

Rund um das Hühnerei – die Chemie der Proteine

Ein Beitrag von Mathias Ebel, Hergenrath
Mit Illustrationen von Katja Rau, Berglen

Proteine, auch Eiweiße genannt, zählen zu den wichtigsten Bausteinen aller Lebewesen mit zahlreichen Schlüsselfunktionen. Neben der Funktion des Muskelaufbaus sind sie z. B. elementar in ihrer Funktion als Enzyme und als Strukturproteine.

In dieser Einheit machen die einfach durchzuführenden Versuche neugierig auf die chemischen Hintergründe der Proteine, welche die Schüler nebenbei spielerisch erschließen werden.



Foto: Thinkstock/iStock

Als Proteinlieferant sind Eier ein wichtiger Bestandteil der Ernährung.

Mit Aminosäuren-Spiel und Memory!

Das Wichtigste auf einen Blick

Klasse: 9/10

Dauer: 5 Stunden (Minimalplan: 3)

Kompetenzen: Die Schüler ...

- erläutern die biologische Bedeutung und das Vorkommen von Proteinen in verschiedenen Nahrungsmitteln.
- führen selbstständig Versuche zur Untersuchung von Proteinen durch.
- beschreiben mit angemessenen Fachausdrücken den chemischen Aufbau von Polypeptiden.
- teilen die Aminosäuren in polare, unpolare, saure und basische Vertreter ein und benennen deren funktionelle Gruppen.

Versuche:

- Die Denaturierung von Eiklar – was passiert hier? (SV)
- Und was passiert dann? – Eiklar und erneute Hitze (SV)

Übungsmaterial:

- Geballtes Wissen! – Die Chemie der Aminosäuren
- „Trumpf gewinnt“ – Das Aminosäuren-Spiel
- Das Aminosäuren-Memory

Was Sie zum Thema wissen müssen

Die Proteine – Bedeutung, Aufbau und Synthese

Neben den **Kohlenhydraten**, **Lipiden** (Fetten) und der **DNS** (= **Desoxyribonucleinsäure**; englisch: **DNA** für *deoxyribonucleic acid*; Träger des Erbguts) zählen die **Proteine** zu den biologisch zentralen Makromolekülen. Sie übernehmen im menschlichen Körper zahlreiche lebenswichtige Aufgaben, beispielsweise in Form von **Transport-** (z. B. Hämoglobin), **Speicher-** oder **Strukturproteinen** (z. B. Kollagen, Keratin), doch auch als **Membranproteine** (z. B. als Rezeptoren) oder als **Enzyme** (z. B. Pepsin, Trypsin), **Antikörper** oder auch **Hormone** (z. B. Insulin), um nur einige zu nennen.

Diese große und äußerst **vielfältige Gruppe der Biomoleküle** ist prinzipiell aus nur wenigen (20 natürlichen) Aminosäuren aufgebaut. Entscheidend für ihre Funktion ist u. a. die Länge und Komplexität der Aminosäurekette. Die einzelnen Bausteine, die **Aminosäuren** (AS), sind über eine **Peptidbindung** miteinander verknüpft. Je nach Anzahl der AS werden die Peptide als Di-, Tri-, Oligo- oder Polypeptide bezeichnet. Ab etwa 100 Aminosäuren werden sie dann Proteine genannt, wobei die Übergänge durchaus fließend sind.

In Organismen erfolgt die Synthese dieser AS-Ketten über Ribosomen und wird als **Proteinbiosynthese** bezeichnet. Ihre Sequenz (**Primärstruktur**) ist somit in der DNA festgelegt. Die synthetisierte AS-Kette kann sich anschließend in bestimmter Art und Weise falten (**Sekundärstruktur**), sich danach übergeordnet räumlich anordnen (**Tertiärstruktur**), sich mit anderen AS-Ketten zu einem **Proteinkomplex** zusammenlagern (**Quartärstruktur**) oder weiter umgebaut werden.

Denaturierung von Proteinen

Durch chemische (z. B. Hitze, Säure) oder auch physikalische (z. B. Druck, Temperatur) Einflüsse kann sich die Sekundär-, Tertiär- oder Quartärstruktur der Proteine ändern, ohne dass dabei die Primärstruktur zerstört wird. Dieser Vorgang wird als **Denaturierung** bezeichnet. Zum Beispiel wird das Eiklar eines Hühnereis beim Kochen fest, da sich die Struktur der Proteinmoleküle ändert. Meist ist eine Denaturierung von Proteinen **irreversibel** (= nicht umkehrbar).

Die Aminosäuren

Grundlegende Bausteine der Proteine sind die AS. Die **20 natürlich vorkommenden AS** werden weiter in vier Gruppen unterteilt: die **basischen, polaren AS** (Arginin, Lysin, Histidin), die **sauren, polaren AS** (Asparaginsäure, Glutaminsäure), die **unpolaren, neutralen AS** (Leucin, Isoleucin, Methionin, Phenylalanin, Prolin, Tryptophan, Valin, Alanin, Glycin) und die **polaren, neutralen AS** (Asparagin, Cystein, Glutamin, Serin, Threonin, Tyrosin).

Vorschläge für Ihre Unterrichtsgestaltung

Voraussetzungen der Lerngruppe

Die Einheit setzt die folgenden chemischen Grundkenntnisse der Schülerinnen und Schüler* voraus:

- Bildung von **Kationen und Anionen** zur Erfüllung der Edelgasregel
- Bildung von **Elektronenpaarbindungen** zur Erfüllung der Edelgasregel
- Struktur von **Molekülionen**
- **Elektronenpaar-Abstoßungsmodell** und damit Verständnis der räumlichen Struktur von z. B. Methan- und Wassermolekülen
- **Protolysen** von Säuren und Basen

* Im weiteren Verlauf wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet.

Aufbau der Unterrichtseinheit

Der Einstieg in die Einheit erfolgt mithilfe von **Farbfolie M 1**, auf welcher diverse Bilder zum Thema Proteinshakes zu sehen sind. Dies soll zu einer Gesprächsrunde über den Nutzen dieser Shakes anregen. Mit dem Kuchendiagramm, welches die Nährstoffe eines Hühnereis zeigt, soll anschließend zum Thema Proteine übergeleitet werden. Durch das **Arbeitsblatt M 2** nähern sich die Schüler selbstständig der Thematik.


In den **Schülerversuchen M 3** und **M 4** führen die Schüler Versuche zur Hitzedenaturierung mit Proteinen durch, indem sie im Versuch M 3 Eiklar erhitzen, bis es denaturiert. In Versuch M 4 sollen die Schüler durch eine erneute Erhitzung des getrockneten Eiweißes und einen Vergleich mit erhitztem Zucker auf den elementaren Aufbau von Proteinen schließen.

Mit **Material M 6** werden die molekularen Grundlagen der Aminosäure-Chemie erarbeitet. Das Material enthält Info-Karten mit den chemischen Grundlagen, die es auch Schülern mit Defiziten in Chemie erlauben, sich den Stoff anzueignen.

Das **Aminosäuren-Quartett M 7** und das **Aminosäuren-Memory M 8** dienen zum Abschluss der Einheit der spielerischen Lernerfolgskontrolle.

Üben

Angebote zur Differenzierung

Als **Zusatzmaterial auf CD** () stehen Ihnen für schnellere und stärkere Schüler **weitere Fragen zum Arbeitsblatt M 2** bereit. Leistungsstärkere Schüler können in Stunde 4 oder 5 auch mit dem anspruchsvolleren **Memory M 8** beginnen. Für schwächere Schüler finden Sie **Tippkarten (M 5)** für die Aufgaben **zu den Schülerversuchen M 3 und M 4**.

Hinweise für fächerübergreifendes Arbeiten

Die folgende Unterrichtsreihe ist stark **biochemisch** geprägt. Parallel zu dieser Einheit bietet es sich daher an, im **Biologieunterricht** das „Thema Ernährung“ zu behandeln.

Im **hauswirtschaftlichen Unterricht** sind viele Anknüpfungspunkte zum Thema möglich. Die „Chemie in der Küche“ ist spannend und betrifft nur allzu oft die Proteine, beispielsweise das Gerinnen von Eiweiß beim Spiegelei, das Anbrennen von Proteinen in der Pfanne oder auch das Klären der Frage: *Wie viel Eiweiß brauchen wir für eine gesunde Ernährung?*

Auch zum Bereich **Sport** kann mithilfe dieses Themas übergeleitet werden: *Was ist in den Fitness-Proteinshakes? Warum brauchen wir zum Muskelaufbau Proteine und was sind eigentlich Anabolika?*

Diese Kompetenzen trainieren Ihre Schüler

Die Schüler ...

- erläutern die biologische Bedeutung und das Vorkommen von Proteinen in verschiedenen Nahrungsmitteln.
- teilen die 20 Aminosäuren nach ihren Stoffeigenschaften in polare, unpolare, saure und basische ein und erläutern deren Eigenschaften anhand der Molekülstruktur.
- erläutern den Aufbau von Aminosäuren mit zentralen funktionellen Gruppen und zeichnen sie in verschiedenen Formeldarstellungen.
- führen Experimente nach Anleitung durch und protokollieren ihre Ergebnisse und Beobachtungen.

Medientipps

Literatur für Lehrer

Müller-Esterl, Werner: Biochemie. Eine Einführung für Mediziner und Naturwissenschaftler. 3. Aufl., Springer Spektrum. Heidelberg 2018.

Ein leicht verständliches, umfangreiches Lehrbuch im Bereich der Biochemie für alle, die in sehr übersichtlicher Form ihre Grundlagen vertiefen und die chemischen Hintergründe genauer verstehen wollen.

Rehner, Gertrud; Daniel, Hannelore: Biochemie der Ernährung. 3. Aufl., Springer Spektrum. Heidelberg 2010.

Mit starkem Augenmerk auf zelluläre Vorgänge gibt das Buch einen guten Überblick über die wichtigsten Grundfunktionen von biochemischen Molekülen im menschlichen Körper.

Filme

Biomoleküle, DVD, ca. 115 min, 2004, FWU-Nr. 4602291

Die 16 Filme aus der Reihe „Biomoleküle“ behandeln alle in der Unterrichtsreihe thematisierten chemischen Grundlagen und können sehr gut ergänzend eingesetzt werden.

Proteine: Aufbau und Eigenschaften, DVD, ca. 5 min, 2013, Schulfilme im Netz

Der Film erklärt Aufgaben und den Aufbau der Proteine, geht auch auf die Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur ein und behandelt den Aufbau der proteinbildenden Aminosäuren.

Internetadressen

www.u-helmich.de/bio/cytologie/02/021/Proteine/Proteine.html

Die Internetseite wurde von Herrn Helmich hauptsächlich für Schüler angelegt. Hier findet man ausführliche Informationen zur Bedeutung und insbesondere zum Aufbau der Proteine.

Die Einheit im Überblick

🕒 V = Vorbereitung

SV = Schülerversuch

AB = Arbeitsblatt/Informationsblatt

🕒 D = Durchführung

FO = Folie

TK = Tippkarte

📁 = Zusatzmaterial auf CD

Stunde 1: Proteine – eine Einführung	
M 1 (FO)	Der Eierdrink – lässt er die Muskeln wachsen?
M 2 (AB)	Fragen über Fragen: Proteine, Aminosäuren & Co.
📁 (AB)	Fragen über Fragen: Hier geht's weiter ...

Stunden 2–3: Untersuchung von Eiklar	
M 3 (SV/AB) 🕒 V: 5 min 🕒 D: 40 min	Die Denaturierung von Eiklar – was passiert hier? <input type="checkbox"/> 1 Schutzbrille pro Schüler <input type="checkbox"/> 1 Dreibein mit Drahtnetz <input type="checkbox"/> 1 Ei <input type="checkbox"/> 1 Rührstab <input type="checkbox"/> 3 Bechergläser (250 ml) <input type="checkbox"/> 1 Heizplatte oder 1 Gasbrenner <input type="checkbox"/> destilliertes Wasser <input type="checkbox"/> 1 Stativ mit Stativklammer <input type="checkbox"/> 1 Thermometer (etwa bis 100 °C) <input type="checkbox"/> 1 Teesieb
M 4 (SV/AB) 🕒 V: 5 min 🕒 D: 20 min	Und was passiert dann? – Eiklar und erneute Hitze <input type="checkbox"/> 1 Schutzbrille pro Schüler <input type="checkbox"/> 1 Becherglas (250 ml) <input type="checkbox"/> 1 Reagenzglas <input type="checkbox"/> Protein-Suspension <input type="checkbox"/> 1 Gasbrenner <input type="checkbox"/> Zucker <input type="checkbox"/> 1 Reagenzglas-klammer <input type="checkbox"/> 1 Spatel
M 5 (TK)	Dem chemischen Aufbau von Eiklar auf der Spur – Tippkarten

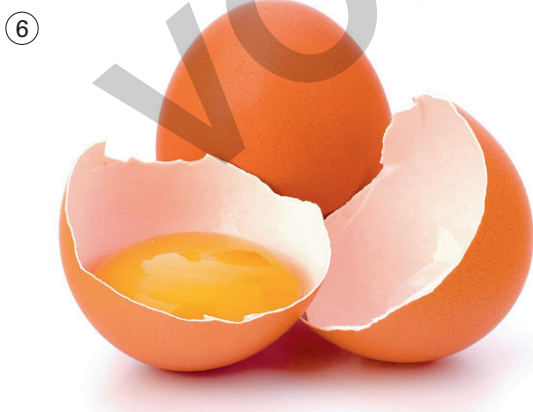
Stunden 4–5: Die Chemie der Aminosäuren im Griff – eine Übungseinheit	
M 6 (AB)	Geballtes Wissen! – Die Chemie der Aminosäuren
M 7 (AB)	„Trumpf gewinnt!“ – Das Aminosäuren-Spiel
M 8 (AB)	Das Aminosäuren-Memory

Minimalplan

Ihnen steht wenig Zeit zur Verfügung? Dann können Sie die Einheit auf **drei Stunden** verkürzen, indem Sie die **Schülerversuche M 3** und **M 4** entfallen lassen. Die in diesen Materialien enthaltenen Versuche sind nicht zwangsläufig erforderlich, um sich die Chemie der Aminosäuren anzueignen.

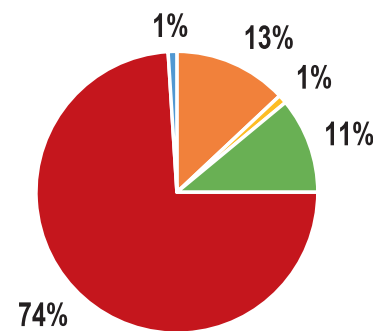
M 1

Der Eierdrink – lässt er die Muskeln wachsen?



- ⑦
- Proteine
 - Kohlenhydrate
 - Fette
 - Wasser
 - Spurenelemente & Vitamine

Nährstoffe im Hühnerei



Quelle: www.eier.de/Seiten/Ei/vei_nahr.htm; Fotos: ©, ©, ©, ©: Thinkstock/Stock; ©: Thinkstock/Fotolia; ©: Colourbox

Die Denaturierung von Eiklar – was passiert hier?

M 3

Wie viel Protein im Eiweiß steckt, kann man mit einem einfachen Versuch sichtbar machen. Dazu nutzt man die Tatsache, dass Proteine beim Erhitzen unlöslich werden. Dieses Phänomen heißt Hitzedenaturierung. Ihr selbst habt es bestimmt schon oft beobachtet: zum Beispiel, wenn sich das Eiklar beim Braten in der Pfanne weiß färbt.

Schülerversuch in Kleingruppen ⌚ Vorbereitung: 5 min ⌚ Durchführung: 40 min

Aufgabe

Führt den folgenden Versuch durch.

So führt ihr den Versuch durch

1. Stellt die folgenden Materialien bereit.

- | | | |
|---|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1 Schutzbrille pro Schüler | <input type="checkbox"/> 1 Thermometer (etwa bis 100 °C) | <input type="checkbox"/> 1 Heizplatte oder 1 Gasbrenner |
| <input type="checkbox"/> 1 Ei | <input type="checkbox"/> 1 Dreibein mit Drahtnetz | <input type="checkbox"/> 1 Stativ mit Stativklammer |
| <input type="checkbox"/> 3 Bechergläser (250 ml) | <input type="checkbox"/> 1 Rührstab | <input type="checkbox"/> 1 Teesieb |
| <input type="checkbox"/> destilliertes Wasser | | |



2. Trennt das Eiklar vom Eigelb. Benutzt dazu zwei Bechergläser.

3. Löst das Eiklar in etwa 100 ml destilliertem Wasser und filtriert die Lösung grob durch das Teesieb in ein weiteres Becherglas. Befestigt mit der Stativklammer das Thermometer am Rand des Becherglases.

! Das Ende des Thermometers darf nicht den Boden oder den Rand des Becherglases berühren.

4. Stellt die Eiklar-Wasser-Lösung auf das Dreibein, schaltet die Heizplatte ein oder entzündet den Gasbrenner und stellt die rauschende Flamme ein.

5. Erhitzt die Lösung nun vorsichtig und rührt mit dem Rührstab. Beobachtet dabei ständig die Temperatur der Eiklar-Wasser-Lösung.

6. Erhitzt die Lösung, bis sie sich deutlich eingetrübt hat und nicht mehr weiter eintrübt. Schaltet dann den Gasbrenner bzw. die Heizplatte ab.

7. Lasst die Protein-Wasser-Suspension abkühlen und rührt sie kräftig.

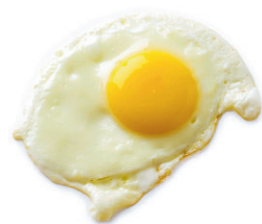


Foto: Thinkstock/Hemera



Beobachten und Auswerten

1. Notiert die Temperatur, bei der die Lösung anfängt, trüb zu werden, und diejenige, bei der sie vollständig getrübt ist. Vergleicht die Temperaturen für die Hitzedenaturierung von Proteinen mit den Messwerten der anderen Gruppen.
2. Erläutert, weshalb sich unsere Körpertemperatur meist bei etwa 36 °C befindet und nicht weit darüber steigen darf.
3. Begründet, warum der Vorgang der Denaturierung nicht rückgängig gemacht werden kann.

Geballtes Wissen! – Die Chemie der Aminosäuren

M 6

Ihr habt gelernt, dass Proteine Polypeptide aus Aminosäuren sind und diese aus den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S) bestehen. Den ersten Schritt zur Chemie der Proteine habt ihr damit schon geleistet. Im nächsten Schritt lernt ihr den genauen Aufbau dieser Moleküle kennen.



Foto: Thinkstock/iStock

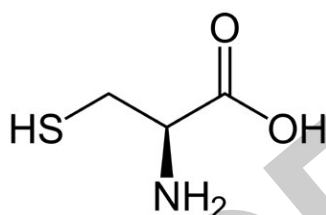
Baut mithilfe des Molekülbaukastens die richtigen Moleküle.

Hinweis Ihr benötigt einen Molekülbaukasten!

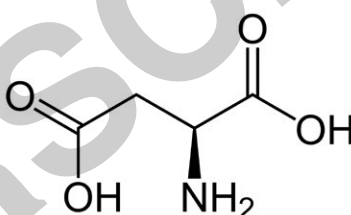
Aufgaben

1. Zeichnet die dargestellten Moleküle als Strukturformeln auf und nennt ihre Summenformeln.
2. Markiert und benennt in den dargestellten Aminosäuren alle funktionellen Gruppen.
3. Ordnet die Aminosäuren nach den Eigenschaften ihrer Reste in Saure, Basische, Polare/Neutrale, Unpolare/Neutrale und Unpolare/Neutrale mit Schwefel.
4. Benennt mithilfe der Info-Karten die Aminosäuren.
5. Konstruiert eine der dargestellten Aminosäuren mithilfe des Molekülbaukastens und baut anschließend nur unter Verwendung von Atomen dieser Aminosäure eine weitere.

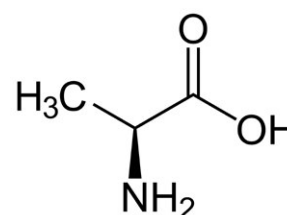
a)



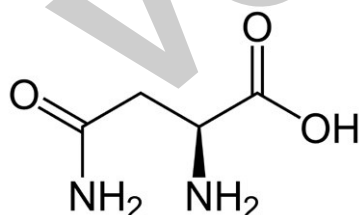
b)



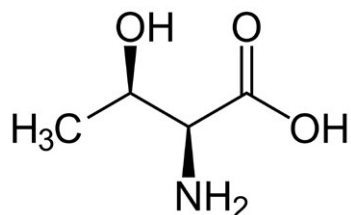
c)



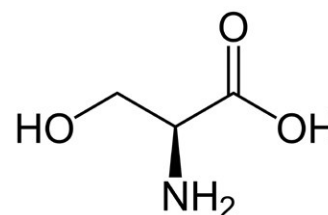
d)



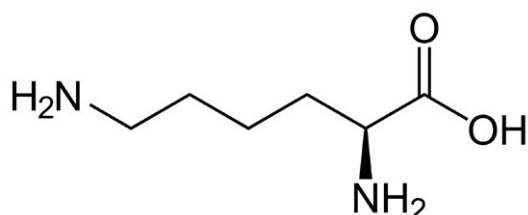
e)



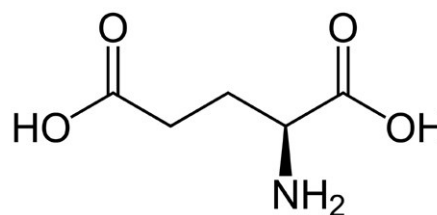
f)



g)



h)



Info-Karten zu M 6



Polar oder unpolar – alles eine Frage der Elektronegativität!

Elektronegativität (EN) ist die Fähigkeit eines Atoms, Bindungselektronen an sich zu ziehen. Jedes Element hat einen eigenen Elektronegativitätswert.

Die Elemente in den Aminosäuren haben diese Werte:

Wasserstoff	(H):	EN = 2,20
Kohlenstoff	(C):	EN = 2,55
Sauerstoff	(O):	EN = 3,44
Stickstoff	(N):	EN = 3,04
Schwefel	(S):	EN = 2,58

Ist die Differenz der Elektronegativitätswerte (ΔE) zweier verbundener Atome 0,5 oder höher, sind die Bindungselektronen zum Atom mit dem höheren Wert verschoben. Das macht die Bindung polar. Ab $\Delta E > 1,7$ spricht man von einer Ionenbindung.

Beispiel: $-\text{OH}$: $\text{EN}(\text{O}) - \text{EN}(\text{H}) = 3,5 - 2,1 = 1,4 \rightarrow$ polar!

Ist die Differenz aber kleiner als 0,5, sind die Bindungselektronen nicht verschoben und die Bindung ist unpolar.

Beispiel: $-\text{CH}$: $\text{EN}(\text{C}) - \text{EN}(\text{H}) = 2,5 - 2,1 = 0,4 \rightarrow$ unpolar!



Funktionelle Gruppen in Aminosäuren

Die Aminogruppe: Diese polare Gruppe besteht aus einem Stickstoffatom, das mit Kohlenstoff- und /oder Wasserstoffatomen verbunden ist. Das Stickstoffatom besitzt noch ein nichtbindendes Elektronenpaar. Mit diesem nimmt es in Wasser ein positiv geladenes Proton auf und reagiert deshalb basisch.

→ Aminosäuren mit wenigstens einer Aminogruppe im Rest ohne eine weitere Carbonylgruppe sind basisch (Lysin, Arginin, Histidin).

Die Carboxylgruppe $-\text{COOH}$: Sie besteht aus einer Hydroxyl- (OH) und einer Carbonylgruppe (CO). Sie reagiert in Wasser unter Abspaltung eines positiv geladenen Protons sauer.

→ Aminosäuren mit einer Carboxylgruppe im Rest sind sauer (Asparaginsäure, Glutaminsäure).

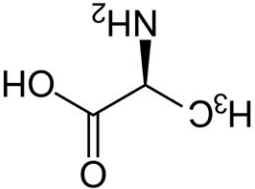
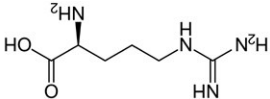
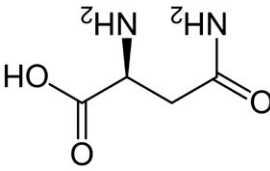
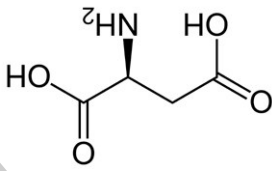
Die Hydroxylgruppe $-\text{OH}$: Sie besteht aus einem Sauerstoff- und einem Wasserstoffatom, die miteinander verbunden sind. Die zweite Bindung des Sauerstoffatoms besteht zum Kohlenstoffatom. Sie ist sehr polar.

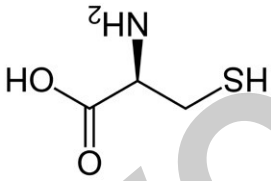
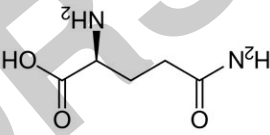
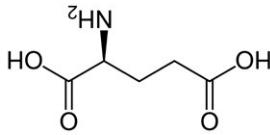
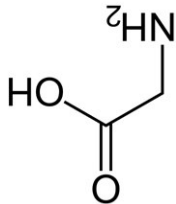
→ Aminosäuren mit einer Hydroxylgruppe im Rest sind polar (Serin, Threonin, Tyrosin).

Die Carbonylgruppe $-\text{CO}$: In der Carbonylgruppe ist ein Kohlenstoffatom über eine Doppelbindung mit einem Sauerstoffatom verbunden. Sie ist polar. Die Kurzschreibweise ist CO.

Die Thiolgruppe: Sie besteht aus einem Schwefelatom, das mit einem Wasserstoffatom verbunden ist. Sie kommt nur im Rest der Aminosäure Cystein vor, der deshalb polar ist.

In der **Thioethergruppe** ist das Schwefelatom mit zwei Kohlenstoffatomen verbunden. Sie ist unpolar und neutral.

Alanin (Ala)	Arginin (Arg)	Asparagin (Asn)	Asparaginsäure (Asp)
Polarität: 2	Polarität: 4	Polarität: 3	Polarität: 4
M (R): 15 g/mol	M (R): 100 g/mol	M (R): 58 g/mol	M (R): 59 g/mol
funktionelle Gruppen: 2	funktionelle Gruppen: 5	funktionelle Gruppen: 4	funktionelle Gruppen: 3
Rest: unpolar/neutral	Rest: polar/basisch	Rest: polar/neutral	Rest: polar/sauer
Hier → falten			
			

Cystein (Cys)	Glutamin (Gln)	Glutaminsäure (Glu)	Glycin (Gly)
Polarität: 2	Polarität: 3	Polarität: 4	Polarität: 2
M (R): 47 g/mol	M (R): 72 g/mol	M (R): 73 g/mol	M (R): 1 g/mol
funktionelle Gruppen: 3	funktionelle Gruppen: 4	funktionelle Gruppen: 3	funktionelle Gruppen: 2
Rest: polar/neutral/S	Rest: polar/neutral	Rest: polar/sauer	Rest: unpolar/neutral
Hier → falten			
			

Histidin (His)	Isoleucin (Ile)	Leucin (Leu)	Lysin (Lys)
Polarität: 4	Polarität: 2	Polarität: 2	Polarität: 4
M (R): 81 g/mol	M (R): 57 g/mol	M (R): 57 g/mol	M (R): 72 g/mol
funktionelle Gruppen: 3	funktionelle Gruppen: 2	funktionelle Gruppen: 2	funktionelle Gruppen: 3
Rest: polar/basisch	Rest: unpolar/neutral	Rest: unpolar/neutral	Rest: polar/basisch
Hier → falten			
