererteams.

Bearbeiten Sie gemeinsam die Aufgaben, bei denen der Molekülbaukasten verwendet wird. Überlegen Sie bei den Fragen zuerst allein (während der ersten 20 Minuten) und vergleichen Sie am Schluss in Ihrem Team die Resultate. Helfen Sie sich gegenseitig, die Arbeitsblätter zu vervollständigen. Geben Sie sich untereinander Lösungshilfen, nicht nur die Resultate. Vergessen Sie nicht, dass Sie sich leise unterhalten sollten.

Zeit

Für die Gruppenarbeit sind 30 Minuten vorgesehen. Weitere 15 Minuten werden für die Diskussion der Resultate eingeplant.

Masstab

Alle Fragen sollten zumindest stichwortartig beantwortet sein. Die Gruppenarbeit wird am Schluss besprochen und nicht benotet. Jeder sollte in der Lage sein, eine beliebige Aufgabe möglichst vollständig an der Wandtafel zu präsentieren. Das Resultat wird anschliessend von Ihren Klassenkameraden diskutiert und gegebenenfalls ergänzt.

Die Kondensationsreaktion – die Entstehung der Peptidbindung

Amine können mit Carbonsäuren eine Kondensationsreaktion eingehen. Es entsteht ein **Carbonsäure-Amid** unter **Abspaltung eines Wasser-Moleküls**. Die Freisetzung des Wasser-Moleküls ist ein Merkmal einer Kondensationsreaktion.

Aminosäuren enthalten beide an dieser Reaktion beteiligten Gruppen im gleichen Molekül. Folglich kann die α -Aminogruppe eines Aminosäure-Moleküls mit der Carboxylgruppe eines zweiten Aminosäure-Moleküls eine Kondensationsreaktion eingehen.

Die bei der Verknüpfung zweier Aminosäuren entstehende Amidbindung wird **Peptidbindung** genannt. Die Reaktion ist zwischen gleichartigen Aminosäuren und zwischen verschiedenartigen (d. h. Aminosäuren mit verschiedenen Seitenketten) möglich. Bei der in Aufgabe 1 dargestellten Reaktion ist das Produkt ein **Dipeptid**.

Aufgabe 1: Formulieren Sie die Brutto-Reaktionsgleichung der Kondensationsreaktion von zwei Aminosäuren mit beliebigen Seitenketten R.

Entstehung langer Aminosäureketten durch Polykondensation

Das bei der Kondensation zweier Aminosäuren entstandene Dipeptid besitzt immer noch eine Aminogruppe und eine Carboxylgruppe. Es kann also mit einem weiteren Aminosäure-Molekül unter Wasserausschluss reagieren. Es entsteht ein **Tripeptid**. Nach einer weiteren Kondensationsreaktion erhält man ein **Tetrapeptid...** Die Kondensation kann also im Prinzip endlos weitergeführt werden zu beliebig langen **linearen Polypeptidketten**.

Letztlich können aus über 4000 Aminosäuren aufgebaute Makromoleküle entstehen. Die bekanntesten Beispiele für sehr lange kondensierte Aminosäure-Ketten sind die Seidenfaser (Seidenfibroin), Kollagen und Keratin in Haaren, sowie das Myosin der Muskelfasern.

Bei Aminosäureketten bleiben immer ein Amino- und ein Carboxylende frei. Vereinbarungsgemäss wird die **N-terminale Aminogruppe (N-Terminus)** des Peptides links geschrieben und die **C-terminale Carboxylgruppe (C-Terminus)** rechts. Auch bei Proteinen gibt man die Aminosäure-Sequenz vom N-Terminus startend an, da dies der Syntheserichtung am Ribosom in der Zelle entspricht.

Aufgabe 2: Nehmen Sie den Molekülbaukasten und bauen Sie ein Tetrapeptid mit der Sequenz Gly-Ala-Lys-Asp. Zeichnen Sie das zu bauende Peptid vorher auf und beschriften Sie den N- und den C-Terminus.

Aufgabe 3: Hat das Gly-Ala-Lys-Asp-Peptid auch einen isoelektrischen Punkt? Welche Gruppen tragen zum isoelektrischen Punkt bei?

Die geometrischen Eigenschaften der Peptidbindung

Für die Peptidbindung können **zwei mesomere Grenzformeln** geschrieben werden. Die eine erfordert eine Ladungstrennung.

Aufgabe 4: Zeichnen Sie die mesomeren Grenzformeln der Peptidgruppe ($^{\alpha}\text{C-CO-NH-}^{\alpha}\text{C}$), die die Mesomeriestabilisierung der Peptidbindung verdeutlichen.

Die beteiligten Atome der Peptidgruppe ($^{\alpha}\text{C-CO-NH-}^{\alpha}\text{C}$) liegen alle in einer Ebene. Eine Konsequenz dieser **Mesomeriestabilisierung der Peptidbindung** ist, dass die Drehbarkeit um die C-N-Achse eingeschränkt ist (im Vergleich zu einer normalen Einfachbindung). Die Peptidbindung zeigt folglich einen deutlichen **Doppelbindungscharakter**.

Durch die Resonanzstabilisierung der Peptidbindung ist das **Peptidrückgrat** eine Verknüpfung von **starren, ebenen Peptidgruppen** (Fig. 3). Eine Rotation ist nur um die beiden Einfachbindungen, die jeweils von dem α -C-Atom ausgehen, möglich (Fig. 3).

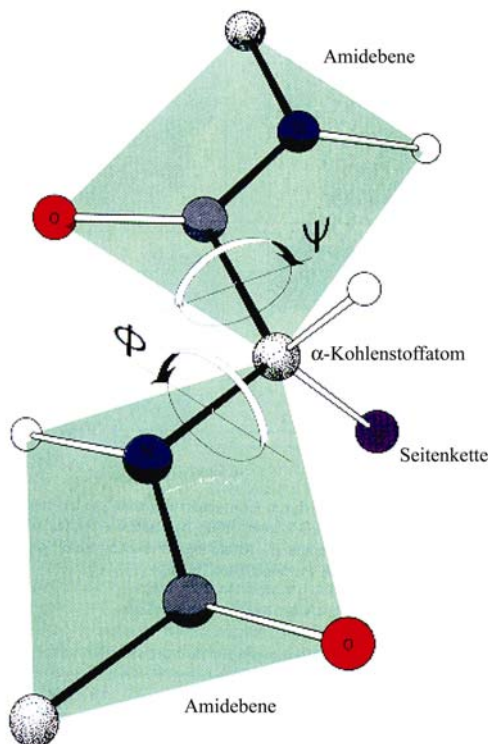


Fig. 3: Gestreckte Konformation des Peptidrückgrats³. Die einzigen Bindungen, um die eine ungehinderte Rotation möglich ist, sind die C α -N- (Φ) und die C α -C-Bindung (Ψ).

³ Quelle: Voet, D., Voet, J.G.: Biochemie. Weinheim 1994, 1. Auflage (Wiley-VCH).

Die Stabilität von Peptidbindungen

Obwohl die **Hydrolyse** von Peptidbindungen **energetisch günstig** ist, verläuft sie wegen der Resonanzstabilisierung der Amidbindung nur langsam. Die hohe Aktivierungsenergie erfordert energische Bedingungen: langes Erhitzen in stark saurer oder basischer Lösung. Folglich sind die **Peptidbindungen stabil** unter den Bedingungen, die in der Zelle gewöhnlich herrschen.

Die Kombinationsvielfalt von Aminosäuren in Polypeptiden



Die Reihenfolge der Aminosäuren in Proteinen wird als **Primärstruktur** bezeichnet. Die erste Protein-Aminosäuresequenz wurde 1953 von **Frederick Sanger** (Photo⁴) ermittelt. Es war die Primärstruktur des Polypeptidhormons Insulin vom Rind. Dadurch konnte zum ersten Mal gezeigt werden, **dass Proteine tatsächlich eine genau definierte Aminosäuresequenz besitzen**. Er erhielt für seine Arbeit 1958 den Nobelpreis.

Mit den zwanzig proteinogenen Aminosäuren kann bereits bei kleinen Peptiden eine **ungeheure Vielzahl an Molekülen mit verschiedenen Sequenzen** aufgebaut werden.

20 proteinogene Aminosäuren

Anzahl der daraus möglichen Dipeptide: $20 \cdot 20 = 400$

Tripeptide: $20 \cdot 20 \cdot 20 = 20^3 = 8000$

Peptide aus n Aminosäuren: 20^n

Protein aus 300 Aminosäuren: $20^{300} = 10^{390}$!
Das überschreitet sogar die Anzahl Atome im Universum!

Proteine sind die mit Abstand vielseitigsten molekularen Komponenten der Zelle. Dennoch – die tatsächlich vorkommenden Proteinsequenzen entsprechen nur einem winzigen Teil der theoretisch möglichen Sequenzen.

Aufgabe 5: Wieviele verschiedene Aminosäure-Sequenzen sind für ein Polypeptid möglich, das aus 12 Aminosäuren besteht?

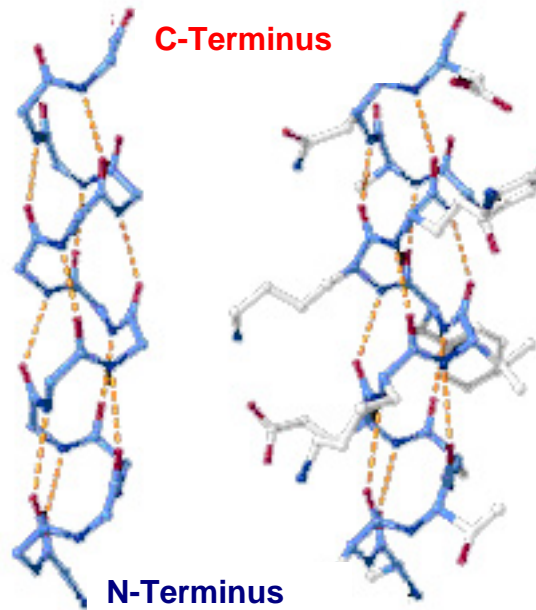
⁴ Quelle: Offizielle Webseite der Nobel-Foundation: Chemie-Nobelpreisträger. Available: <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/>

Von der Primärstruktur zum gefalteten Protein

Jedes natürlich vorkommende Protein besitzt eine definierte räumliche Struktur (**Faltung**), die durch die Primärstruktur festgelegt wird. Bei gegebener Aminosäuresequenz können sich nur bestimmte stabile räumliche Strukturen ausbilden.

Die erste Faltungsebene ist die **Sekundärstruktur**. Sie beschreibt die **Ausbildung von Wasserstoff-Brücken im Peptidrückgrat**. Die beiden Faltungselemente der Sekundärstruktur sind die **α -Helix** (Fig. 4) und das **β -Faltblatt** (Fig. 5).

Fig. 4: α -Helix⁵ mit (rechts) und ohne (links) Seitenketten



Bei der **α -Helix** (Fig. 4) bildet das Peptidrückgrat eine **rechtsgängige Schraube**. Es wird die maximale Menge an intramolekularen **Wasserstoff-Brücken** ausgebildet, so dass durchschnittlich 3.6 Aminosäuren pro Windung vorkommen. Die Seitenketten der Aminosäuren weisen nach aussen, von der α -Helix weg.

Linus Pauling⁶ (Photo) bestimmte die erste Struktur einer α -Helix und erhielt 1954 dafür den Nobelpreis in Chemie.

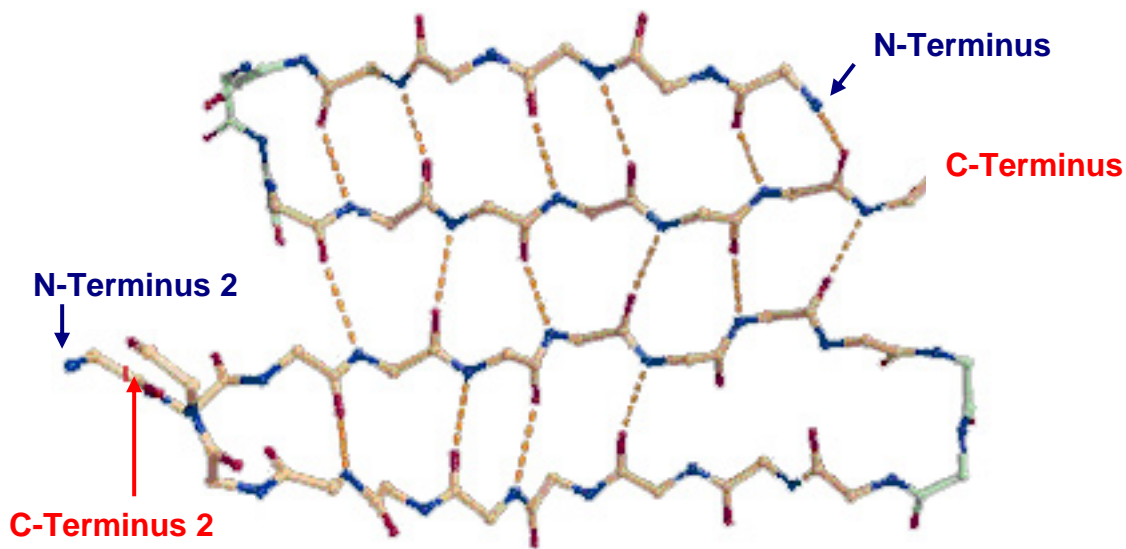


⁵ Quelle: Tan, S.: Picture and Movie Gallery, Aminosäure, Peptid und Proteinbilder. Available: http://www.bmb.psu.edu/faculty/tan/lab/gallery_secstruct.html.

⁶ Quelle: Offizielle Webseite der Nobel-Foundation: Chemie-Nobelpreisträger. Available: <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/>

Beim **β -Faltblatt** (Fig. 5) treten **Wasserstoff-Brücken** zwischen benachbarten Polypeptidketten auf. Die benachbarten Polypeptidketten liegen parallel zueinander und können so zwischen ihren Carbonyl- und Aminogruppen Wasserstoffbrücken ausbilden. Von der Seite her gesehen haben die Peptidketten ein gewelltes oder **gefaltetes Erscheinungsbild**, ein „**Faltblatt**“. Die Seitenketten der Aminosäuren stehen von der Faltblattebene aus gesehen nach oben und nach unten.

Fig. 5: β -Faltblatt ohne Seitenketten (nicht alle Wasserstoff-Brücken sind dargestellt)⁷.



Die **Wechselwirkungen der Aminosäure-Seitenketten** führen dazu, dass die Proteine sich spontan zu einer spezifischen Konformation (wie z. B. in Fig. 6) falten. Diese ist meist kompakt und kugelförmig, manchmal auch lang und fadenförmig.

Das **Proteininnere** von wasserlöslichen Proteinen besteht aus gehäuften **hydrophoben** Aminosäure-Seitenketten in dichter Anordnung. Die **stärker polaren** Seitenketten bilden die **Aussenfläche**.

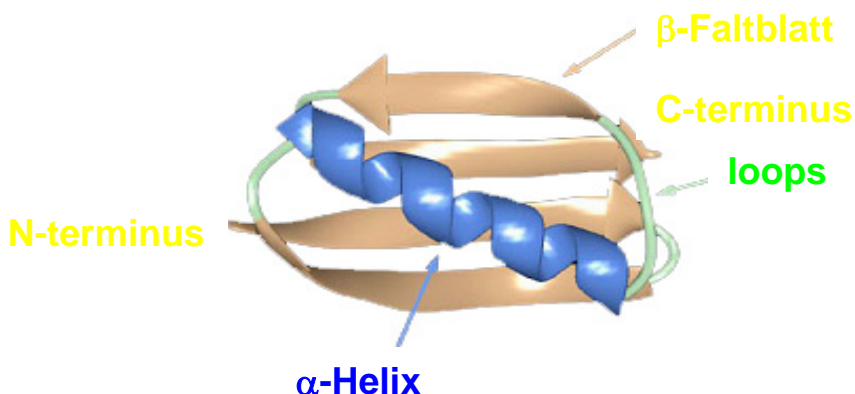


Fig. 6: Immuno-globulin-Domäne eines Antikörpers⁵. Die α -Helix und das β -Faltblatt sind schematisch dargestellt.

⁷ Quelle: Tan, S.: Picture and Movie Gallery, Aminosäure, Peptid und Proteinbilder. Available: http://www.bmb.psu.edu/faculty/tan/lab/gallery_secstruct.html.

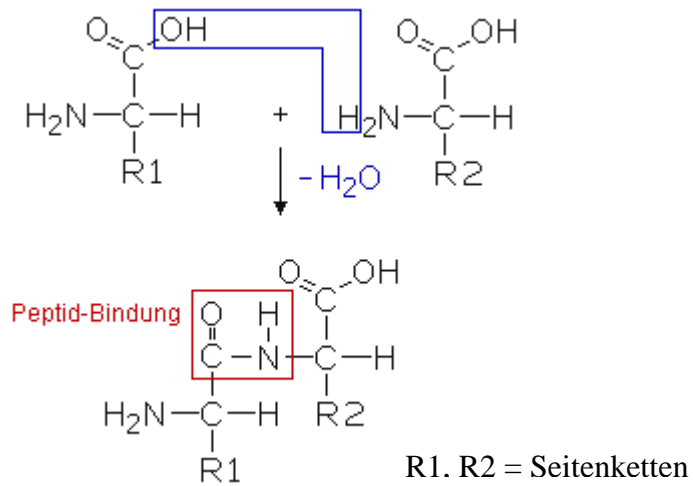
Proteine sind folglich keine **statistischen Zufallsknäuel**, sondern besitzen **festgelegte Konformationen**. Durch Hitze, Säuren, Laugen und organische Lösungsmittel werden Proteine entfaltet (**denaturiert**). Die hydrophoben Aminosäuren, die sonst im Inneren des Proteins verborgen sind, interagieren untereinander und mit anderen Proteinketten und schliesslich entstehen **Aggregate** von ungefalteten Proteinketten, die aus der Lösung ausfallen.

Leider gibt die Primärstruktur keine Information über die **Funktion des Proteins**. Nach der Sequenzierung des gesamten menschlichen Genoms kennt man nun zwar fast alle menschlichen Aminosäure-Sequenzen (Primärstruktur), man weiss aber oft nichts über die Faltung und Funktion des entsprechenden Proteins. Dies aufzuklären, ist ein riesiges neues Aufgabenfeld für die moderne Biochemie.

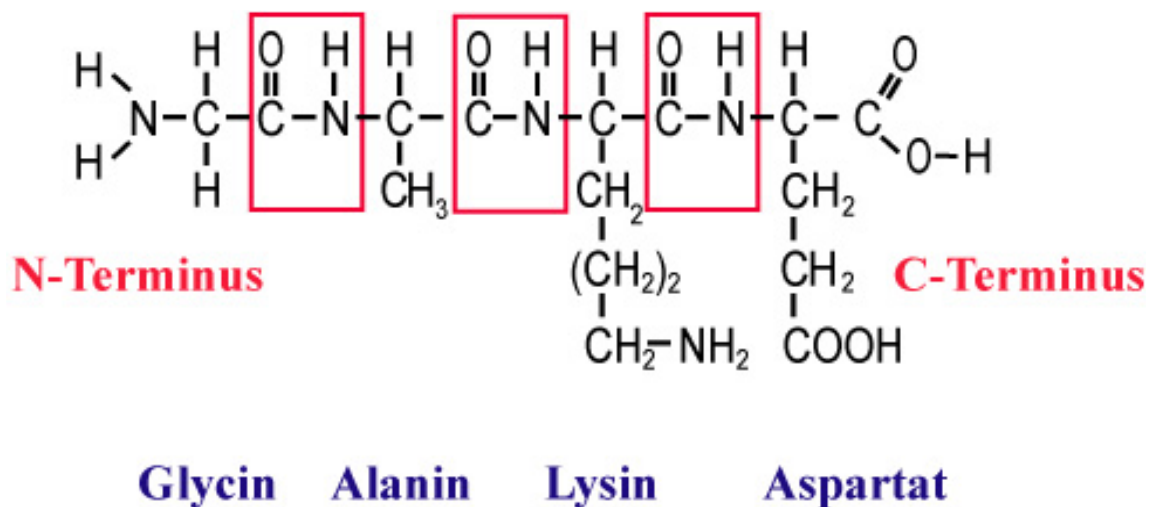
Aufgabe 6: Welche Wechselwirkungen stabilisieren ein Protein in seinem gefalteten Zustand?

Lösungen zum Thema Peptidbindung

Aufgabe 1: Formulieren Sie die Kondensationsreaktion von zwei Aminosäuren⁸



Aufgabe 2: Nehmen Sie den Molekülbaukasten und bauen Sie ein Tetrapeptid, mit der Sequenz Gly-Ala-Lys-Asp. Zeichnen Sie das zu bauende Peptid vorher auf und beschriften Sie den N- und den C-Terminus.

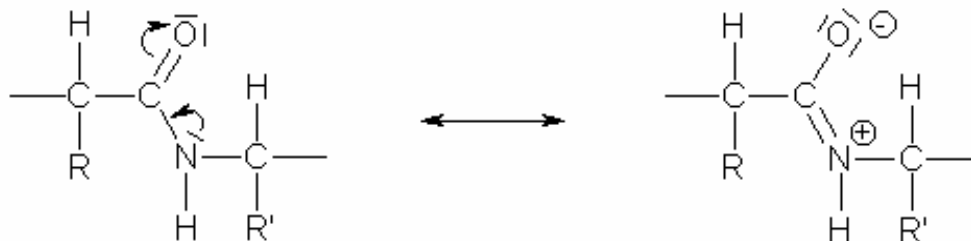


⁸ Quelle Fig. 1: <http://www2.chemie.uni-erlangen.de/projects/vsc/chemie-mediziner-neu/aminosauren/peptid.html>

Aufgabe 3: Hat das Gly-Ala-Lys-Asp-Peptid auch einen isoelektrischen Punkt? Welche Gruppen tragen zum isoelektrischen Punkt bei?

Auch Peptide haben einen isoelektrischen Punkt. Er wird durch die Seitenketten und durch die N-terminale Aminogruppe, sowie die C-terminale Carboxygruppe bestimmt. Bei dem gegebenen Tetrapeptid tragen vier Gruppen zum isoelektrischen Punkt bei: die N-terminale Aminogruppe, die C-terminale Carboxygruppe, die ϵ -Aminogruppe von Lysin und die β -Carboxylgruppe von Aspartat.

Aufgabe 4: Zeichnen Sie die mesomeren Grenzformeln, die die Mesomerie-stabilisierung der Peptidbindung verdeutlichen.



Aufgabe 5: Wieviele verschiedene Aminosäure-Sequenzen sind für ein Polypeptid möglich, das aus 12 Aminosäuren besteht?

$$20^{12} = 2 \cdot 10^{13}$$

Aufgabe 6: Welche Wechselwirkungen stabilisieren ein Protein in seinem gefalteten Zustand?

1. *Hydrophobe Wechselwirkungen – hydrophobe Reste tendieren dazu, einen hydrophoben Kern zu bilden und Wasser auszuschliessen.*
2. *Wasserstoff-Brücken – a) innerhalb des Peptidrückgrats (Ausbildung von Sekundärstrukturelementen) und b) zwischen polaren Gruppen der Seitenketten (Ausbildung höherer Strukturen).*
3. *Ionische Wechselwirkungen - geladene Reste sind meist an der Oberfläche von Proteinen zu finden.*
4. *Disulfid-Brücken – kovalente Quervernetzung der Peptidkette(n).*

Gruppenaktivität: Kleingruppenarbeit

Umzusetzende wissenschaftliche Erkenntnisse (Allgemeine Didaktik, Kapitel 16, Quelle 5)

- (18): In Zweier- bis Vierergruppen einander helfen. Vor allem leistungsschwache Schüler können profitieren.
- (22): Mitschüler dürfen nur Lösungswege erklären, nicht das Endresultat bekanntgeben.
- (24): Es werden gemischte Gruppen (leistungsschwache und sehr gute Schüler) gebildet.
- (25): Es werden homogene Gruppen (nur mittelgute Schüler) gebildet.
- (28): Gruppengröße: 3-4 Personen pro Gruppe ist ideale Gruppengröße.
- (32): Gruppenarbeit ohne Noten verbessert das Problemlösen.

Literatur

Lehrbücher

- Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. (Hrsg.): Chemie Heute. Sekundarstufe I, Kap. 5.7-5.8; Sekundarstufe II, Kap. 19.7-19.10. Hannover 1998 (Schrödel).
- Botsch, W., Höfling, E., Mauch, J.: Chemie in Versuch, Theorie und Übung. Frankfurt/Main, Aarau 1984, Band 1, Kap. 13.7 (Diesterweg-Sauerländer).
- Botsch, W., Höfling, E., Knaz, K., Mauch, J.: Chemie in Versuch, Theorie und Übung. Frankfurt/Main, Aarau 1995, Band 2, Kap. 5 (Diesterweg-Sauerländer).
- Kiechle, H.: Leistungskurs Biochemie. Frankfurt/Main, Aarau 1985, S. 1 -15 (Diesterweg-Sauerländer).
- Knippers, R.: Molekulare Genetik. Stuttgart 1997, 7. Auflage, Kap. 1 (Thieme).
- Czihak, G., Langer, J., Ziegler, H. (Hrsg.): Biologie. Heidelberg 1990, 4. Aufl. (Springer).
- Nelson, C., Cox, M.: Lehninger Biochemie. Heidelberg 2001, Kap. 5 (Springer).
- Neumüller, O.-A. (Hrsg.): Roempps Chemie-Lexikon. Stuttgart 1983, 8. Auflage (Franckh'sche Verlagshandlung).
- Voet, D., Voet, J.G.: Biochemie. Weinheim 1994, 1. Auflage (Wiley-VCH).
- Vollhardt, K.P.C.: Organische Chemie. Weinheim 2000, 3. Auflage (Wiley-VCH).
- Wuthier, U.: Erste Schritte in Chemie. ETH Zürich 2002, Kap. 27.

Fachzeitschriften / Artikel

- Pfeifer, P. (Hrsg.): Nützliche Aminosäuren. In: Naturwissenschaften im Unterricht Chemie. 75 (2003) 4 - 46.

Internet

- Gasteiger, J., Schunk, A.: Vernetztes Studium - Chemie, Chemie für Mediziner. Aminosäuren. Universität Erlangen (2001). Available: <http://www2.chemie.uni-erlangen.de/projects/vsc/chemie-mediziner-neu/aminosaeuren/peptid.html>.
- Kilbinger, A.: Vorlesung Organische Chemie I (2003) Aminosäuren-Peptide. Available: <http://www.uni-mainz.de/~akilbing/Aminosren.pdf>.
- Tan, S.: Picture and Movie Gallery, Aminosäure, Peptid und Proteinbilder. Available: http://www.bmb.psu.edu/faculty/tan/lab/gallery_secstruct.html.
- Winkler, F.: Grundlagen der Biologie: Molekularbiologie und Biochemie (2003). Dreidimensionale Struktur von Proteinen. Available: <http://sb.web.psi.ch/teaching.html>.

Strukturbilder

Protein Data Bank (PDB): <http://www.rcsb.org/pdb>

Bilder hergestellt mit Pymol: <http://pymol.sourceforge.net/>

Smith, G.D., Duax, W.L. Dodson, E.J., Dodson, G. G., De Graaf, R. A. G., Reynolds, C. D.:
The Structure of Des-Phe B1 Bovine Insulin. In: *Acta Crystallogr.* (1982) 3028ff. PDB-
Entry: 2INS.

Elrod-Erickson, M., Benson, T.E., Pabo, C.O.: High-resolution structures of variant Zif268-
DNA complexes: implications for understanding zinc finger-DNA recognition. In:
Structure 6 (1998) 451ff. PDB-Entry: 1A1H.