

Gemeinsame Abituraufgabenpools der Länder

Beispielaufgaben

Aufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Aufgabentitel	Die Strukturaufklärung von Insulin
Anforderungsniveau	grundlegend
Inhaltsbereiche	♦ Stoffe, Strukturen, Eigenschaften ♦ Verbindungen mit funktionellen Gruppen ♦ Carboxygruppe ♦ Aminogruppe ♦ Strukturen ausgewählter organischer Stoffe ♦ Inter- und intramolekulare Wechselwirkungen (einschließlich Ionen-Dipol-Wechselwirkungen) ♦ Natürliche und synthetische Stoffe ♦ Proteine
Materialien	♦ M 1 Insulin ♦ M 2 Modell zur Veranschaulichung der Primärstruktur ♦ M 3 Stabilisierung der Proteinstruktur ♦ M 4 Löslichkeit von Leucin in Wasser
Quellenangaben	♦ Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.
Hilfsmittel	♦ keine
zusätzliche inhaltliche und methodische Voraussetzungen	♦ Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur ♦ Aminosäure, Zwitterion
fachpraktischer Anteil	☐ ja ☒ nein Zeitzuschlag: -

1 Aufgabe

Die Strukturaufklärung von Insulin

Frederick Sanger erhielt 1958 den Nobelpreis in Chemie für die Strukturaufklärung des Insulins. Dieses Protein wirkt als Hormon bei der Blutzuckerregulation. Diabetiker können Insulin nicht selbst produzieren und sind deshalb auf eine regelmäßige medikamentöse Gabe angewiesen. Um Insulin hierfür in ausreichender Menge herstellen zu können, musste zuerst dessen Primärstruktur ermittelt werden. Dies gelang Sanger, indem er einzelne Aminosäuren des Insulin-Moleküls abtrennte und identifizierte.

	BE
1 Erklären Sie den Begriff Primärstruktur bei Proteinen. Stellen Sie den Ausschnitt IVE aus dem Insulin-Molekül in Strukturformelschreibweise dar (M 1).	6
2 Ordnen Sie den einzelnen Bausteinen des Modells die entsprechenden Protein-Molekülteile zu (M 2). Beurteilen Sie die Eignung des Modells zur Darstellung der Primärstruktur. Geben Sie zwei Verbesserungsmöglichkeiten für das Modell an und begründen Sie diese.	9
3 Vervollständigen Sie die drei fehlenden Aminosäurereste im oberen Bereich der Abb. 3, sodass jeweils unterschiedliche Wechselwirkungen dargestellt werden (M 3). <i>Hinweis: Die Seitenkette der Asparagin-Moleküls (N) ist in Abb. 3 bereits gegeben.</i> Erklären Sie die strukturellen Voraussetzungen für das Zustandekommen der jeweiligen Wechselwirkungen.	9
4 Vergleichen Sie die Löslichkeiten von Glycin und Leucin in Abhängigkeit vom pH-Wert (M 4). Erklären Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.	6

2 Material

Material 1

Insulin

Insulin ist ein körpereigenes Polypeptid, das die Aufnahme von Glucose in die Körperzellen reguliert. Es besteht aus zwei Peptidketten, die über Disulfid-Gruppen verbunden sind. Eine Peptidkette besteht aus 21 Aminosäuren, die andere aus 30 Aminosäuren:

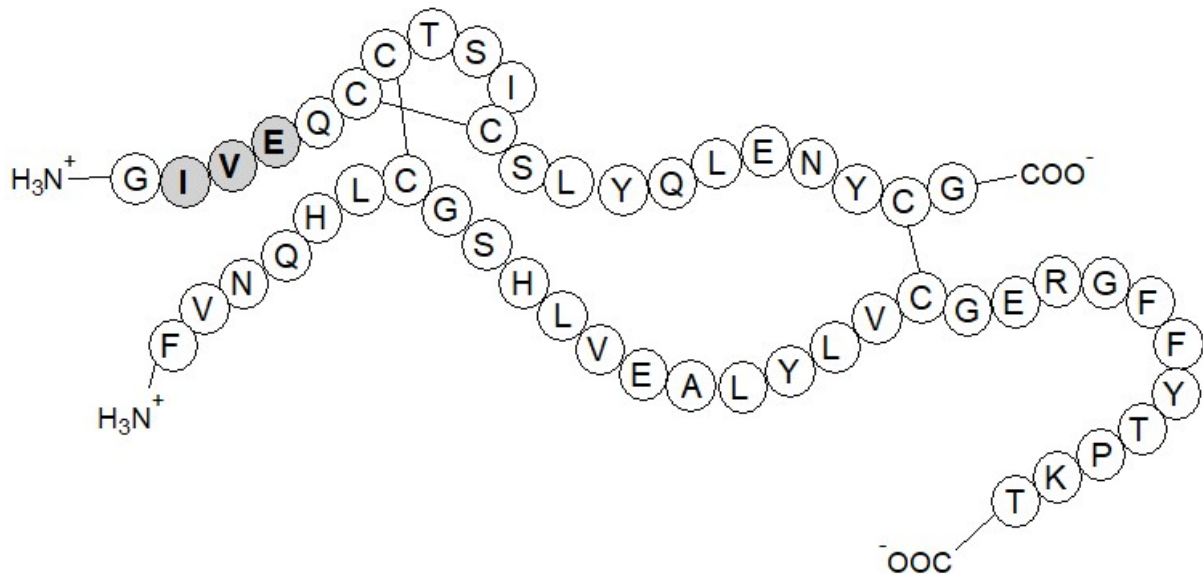


Abb. 1: Darstellung des Insulin-Moleküls im Einbuchstabencode, IQB

Tab. 1: Einbuchstabencodes und systematische Namen ausgewählter Aminosäuren

Code	Name	Systematischer Name
G	Glycin	2-Aminopropansäure
C	Cystein	2-Amino-3-mercaptopropansäure
D	Asparaginsäure	2-Aminobutandisäure
E	Glutaminsäure	2-Aminopentandisäure
F	Phenylalanin	2-Amino-3-phenylpropansäure
I	Isoleucin	2-Amino-3-methylpentansäure
K	Lysin	2,6-Diaminohexansäure
L	Leucin	2-Amino-4-methyl-pentansäure
N	Asparagin	2-Amino-3-carbamoylpropansäure
V	Valin	2-Amino-3-methylbutansäure

Quelle: IQB

Material 2

Modell zur Veranschaulichung der Primärstruktur

Ein Modell soll die Eigenschaften der Primärstruktur veranschaulichen. In dem Modell sind lange, flache Holzquader und runde Holzperlen auf einem Draht aufgefädelt. An den Holzperlen sind zusätzlich Büroklammern befestigt.

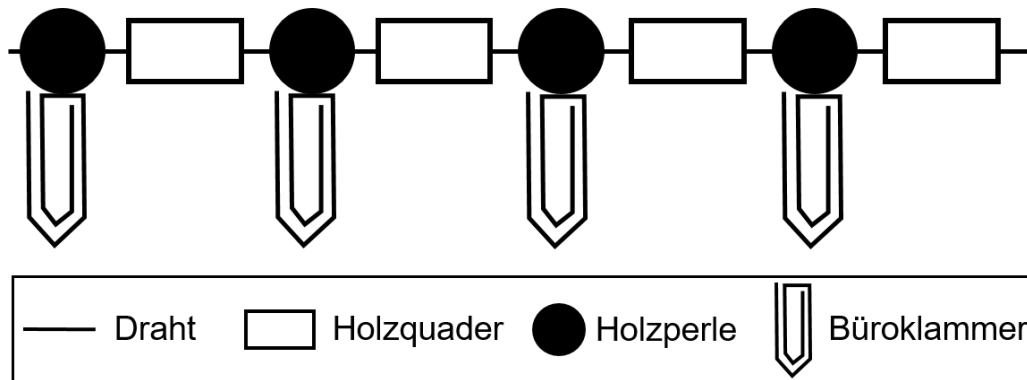


Abb. 2: Schematische Darstellung eines Modells zur Veranschaulichung der Primärstruktur von Proteinen, IQB

Material 3

Stabilisierung der Proteinstruktur

Die Tertiärstruktur gibt die räumliche Anordnung einer Peptidkette in einem Protein wieder. Diese wird durch Wechselwirkungen zwischen Aminosäureresten stabilisiert.

In Abb. 3 ist diese Stabilisierung einer Tertiärstruktur unvollständig dargestellt. Jeweils unterschiedliche Wechselwirkungen treten dabei zwischen den Aminosäureresten von Leucin (L) und Phenylalanin (F), Asparagin (N) und Asparagin (N), Asparaginsäure (D) und Lysin (K) auf.

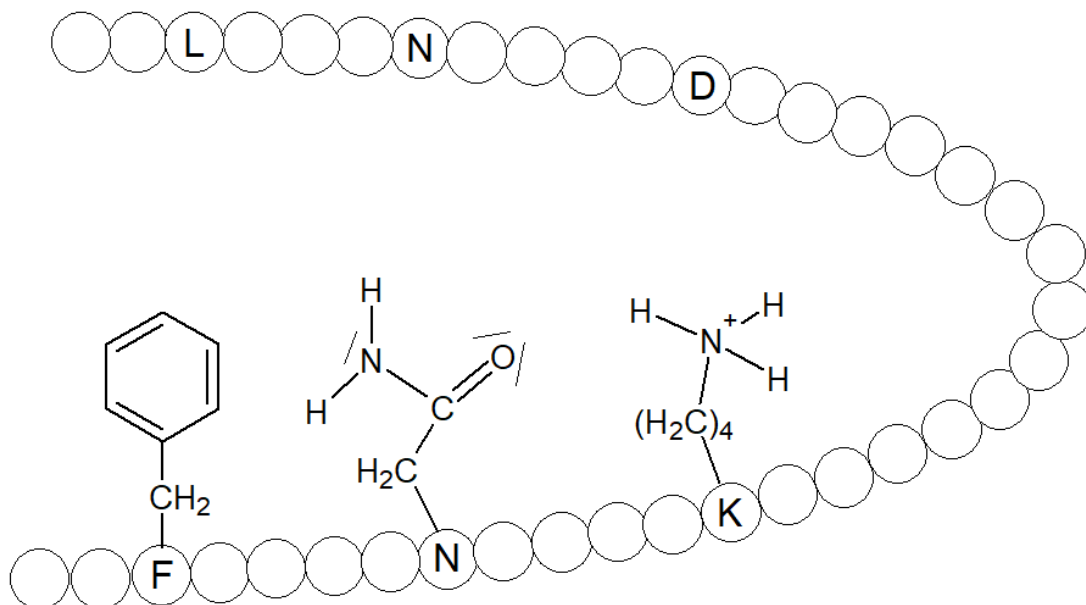


Abb. 3: Modellhafte Darstellung eines Ausschnitts aus einer Peptidkette, IQB

Material 4

Wasserlöslichkeit von Glycin und Leucin

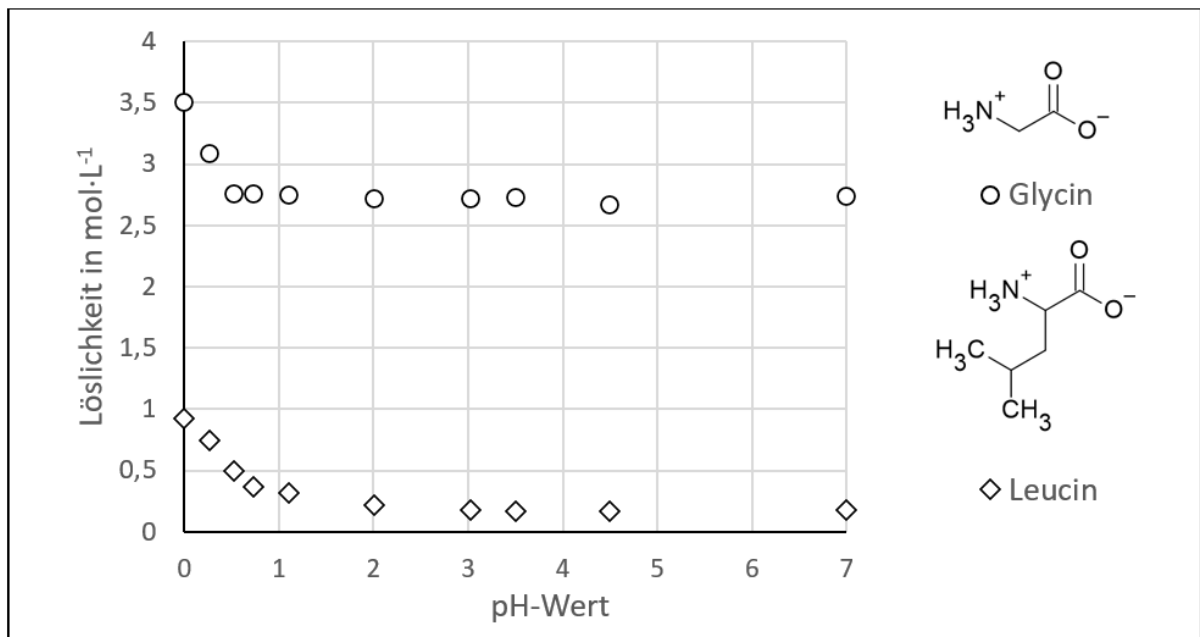


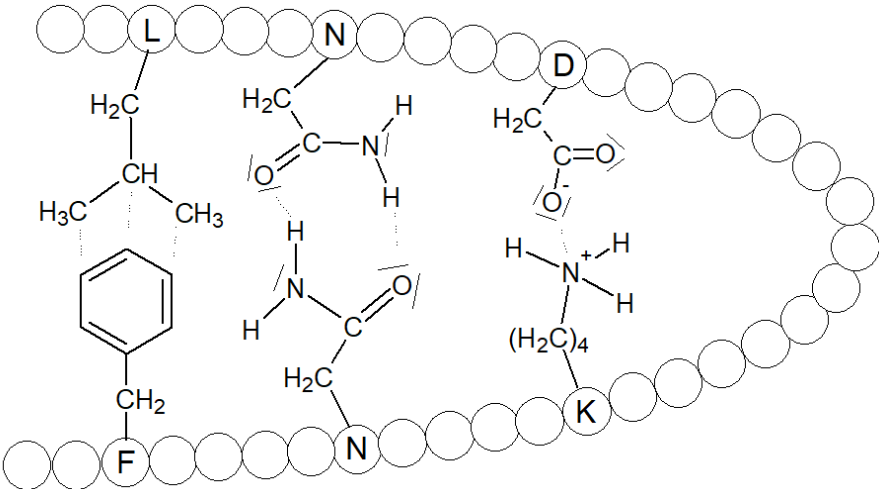
Abb. 4: Löslichkeit von Glycin und Leucin in Wasser in Abhängigkeit vom pH-Wert (bei 25 °C) und Strukturformeln von Glycin und Leucin im neutralen pH-Bereich, IQB

3 Erwartungshorizont

Der Erwartungshorizont stellt für jede Teilaufgabe eine mögliche Lösung dar. Nicht dargestellte korrekte Lösungen sind als gleichwertig zu akzeptieren.

		BE/AFB		
		I	II	III
1	<i>Erklären Sie den Begriff Primärstruktur</i> <i>Stellen Sie den Ausschnitt IVE aus dem Insulin-Molekül in Strukturformelschreibweise (M 1) dar.</i> Die Lernenden ... S 1 beschreiben und begründen Ordnungsprinzipien für Stoffe und wenden diese an; K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte und überführen diese ineinander. Primärstruktur: Gibt die Art und Reihenfolge der über Peptidbindungen miteinander verknüpften Aminosäuren an. $ \begin{array}{ccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{O} & \text{H} & \text{H} & \text{O} & \text{H} \\ & & & & & & \\ \dots - \text{N} - & \text{C} - & \text{C} - & \text{N} - & \text{C} - & \text{C} - & \text{N} - \\ & & & & & & \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH} & & & \text{H}_3\text{C}-\text{CH} & & & \text{CH}_2 \\ & & & & & & \\ \text{H}_2\text{C} & & & \text{CH}_3 & & & \text{CH}_2 \\ & & & & & & \\ \text{CH}_3 & & & & & & \text{COO}^- \end{array} $	2		
2	<i>Ordnen Sie den einzelnen Bausteinen des Modells die entsprechenden Protein-Molekülteile zu (M 2).</i> <i>Beurteilen Sie die Eignung des Modells zur Darstellung der Primärstruktur.</i> <i>Geben Sie zwei Verbesserungsmöglichkeiten für das Modell an und begründen Sie diese.</i> Die Lernenden ... E 7 wählen geeignete [...] Denkmodelle [...] aus und nutzen sie, um chemische Fragestellungen zu bearbeiten; E 9 diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen; B 1 betrachten [...] Modelle [...] aus unterschiedlichen Perspektiven und beurteilen diese sachgerecht auf der Grundlage chemischer Kenntnisse. Zuordnung: ♦ Holzquader → Peptidbindung (NH-CO), ♦ Holzperle → α-Kohlenstoff-Atom + Wasserstoff-Atom, ♦ Büroklammer → Aminosäure-spezifischer Rest,	1	3	
			2	1

	♦ Draht → Elektronenpaarbindung. Bildung eines Sachurteils unter Darstellung verschiedener Vor- und Nachteile des Modells. Vorteile des Modells: ♦ Verdeutlichung der Aminosäureabfolge; ♦ Auffädeln auf Draht ermöglicht Biegen und Verformen der Primärstruktur; ♦ Büroklammern stehen wie die Reste von der Kette ab; ♦ einzelne Abschnitte, wie Peptidbindung und Reste sind aufgrund der unterschiedlichen Formen gut unterscheidbar; ♦ durch Verhaken/Verkleben der Büroklammern sind Wechselwirkungen zwischen den Resten darstellbar. Nachteile des Modells: ♦ Unterschiedliche Aminosäurereste sind nicht in den gleichförmigen Büroklammern widerspiegelt; ♦ Bindungswinkel sind nicht wiedergegeben; ♦ die eingeschränkte Rotation der Peptidbindungen ist nicht dargestellt; ♦ Größenverhältnisse und Formen (Quader entspricht einer Peptidbindung; Perle einem Kohlenstoff-Atom) der verwendeten Bauteile verfälschen den tatsächlichen Zustand. Verbesserungsvorschläge: ♦ Büroklammern aufbiegen und so verschiedene Formen zur Darstellung verschiedener Reste erzeugen; ♦ alternierende Ausrichtung der Reste durch Anordnung der Büroklammern oberhalb und unterhalb der Kette; ♦ Biegen des Drahtes, um Bindungswinkel zu verdeutlichen. <i>Hinweise für die Lehrkraft:</i> <i>Die Zuordnung des Drahtes zu Abschnitten des Proteinmoleküls (z. B. Elektronenpaarbindung) kann bewertet werden. Da der Draht aber von den Prüflingen auch nur als Fädelhilfe angesehen werden könnte, muss diese Zuordnung nicht explizit erfolgen.</i> <i>Für die Bewertung der Beurteilung ist nicht unbedingt die Zahl der Aspekte ausschlaggebend, sondern die sachlich fundierte und fachlich korrekte Ausführung. Für die Erlangung der vollen Punktzahl sollten die Prüflinge aber mindestens je zwei Vor- und Nachteile einbezogen haben.</i>		1	1
			1	1
				2
3	Vervollständigen Sie die drei fehlenden Aminosäurereste im oberen Bereich der Abb. 3, sodass jeweils unterschiedliche Wechselwirkungen dargestellt werden (M 3). Erklären Sie die strukturellen Voraussetzungen für das Zustandekommen der jeweiligen Wechselwirkungen. Die Lernenden ... S 13 nutzen Modelle zur chemischen Bindung und zu intra- und intermolekularen Wechselwirkungen;			

	K 7 nutzen geeignete Darstellungsformen für chemische Sachverhalte [...].  ♦ L-F: Wechselwirkungen zwischen temporären Dipolen (London-Wechselwirkungen bzw. van-der-Waals-Wechselwirkungen) Wechselwirkung zwischen unpolaren (wenig polaren) Bindungen ♦ N-N: Wasserstoffbrücken positiv polarisierte Wasserstoff-Atome wechselwirken mit negativ polarisierten Sauerstoff-Atomen ♦ D-K: Ionische Wechselwirkung (alternativ: Ionenbindung) Anziehung zwischen positiver und negativer Ladung	3	1	5
4	Vergleichen Sie die Löslichkeiten von Glycin und Leucin in Abhängigkeit vom pH-Wert (M 4). Erklären Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede. Die Lernenden ... E 8 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen; K 8 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab. Vergleich: ♦ ähnlicher Kurvenverlauf bei beiden Aminosäuren; ♦ im Bereich $\text{pH} > 1$ nahezu gleichbleibende Löslichkeit; im Bereich $\text{pH} < 1$ starke Zunahme der Löslichkeit; ♦ Löslichkeit von Glycin deutlich besser als von Leucin. Erklärung der unterschiedlichen Löslichkeit bei gleichem pH-Wert: ♦ unpolarer Rest beim Leucin-Molekül → hydrophoberer Charakter von Leucin im Vergleich zu Glycin, dessen Molekül als Rest nur ein Wasserstoff-Atom hat; ♦ → Geringere Wechselwirkungen zwischen den ionischen Anteilen der Leucin-Moleküle und den polaren Wasser-Molekülen.	2	1	1

	Erklärung der Zunahme der Löslichkeit im Bereich $\text{pH} < 1$: ♦ Protonierung der Carboxygruppe führt bei beiden Aminosäure-Molekülen zu besserer Hydratisierung als bei den entsprechenden Zwitterionen. <i>Hinweis für die Lehrkraft:</i> <i>Die schlechtere Hydratisierung der Aminosäure-Zwitterionen aufgrund der nahe beieinander liegenden ungleichnamigen Ladungen muss nicht erklärt werden.</i>		1	1
	Summe	8	15	7
	Anteile der Bewertungseinheiten in Prozent	27	50	23

4 Standardbezug

Teilaufgabe	Kompetenzbereiche			
	S	E	K	B
1	1		7	
2		7, 9		1
3	13		7	
4		8	8	

5 Bewertungshinweise

Die Bewertung der erbrachten Prüfungsleistungen hat sich für jede Teilaufgabe nach der am rechten Rand der Aufgabenstellung angegebenen Anzahl maximal erreichbarer Bewertungseinheiten (BE) zu richten.

Für die Bewertung der Gesamtleistung eines Prüflings ist ein Bewertungsraster¹ vorgesehen, das angibt, wie die in den drei Prüfungsteilen insgesamt erreichten Bewertungseinheiten in Notenpunkte umgesetzt werden.

¹ Das Bewertungsraster ist Teil des Dokuments „Beschreibung der Struktur“, das auf den Internetseiten des IQB zum Download bereitsteht.