

# Schriftliche Abiturprüfung Biologie

Hinweise und Beispiele zu den zentralen  
schriftlichen Prüfungsaufgaben



Freie und Hansestadt Hamburg  
Behörde für Bildung und Sport

## Impressum

### **Herausgeber:**

Freie und Hansestadt Hamburg  
Behörde für Bildung und Sport  
Amt für Schule  
Hamburger Straße 31, 22083 Hamburg

**Referat:** Mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Unterricht

**Referatsleitung:** Werner Renz, S 13/2

**Fachreferent:** Herbert Hollmann, S 13/22

**Redaktion:** Wolf-Dieter Blass, LIF, Otto-Hahn-Schule  
Heike Brauer, Gymnasium Heidberg  
Thomas Brunner, Walddörfer-Gymnasium  
Wilhelm Flade-Krabbe, LIF, Ida-Ehre-Gesamtschule  
Thomas Hagemann, Max-Brauer-Schule  
Herbert Jelinek, Goethe-Gymnasium  
Werner Maaß, Wirtschaftsgymnasium Am Lämmersmarkt (H 2)  
Irene Wiechmann, Gymnasium Heidberg

Alle Rechte vorbehalten

**Internet:** [www.daten-fakten.bbs.hamburg.de](http://www.daten-fakten.bbs.hamburg.de)

**Hamburg 2003**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>1 Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung</b>	<b>5</b>
<b>2 Anforderungsbereiche</b>	<b>6</b>
<b>3 Liste der Operatoren</b>	<b>7</b>
<b>4 Aufgabenbeispiele</b>	<b>10</b>
4.1 Grundkurs	11
Aufgabe 1: Genetik – Sichelzellanämie	11
Aufgabe 2: Ökologie und Umweltschutz – Ciguatera	15
Aufgabe 3: Evolutionslehre – Eisbären	20
4.2 Leistungskurs	24
Aufgabe 1: Genetik – Essentielle Aminosäuren	24
Aufgabe 2: Ökologie und Umweltschutz – Wüstentiere	28
Aufgabe 3: Evolutionslehre – Neandertaler	33

## Vorwort

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

mit der zum August 2003 in Kraft tretenden *Ausbildungs- und Prüfungsordnung zum Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife* (APOAH) werden zentrale Elemente in der schriftlichen Abiturprüfung eingeführt. Für die Abiturprüfung im Februar 2005 werden demnach im schriftlichen Abitur erstmals zentrale Aufgaben für die Fächer Deutsch, Mathematik, Englisch, Französisch, Spanisch, Latein, Gemeinschaftskunde, Biologie, Wirtschaft (am Wirtschaftsgymnasium) sowie Technik (am Technischen Gymnasium) den Schülerinnen und Schülern gestellt.

Die jeweiligen Abituraufgaben beziehen sich im Fach Biologie auf Schwerpunkte, die den Schulen jeweils am Ende der Vorstufe für das Abitur dieses Jahrganges von der Behörde für Bildung und Sport in einer eigenen Verwaltungsvorschrift zur Kenntnis gegeben werden.

In der Ihnen hier vorgelegten ergänzenden Handreichung, die die entsprechende Verwaltungsvorschrift ausführt, werden Ihnen Beispiele gezeigt, wie die Aufgaben für die schriftlichen Abiturprüfungen im Jahre 2005 sowie in den nachfolgenden Jahren formuliert werden.

Die Aufgabenbeispiele entsprechen in den meisten Fällen der Ihnen bekannten Hamburger *Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung*. Die Arbeitsgruppe, die die Handreichung erstellte, hat bewusst auch Gewohntes gewählt, um den Übergang zu den zentral gestellten Aufgaben in der schriftlichen Abiturprüfung zu unterstützen.

Das Neue liegt darin, dass die Aufgaben mit verbindlich definierten Arbeitsaufträgen („Operatoren“) formuliert werden und dass bei der erwarteten möglichen Schülerleistung die Kriterien und die Anforderungen für eine „gute“ und für eine „ausreichende“ Leistung beschrieben werden. Beides dient dem Ziel, mehr Verbindlichkeit und Vergleichbarkeit zu schaffen.

Hinzu kommt, dass die *Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung* (EPA) für alle Prüfungsfächer überarbeitet werden. Für Biologie liegen sie noch nicht vor. Wenn alle neuen EPA als KMK-Beschlüsse vorliegen, wird die oben genannte Hamburger Richtlinie überarbeitet und den jeweiligen EPA angepasst werden. Erst dann wird es für die Aufgabenarten und die Anforderungen vermutlich Veränderungen geben.

In der Hoffnung, dass die vorliegende Handreichung hilfreich für Sie und dienlich für die Einführung der zentralen Elemente in die schriftliche Abiturprüfung ist, wünsche ich Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern eine erfolgreiche Vorbereitung auf das Abitur.

*Herbert Hollmann*

# 1 Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung

Die Fachlehrerin, der Fachlehrer

- erhält **sechs** Aufgaben, jeweils **zwei** aus den Sachgebieten Genetik (**I.1, I.2**), Ökologie und Umweltschutz (**II.1, II.2**), Evolutionslehre (**III.1, III.2**),
- wählt aus jedem Sachgebiet **eine** Aufgabe, insgesamt also **drei** Aufgaben, aus.

Jede Aufgabe enthält sachgebietsübergreifende Aspekte.

Die Abiturientin, der Abiturient

- erhält **alle drei** Aufgaben und bearbeitet diese,
- vermerkt auf der Reinschrift, welche Aufgabe sie/er bearbeitet hat,
- ist verpflichtet, die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben vor Bearbeitungsbeginn zu überprüfen (Anzahl der Blätter, Anlagen usw.).

**Aufgabenarten:** Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält. Dieses Material kann sein: Naturobjekte, mikroskopische Präparate, Abbildungen, Filme, Texte, z.B. wissenschaftliche Abhandlung (Beschreibung eines wissenschaftlichen Experiments), Tabellen, Messreihen, Graphen.

**Bearbeitungszeit:** Grundkurs: **240** Minuten  
Leistungskurs: **300** Minuten

**Hilfsmittel:** Rechtschreiblexikon

Grundlage der schriftlichen Abiturprüfung sind der Lehr- bzw. Rahmenplan Biologie und die *Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung* in der jeweils letzten Fassung.

Die wechselnden curricularen Vorgaben, Konkretisierungen und Schwerpunktsetzungen werden den Schulen jeweils im zweiten Semester der Vorstufe bekannt gegeben.

Die im schriftlichen Abitur vorgelegten Aufgaben beziehen sich auf drei Sachgebiete. Für die zu diesen Sachgebieten im Heft *Schriftliche Abiturprüfung 2005 – Regelungen für die zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben* genannten Schwerpunkte ist jeweils eine Unterrichtszeit von etwa zwei Dritteln eines Semesters vorgesehen. Unter Berücksichtigung curricularer und jahreszeitlicher Aspekte ergibt sich die nachfolgende verbindliche Abfolge der Sachgebiete: Genetik (1. Semester), Ökologie und Umweltschutz (2. Semester), Evolutionslehre (3. Semester).

Die Angaben zu den Schwerpunkten gelten gleichermaßen für Grundkurse und Leistungskurse. Dabei unterscheidet sich der Leistungskurs im Vergleich zum Grundkurs u.a. in der Differenzierung und Detaillierung einzelner Inhalte (z.B. bei Themen wie Anpassungen, Umweltbelastungen oder Strukturen von Ökosystemen), in Umfang und Komplexität der Beispiele (z.B. bei Themen wie Mutation, Dokumente der Stammesgeschichte, Datierungsmethoden oder Stoffkreisläufe) sowie in der Erarbeitung und Reflexion methodischer Herangehensweisen und praktischer Anwendungen (z.B. bei Themen wie Gewässeruntersuchungen oder Erhebung und Auswertung von Messergebnissen).

## 2 Anforderungsbereiche

Die Anforderungen in der Abiturprüfung unterscheiden sich nach der Art, der Komplexität und dem Grad der Selbstständigkeit der geforderten Leistung; sie verlangen unterschiedliche Arbeitsweisen. Zur Erhöhung der Transparenz und Vergleichbarkeit lassen sich drei Anforderungsbereiche beschreiben, ohne dass in der Praxis der Aufgabenstellung die drei Anforderungsbereiche immer scharf voneinander getrennt werden können. Daher ergeben sich bei der Zuordnung der Teilaufgaben zu Anforderungsbereichen Überschneidungen.

Die zentralen Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung ermöglichen Leistungen in den folgenden drei Anforderungsbereichen mit einem Schwerpunkt im Anforderungsbereich II und einem höheren Anteil im Anforderungsbereich I als im Anforderungsbereich III.

### Anforderungsbereich I

Der Anforderungsbereich I umfasst das Wiedergeben von Sachverhalten und Kenntnissen (z.B. Daten, Fakten, Regeln, Formeln, Aussagen) im gelernten Zusammenhang sowie das Beschreiben und Anwenden geübter Arbeitstechniken und Verfahren in einem wiederholenden Zusammenhang.

Im Fach Biologie kann zum Anforderungsbereich I gehören:

- Beobachten biologischer Objekte und ihre Beschreibung
- Skizzieren von Sachverhalten
- Darstellen einer aus dem Unterricht bekannten Formel
- Beschreiben eines Graphen
- Beschreiben von Experimenten
- Einordnen experimenteller Ergebnisse
- Fachsprachliches Zuordnen von Daten, Tabellen oder Abbildungen
- Beschreiben erlernter Arbeitstechniken und Verfahrensweisen

### Anforderungsbereich II

Der Anforderungsbereich II umfasst das selbstständige Auswählen, Anordnen, Verarbeiten und Darstellen bekannter Sachverhalte unter vorgegebenen Gesichtspunkten in einem durch Übung bekannten Zusammenhang und das selbstständige Übertragen und Anwenden des Gelernten auf vergleichbare neue Zusammenhänge und Sachverhalte.

Im Fach Biologie kann zum Anforderungsbereich II gehören:

- Zuordnen der Aussagen eines Textes zu einem Graphen
- Erklären von Versuchsergebnissen nach bekannten Arbeitsmethoden
- Quantitative Aussagen über Populationen oder Erbgänge analysieren
- Darstellen eines Schemas bzw. einer Versuchsanordnung eines experimentell behandelten Sachzusammenhanges
- Skizzieren eines Experiments, das in dieser Form nicht im Unterricht behandelt wurde
- Untersuchen von Stammbäumen nach gegebenem Text
- Anwenden von kybernetischen Modellen auf ökologische Systeme
- Auswerten von Experimenten
- Darstellen von experimentellen Ergebnissen in Form von Messreihen, Tabellen, Grafiken, Diagrammen und Abbildungen
- Auswerten von Beobachtungen und Messergebnissen unter Einbeziehung fachgerechter Fehlerbetrachtung und Analyse

- Selbstständiges Übertragen des Gelernten auf veränderte Fragestellungen bzw. veränderte Sachzusammenhänge bzw. abgewandelte Verfahrensweisen
- Analysieren verallgemeinernder Aussagen aus Beobachtungsreihen
- Entwickeln von Hypothesen
- Beschreiben und Anwenden von Modellen

### Anforderungsbereich III

Der Anforderungsbereich III umfasst das zielgerichtete Verarbeiten komplexer Sachverhalte mit dem Ziel, zu selbstständigen Lösungen, Gestaltungen oder Deutungen, Folgerungen, Begründungen und Wertungen zu gelangen. Dabei wählen die Schülerinnen und Schüler aus den gelernten Arbeitstechniken und Verfahren die zur Bewältigung der Aufgabe geeigneten selbstständig aus, wenden sie in einer neuen Problemstellung an und beurteilen das eigene Vorgehen kritisch.

Im Fach Biologie kann zum Anforderungsbereich III gehören:

- Selbstständiges Entwickeln experimenteller Fragestellungen
- Prüfen von Arbeitshypothesen aus Ergebnissen mehrerer Experimente
- Bestimmen und Entwickeln einer geeigneten Untersuchungsmethode
- Auswerten vorher nicht bekannter Versuchsergebnisse
- Entwickeln eines Gedankenexperiments aus einer Arbeitshypothese mit neuer Problemstellung
- Entwickeln eines Pfeildiagramms aus vorgegebenen Befunden
- Erörtern der ökologischen Bedeutung von physiologischen Gegebenheiten
- Analysieren komplexer Gegebenheiten mit dem Ziel, zu selbstständigen Gestaltungen bzw. Deutungen, Folgerungen, Begründungen oder Wertungen zu gelangen
- Arbeitsverfahren methodenkritisch erörtern
- Erklären mit Modellen.

## 3 Liste der Operatoren

Mehr noch als bei dezentralen Aufgaben, die immer im Kontext gemeinsamer Erfahrungen der Lehrkräfte und Schüler mit vorherigen Klausuren stehen, müssen zentrale Prüfungsaufgaben für die Abiturientinnen und Abiturienten eindeutig hinsichtlich des Arbeitsauftrages und der erwarteten Leistung formuliert sein. Die in den zentralen schriftlichen Abituraufgaben verwendeten Operatoren (Arbeitsaufträge) werden in der folgenden Tabelle definiert und inhaltlich gefüllt. Entsprechende Formulierungen in den Klausuren der Studienstufe sind ein wichtiger Teil der Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf das Abitur.

Neben Definitionen und Beispielen enthält die Tabelle auch Zuordnungen zu den Anforderungsbereichen I, II und III (vgl. die *Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung*), wobei die konkrete Zuordnung auch vom Kontext der Aufgabenstellung abhängen kann und eine scharfe Trennung der Anforderungsbereiche nicht immer möglich ist.

analysieren – anwenden – angeben – auswerten – begründen – benennen – beobachten – berechnen – beschreiben – bestimmen – beurteilen – bewerten – darstellen – einordnen – entwickeln – erklären – erläutern – erörtern – gegenüberstellen – interpretieren – nennen – prüfen – skizzieren – übertragen – untersuchen – vergleichen – zeichnen – zuordnen

<b>Operatoren</b>	<b>Definitionen</b>	<b>Beispiele</b>
<b>Analysieren, untersuchen</b> II–III	Unter gezielten Fragestellungen Elemente, Strukturmerkmale und Zusammenhänge herausarbeiten und die Ergebnisse darstellen	Analysieren Sie den vorliegenden Stammbaum hinsichtlich des zugrunde liegenden Erbganges.
<b>Angeben, nennen</b> I	Ohne nähere Erläuterungen aufzählen	Geben Sie die an der Verdauung beteiligten Enzyme an.
<b>Anwenden, übertragen</b> II	Einen bekannten Sachverhalt, eine bekannte Methode auf eine neue Problemstellung beziehen	Wenden Sie auf das vorliegende Beispiel die Hardy-Weinberg-Regel an.
<b>Auswerten</b> II–III	Daten oder Einzelergebnisse zu einer abschließenden Gesamtaussage zusammenführen	Werten Sie die bei der Gewässergütebestimmung ermittelten Daten hinsichtlich der Gewässergüte aus.
<b>Begründen</b> II–III	Einen angegebenen Sachverhalt auf Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen	Die Schabe gilt als das erfolgreichste Insekt der Erde. Begründen Sie diese Aussage mit Hilfe der vorliegenden Daten.
<b>Benennen</b> I	Elemente, Sachverhalte, Begriffe oder Daten (er)kennen und angeben	Benennen Sie die Teile 1–5 der in der Abbildung dargestellten Bestandteile einer Wirbeltierextremität.
<b>Beobachten</b> I–II	Wahrnehmen unter fachspezifischen Gesichtspunkten	Beobachten Sie das Verhalten der Asseln in der Feuchteorgel und notieren Sie jede Minute die Anzahl der Tiere im trockenen bzw. feuchten Bereich.
<b>Berechnen</b> I	Ergebnisse von einem Ansatz ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen	Berechnen Sie die Entwicklung der Population an Hand der vorgegebenen Geburts- und Sterberate.
<b>Beschreiben</b> I–II	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge unter Verwendung der Fachsprache in eigenen Worten wiedergeben	Beschreiben Sie den Verlauf der Fluchtreaktion einer Schabe.  Beschreiben Sie die Entwicklung des Phosphatgehaltes im Bodensee (siehe Übersicht zum Phosphatgehalt in unterschiedlichen Jahren).
<b>Bestimmen</b> II–III	Einen möglichen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren	Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Rot-Grün-Blindheit im vorgelegten Stammbaum.
<b>Beurteilen</b> III	Zu einem Sachverhalt ein selbstständiges Urteil unter Verwendung von Fachwissen und Fachmethoden formulieren und begründen	Beurteilen Sie die Aussage: „Die zweite Reduktionsteilung ist eine Mitose“.
<b>Bewerten</b> III	Eine eigene Position nach ausgewiesenen Normen oder Werten vertreten	Bewerten Sie die Anwendung gentechnischer Verfahren in der Landwirtschaft.
<b>Darstellen</b> I–II	Zusammenhänge, Sachverhalte oder Arbeitsverfahren strukturiert und fachsprachlich einwandfrei wiedergeben	Stellen Sie die Gesamtbilanz der Photosynthese formelmäßig dar.  Stellen Sie die Versuchsergebnisse in Form eines Graphen dar.
<b>Einordnen, zuordnen</b> I–II	Mit erläuternden Hinweisen in einen genannten Zusammenhang einfügen	Ordnen Sie die Schädel der Hominiden evolutionsbiologisch ein. Ordnen Sie die Darwinfinken ihren unterschiedlichen ökologischen Nischen zu.



<b>Operatoren</b>	<b>Definitionen</b>	<b>Beispiele</b>
<b>Entwickeln</b> II–III	Eine Skizze, eine Hypothese, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen	Entwickeln Sie aus den genannten Fragen und Vermutungen eine Hypothese zur Besiedlung Neuseelands durch Fledermäuse.
<b>Erklären</b> II–III	Ein Phänomen oder einen Sachverhalt auf Gesetzmäßigkeiten zurückführen	Erklären Sie die Artenarmut in wenig strukturierten Ökosystemen. Erklären Sie den Sauerstoffgehalt eutropher Gewässer unter ökologischen Gesichtspunkten.
<b>Erläutern</b> II	Nachvollziehbar und verständlich veranschaulichen	Erläutern Sie die Ergebnisse des Demonstrationsexperimentes.
<b>Erörtern</b> III	Ein Beurteilungs- oder Bewertungsproblem erkennen und darstellen, unterschiedliche Positionen und Pro- und Kontra-Argumente abwägen und mit einem eigenen Urteil als Ergebnis abschließen.	Erörtern Sie die unterschiedlichen Auffassungen über die verwandtschaftliche Beziehung zwischen dem Neandertaler und dem Jetztmenschen.
<b>Interpretieren</b> II–III	Phänomene, Strukturen, Sachverhalte oder Versuchsergebnisse auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und diese gegeneinander abwägend darstellen	Interpretieren Sie – auch unter Hinzuziehung der Informationen aus Material 2 – die Ergebnisse der Elektrophorese des Hämoglobins von Person B und C! Interpretieren Sie die Ergebnisse der Experimente zur Transpiration unter ökologischen Gesichtspunkten.
<b>Prüfen</b> III	Eine Aussage bzw. einen Sachverhalt nachvollziehen und auf der Grundlage eigener Beobachtungen oder eigenen Wissens beurteilen	Prüfen Sie, inwieweit die genannten Ergebnisse mit Hilfe des Operon-Modells erklärt werden können. Prüfen Sie, inwieweit die In-vitro-Versuche auf die Vorgänge im lebenden Organismus übertragbar sind.
<b>Skizzieren</b> I–II	Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse kurz und übersichtlich darstellen mit Hilfe von z.B. Übersichten, Schemata, Diagrammen, Abbildungen, Tabellen	Skizzieren Sie den Aufbau einer neuromuskulären Synapse.
<b>Vergleichen, gegenüberstellen</b> II–III	Nach vorgegebenen oder selbst gewählten Gesichtspunkten Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln und darstellen	Vergleichen Sie Vorderextremitäten von Wirbeltieren in Bau und Funktion.
<b>Zeichnen</b> I–II	Eine hinreichend exakte bildhafte Darstellung anfertigen	Zeichnen Sie einen Blattquerschnitt.

## 4 Aufgabenbeispiele

Die folgenden Aufgaben sind Beispiele für zentrale schriftliche Abiturprüfungen im Fach Biologie zu den oben genannten curricularen Vorgaben, Konkretisierungen und Schwerpunktsetzungen.

Außer der Aufgabenstellung enthalten die Beispiele den Erwartungshorizont, die verwendete Literatur, die notwendigen Unterrichtsvoraussetzungen sowie Hinweise zu den Operatoren mit Bezug zu den drei Anforderungsbereichen und Bewertungskriterien.

Für die Bewertung der Gesamtleistung der schriftlichen Abiturprüfung gilt die folgende Zuordnungstabelle:

Erreichte Gesamtpunktzahl (in %)	Bewertung (in Punkten)
≥ 95 %	15
≥ 90 %	14
≥ 85 %	13
≥ 80 %	12
≥ 75 %	11
≥ 70 %	10
≥ 65 %	9
≥ 60 %	8
≥ 55 %	7
≥ 50 %	6
≥ 45 %	5
≥ 40 %	4
≥ 33,3 %	3
≥ 26,7 %	2
≥ 20 %	1
< 20 %	0

### Bewertungskriterien für die Noten „gut“ und „ausreichend“

Jede Aufgabe ist in mehrere voneinander unabhängige Teilaufgaben gegliedert, deren Bewertung einem prozentualen Anteil an der Bewertung der Gesamtaufgabe entspricht. In den Beispielaufgaben ist dieser prozentuale Anteil an der Bewertung einer Aufgabe jeweils ausgewiesen.

Die drei im schriftlichen Abitur zu bearbeitenden Aufgaben sind gleichgewichtig und gehen zu je einem Drittel in die Gesamtbewertung ein.

Ein mit „gut“ bewertetes Prüfungsergebnis setzt voraus, dass entsprechende Leistungen im Anforderungsbereich III erbracht wurden. Die Note „gut“ soll nur erteilt werden, wenn außerdem mindestens 75% der erwarteten Gesamtleistung erbracht worden sind.

Die Note „ausreichend“ soll nur erteilt werden, wenn annähernd die Hälfte der erwarteten Gesamtleistung aus allen drei Aufgaben (mindestens 45 %) und diese nicht ausschließlich im Anforderungsbereich I erbracht worden ist. Oberhalb und unterhalb dieser Schwelle sollen die Anteile der erwarteten Gesamtleistung den einzelnen Notenstufen jeweils ungefähr linear zugeordnet werden, um zu sichern, dass mit der Bewertung die gesamte Breite der Skala ausgeschöpft werden kann.

Eine mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Darüber hinaus sind schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit in der Muttersprache oder gegen die äußere Form zu bewerten. Die genannten Fehler führen je nach Umfang zu einem Punktabzug von bis zu drei Punkten bei der Bewertung im schriftlichen Abitur Biologie.

## 4.1 Grundkurs

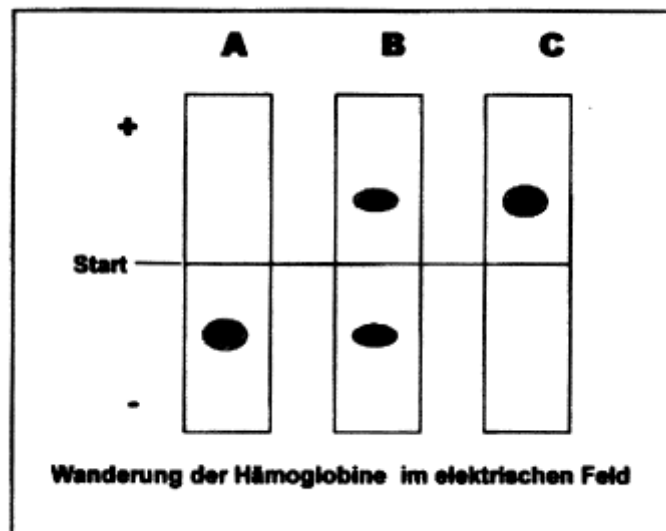
### Aufgabe 1: Genetik – Sichelzellanämie

In dieser Aufgabe müssen die Prinzipien von Proteinbiosynthese und Genregulation, das Wissen um Homo- und Heterozygotie sowie das Prinzip der Transformation auf ein gegebenes Beispiel angewendet werden. Im sachgebietsübergreifenden Teil (Teilaufgabe e) stehen Aspekte der Evolution (Variabilität und Selektion) im Vordergrund.

#### Aufgabenstellung

1956 wurde bekannt, dass die Sichelzellanämie durch eine strukturelle Veränderung im Hämoglobin, dem Farbstoffmolekül der roten Blutkörperchen (Erythrocyten), verursacht wird. Das Hämoglobin besteht aus vier Polypeptidketten (zwei sog.  $\alpha$ - und zwei sog.  $\beta$ -Ketten). In der  $\beta$ -Kette des Sichelzellanämie-Hämoglobins findet sich jeweils in Position 6 die Aminosäure Valin anstatt der normaler Weise dort vorhandenen Aminosäure Glutaminsäure, wodurch sich die elektrische Ladung des Moleküls ändert. Mittels Elektrophorese, die eine Trennung von Proteingemischen im elektrischen Feld ermöglicht, kann das Hämoglobin verschiedener Personen untersucht werden (siehe Material 1).

#### Material 1: Elektropherogramm des Hämoglobins dreier Personen (A, B, C)



#### Material 2: Verbreitung der Sichelzellanämie in Afrika

Sichelzellanämie kommt in einigen tropischen Regionen Afrikas recht häufig vor. Der Malariaerreger *Plasmodium* (ein einzelliger Parasit roter Blutkörperchen) kann diese veränderten Blutkörperchen nicht für seine Vermehrung nutzen. So gibt es ein bestimmtes Gebiet in Zentralafrika, in dem 9% der Neugeborenen homozygote Träger des Sichelzellallels sind. Diese Kinder haben wegen schwerer Anämie (Blutarmut; Verminderung des Gehalts an Erythrocyten im Blut) nur eine geringe Lebenserwartung. In anderen Zonen des afrikanischen Malaria-Gürtels sind bis zu 45% der Bevölkerung heterozygote Anlagenträger. Diese Personen tragen neben den entarteten auch normale Erythrocyten, wirken phänotypisch gesund, sind allerdings u.a. wegen der geringeren Sauerstoff-Transportrate des Blutes bei körperlichen Anstrengungen deutlich weniger leistungsfähig. Außerhalb der tropischen Malaria-Gebiete sind die prozentualen Anteile der Träger des Sichelzellallels signifikant niedriger.

- a) Durch Aminosäure-Sequenzanalysen hat man herausgefunden, dass die  $\beta$ -Globin-Kette aus 146 Aminosäuren aufgebaut ist. Berechnen Sie, wie viele Basenpaare man auf Grund der Länge der Aminosäurekette für das  $\beta$ -Globin-Gen erwartet hätte! (10%)
- b) DNA-Sequenz-Analysen ergaben, dass der codogene Strang des  $\beta$ -Globin-Gens aus über 600 Nucleotiden besteht.  
Erklären Sie, wie aus der oben genannten Anzahl von weit über 600 DNA-Bausteinen schließlich ein Polypeptid mit 146 Aminosäuren entstehen kann! (20%)
- c) Die Probe A des in Material 1 dargestellten Elektropherogramms stammt von einer Person, die phänotypisch an Sichelzellanämie erkrankt ist.  
Interpretieren Sie – auch unter Hinzuziehung der Informationen aus Material 2 – die Ergebnisse der Elektrophorese des Hämoglobins von Person B und C! (20%)
- d) 1991 gelang es, Gene für menschliches Hämoglobin in das Bakterium *Escherichia coli* einzuschleusen. Die gentechnisch veränderten Bakterien produzieren bis zu 10% ihrer Trockenmasse Hämoglobin, das für die Herstellung von Infusionslösungen verwendet werden kann.  
Stellen Sie eine Skizze aller Arbeitsschritte dar, die den grundsätzlichen Ablauf zur gentechnischen Herstellung des Hämoglobins mittels des Bakteriums *E. coli* – bezogen auf das angesprochene Beispiel – verdeutlicht! (30%)
- e) Begründen Sie aus evolutionsbiologischer Sicht (siehe dazu auch Material 2), wie sich in Malariagebieten die unterschiedlichen prozentualen Anteile des Sichelzellallels in der Bevölkerung entwickelt haben! Beachten Sie dabei auch die sozialen Bedingungen in diesen Gebieten! (20%)

Quellenangaben:

Grundidee und Material 1 (leicht verändert):

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Aufgabe IV, Leistungskurs Biologie, Abiturprüfung 2002)

Weitere Informationen und Material 2 (verändert):

Herbig, J.: Menschen auf Lizenz. In „natur“, Ausgabe Oktober 1981

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Aufgabe IV, Leistungskurs Biologie, Abiturprüfung 2002)

Read, A.P.; Strachan, T.: Molekulare Humangenetik. Spektrum Akademischer Verlag, 1996

### Erwartungshorizont

- a) Jeweils drei Basen (entsprechend drei Nucleotide) des codogenen Stranges (entsprechend drei Basenpaare der DNA) codieren eine Aminosäure. Das Polypeptid besteht aus 146 Aminosäuren, also müssten  $146 \times 3 = 438$  Nucleotide das  $\beta$ -Globin-Strukturgen ausmachen.

Aus dem Grundlagenwissen über den Aufbau des genetischen Codes – drei Basen codieren eine Aminosäure – ist das Ergebnis direkt anzugeben.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Der Operator („berechnen“) weist auf den Anforderungsbereich I hin, die Berechnung führt zur Zahl 438.

- b) Ein Gen besteht aus der eigentlichen Information für den Aufbau des Polypeptids sowie aus den für die Genregulation wichtigen Bereichen (wie Start- und Stoppssequenzen, Operator- und Promotorregionen) und den Start- und Stoppssequenzen für die Translation. Diese stellen einen quantitativ bedeutenden Anteil der Nucleotide einer Gensequenz dar (in diesem Falle mind. 200 Nucleotide).

Die Grundlagen zur Beantwortung dieser Frage sind Kenntnisse über den prinzipiellen Ablauf der Proteinbiosynthese und der Genregulation (Aufbau eines Operons). So müssen den Prüflingen die regulatorischen Gene und Bereiche bekannt sein, die außer dem eigentlichen Strukturgen den codogenen Bereich auf der DNA ausmachen.

**Anforderungsbereich II**

**20%**

Der Operator („erklären“) weist auf die Anforderungsbereiche II und III hin. Da es sich um einen bekannten Sachverhalt handelt, ist die Antwort dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Person A zeigt im Elektropherogramm nur eine Art von  $\beta$ -Ketten (mit der Aminosäure Valin) und ist phänotypisch erkrankt, also steht diese Bande für das Sichelzell-Hämoglobin. Entsprechend ist Person B Träger beider Typen von  $\beta$ -Ketten, da sein Elektropherogramm zwei Banden aufweist. Diese Person ist also im Besitz von normalen und Sichelzell-Erythrocyten. Person C trägt nur normale Erythrocyten, da sie nur eine Bande – und zwar die der Glutaminsäure beinhaltenden  $\beta$ -Ketten – aufweist.

Aus Material 2 geht hervor, was auch Grundlagenwissen der klassischen Genetik ist, dass es bzgl. der Sichelzellanämie homozygote Träger des Sichelzellallels, heterozygote Träger beider Allele und homozygote Träger des normalen  $\beta$ -Ketten-Allels gibt. Die Anwendung der „Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese“ auf dieses Beispiel, dass aus den entsprechenden Allelen die dazu gehörigen Polypeptide für die  $\beta$ -Ketten gebildet werden, muss geleistet werden. Auch ohne Kenntnis der Elektrophorese – deren Prinzip im Aufgabentext kurz erläutert ist – müssen die Prüflinge in der Lage sein, diese drei Möglichkeiten den Personen A, B und C zuzuordnen.

**Anforderungsbereich II**

**20%**

Der Operator („interpretieren“) weist auf die Anforderungsbereiche II und III hin. Da die Informationen von Text und Abbildung eindeutig erkennbar sind, handelt es sich hier um den Anforderungsbereich II.

- d) Zunächst muss das entsprechende menschliche Strukturgen gewonnen werden, welches man – da die Sequenz bekannt ist – künstlich herstellen kann. Da Plasmide in Bakterien in der Regel weder überflüssige Information noch Regulationseinheiten besitzen, darf es sich lediglich um die Information für die Aminosäuresequenz mit den entsprechenden Start- und Stoppssequenzen handeln. Das künstliche Gen muss die gleichen „sticky ends“ besitzen wie sie im Plasmid von *E. coli* erzeugt werden. Der Einbau in das Plasmid sollte entweder mit einem weiteren Markergen verknüpft werden oder innerhalb einer vorhandenen Resistenz erfolgen, um den erfolgreichen Einbau im Screening nach der Vermehrung auch nachweisen zu können. Die veränderten Plasmide werden in Bakterien eingeschleust und die Bakterien auf Nährböden aufgezogen. Anhand des Markergens oder der zerstörten Resistenz auf entsprechenden Nährböden werden die erfolgreich mit dem  $\beta$ -Globin-Gen infizierten Kulturen selektiert und in einem Bioreaktor unter geeigneten Wachstumsbedingungen aufgezogen. Als Stoffwechselprodukt stellt unter diesen Bedingungen *E. coli* auch das gewünschte  $\beta$ -Globin her, welches von allen anderen Stoffen und den Bakterien getrennt und gereinigt werden muss.

Das Prinzip der Transformation, des Screenings und der Aufzucht von Bakterien sind aus dem Unterricht bekannt. Die einzelnen Schritte sind darzustellen.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Da der grundsätzliche Aufbau des Bakteriengenoms und von Plasmiden bekannt ist, muss der Prüfling dieses Wissen auf das vorliegende Beispiel beziehen. Dabei ist wichtig, dass die „sticky ends“ von Gen- und Plasmid-Schnittstelle identisch sind und dass ein Screening auf geeigneten Nährböden möglich ist. Da es in erster Linie nicht um das Einschleusen eines Gens, sondern vor allem um die Gewinnung eines Genprodukts geht, müssen die Prüflinge die Trennung und Reinigung des Proteins in ihrer Antwort beachten.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Entscheidend ist der Bezug des Wissens um den Aufbau eines Plasmids ohne regulatorische Sequenzen auf den Vorgang der Gengewinnung, der nicht über Schneiden des Chromosoms mit Restriktionsenzymen und Auffinden der entscheidenden Gene mittels Gensonden erfolgen darf, da sonst diese Informationen mit in eine Aminosäuresequenz umgesetzt würden und nicht das gewünschte Polypeptid erhalten werden könnte.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Der Operator („darstellen“) deutet auf die Anforderungsbereiche I und II hin und bezieht sich besonders auf den Bezug zum geforderten Beispiel. Da die Grundlagen des Arbeitsganges einer gentechnischen Veränderung aus dem Unterricht bekannt sind, steht das „Grundgerüst“ der anzufertigenden Skizze fest, was dem Anforderungsbereich I entspricht.

- e) Immer gab es und gibt es sowohl heterozygot als auch homozygot an Sichelzellanämie Erkrankte. Letztere haben nur eine sehr geringe Überlebenschance, treten aber in Malariagebieten überdurchschnittlich häufig auf, da es viele das betreffende Gen heterozygot tragende Personen gibt. Normalerweise sind auch das Sichelzellen heterozygot tragende Personen wegen ihrer geringeren Fitness im Nachteil, was zu einer durchschnittlich geringeren Vermehrungsrate und dem prozentualen Rückgang des Allels in der Population führt (Auslese). In Malariagebieten wird dieser Nachteil aber durch die geringere Anfälligkeit für Malaria (bzw. die geringere Schwere der Erkrankung) ausgeglichen (Selektionsfaktor), sodass solche Personen eine nicht geringere Fortpflanzungsrate besitzen, also der prozentuale Anteil in der Population relativ hoch bleibt. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass Evolution – und vor allem Selektion – immer ein Kompromiss (geringere Fitness gegenüber teilweiser Resistenz gegen Malaria) ist, da sie am Phänotypen und nicht an einzelnen Eigenschaften ansetzt.

Die Grundlage zur Beantwortung dieser Frage ist die Synthetische Evolutionstheorie. Dies muss der Prüfling auf das vorliegende Beispiel anwenden und erkennen, dass in bestimmten Regionen, d.h. Populationen, die Malariaresistenz ein entscheidender Selektionsfaktor ist.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Der Widerspruch zwischen möglichst großer körperlicher Fitness (in armen Regionen von größerer Bedeutung als in Industriestaaten) und angeborener Malariaresistenz (wegen mangelhafter ärztlicher Betreuung sehr bedeutend) sollte erkannt werden und zu einer Aussage über den „Ansatzpunkt“ der Selektion führen.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („begründen“) weist auf die Anforderungsbereiche II und III hin, die in der Antwort auch verwirklicht werden.

## Aufgabe 2: Ökologie und Umweltschutz – Ciguatera

Im Vordergrund dieser Aufgabe stehen die Biozönose eines Ökosystems und die Anreicherung eines Giftes innerhalb eines Nahrungsnetzes am Beispiel der Fischvergiftung Ciguatera. Den sachgebietsübergreifenden Aspekt mit dem Thema Genetik bilden Mutationen, die möglicherweise durch Atomwaffentests hervorgerufen wurden.

### Aufgabenstellung

Die weltweit häufigste Fischvergiftung Ciguatera wurde erstmals im 18. Jahrhundert in Reiseberichten von Fahrten zu verschiedenen pazifischen Inselgruppen wie den Hawaii-Inseln beschrieben. Ciguatera wird durch den Verzehr von tropischen Speisefischen ausgelöst. Man beobachtet zunächst Kribbeln im Mund. Es folgen nacheinander Schwindelgefühle, Muskel- und Kopfschmerzen, Schüttelfrost, Erbrechen, Durchfälle und Taubheitsgefühle mit lebensbedrohlichen Blutdruckabfällen. Für etwa 7 von 1000 Erkrankten endet die Krankheit tödlich. Jedes Jahr erkranken zwischen 20.000 und 50.000 Menschen. Der Begriff Ciguatera stammt aus dem karibischen Raum und leitet sich von der algenfressenden Schnecke Cigua ab, deren Verzehr ähnliche Symptome, allerdings wesentlich schwächer ausgeprägt, hervorruft.

### Material 1: Informationen über Ciguatera

Anders als z.B. bei Kugelfischvergiftungen handelt es sich bei Ciguatera um eine Vergiftung durch Fische, die selbst nicht giftig sind, sondern erst durch die Aufnahme giftiger Substanzen giftig werden. Besonders ausgeprägte Symptome zeigen sich beim Verzehr von Lebern der Speisefische wie Pferdemaikrele, Barrakuda und Blaugefleckter Zackenbarsch. Die Vergiftungserscheinungen äußern sich bei gleich aufgenommenen Konzentrationen innerhalb der Bevölkerung unterschiedlich stark. Das Gift ist äußerst stabil.



*Gambierdiscus toxicus*  
|----| 0,01 mm

Erst 1976 wurde der eigentliche Giftproduzent identifiziert. Es handelt sich um eine zu den Dinoflagellaten gehörende Alge namens *Gambierdiscus toxicus* (siehe Abbildung). Der Dinoflagellat lebt auf verschiedenen Makroalgen wie Rotalgen, die bevorzugt auf toten Korallenstöcken wachsen. Rotalgen sind Pflanzen, welche nicht nur Lebensraum, sondern auch Stoffe bieten, die das Wachstum des „Aufsitzers“ fördern. *Gambierdiscus toxicus* schadet den Algen dabei nicht.

Ein japanisch-französisches Wissenschaftlerteam hat festgestellt, dass die Ciguatera-Fischvergiftung im nördlichen Teil des Pazifiks besonders auf den Marshall-Inseln verbreitet ist und dort seit den 70er Jahren deutlich zugenommen hat. Hier wurden in den 60er Jahren Atomwaffentests durchgeführt, bei denen große Mengen radioaktiven Materials freigesetzt wurden, die bei verschiedenen Organismen Mutationen ausgelöst haben.

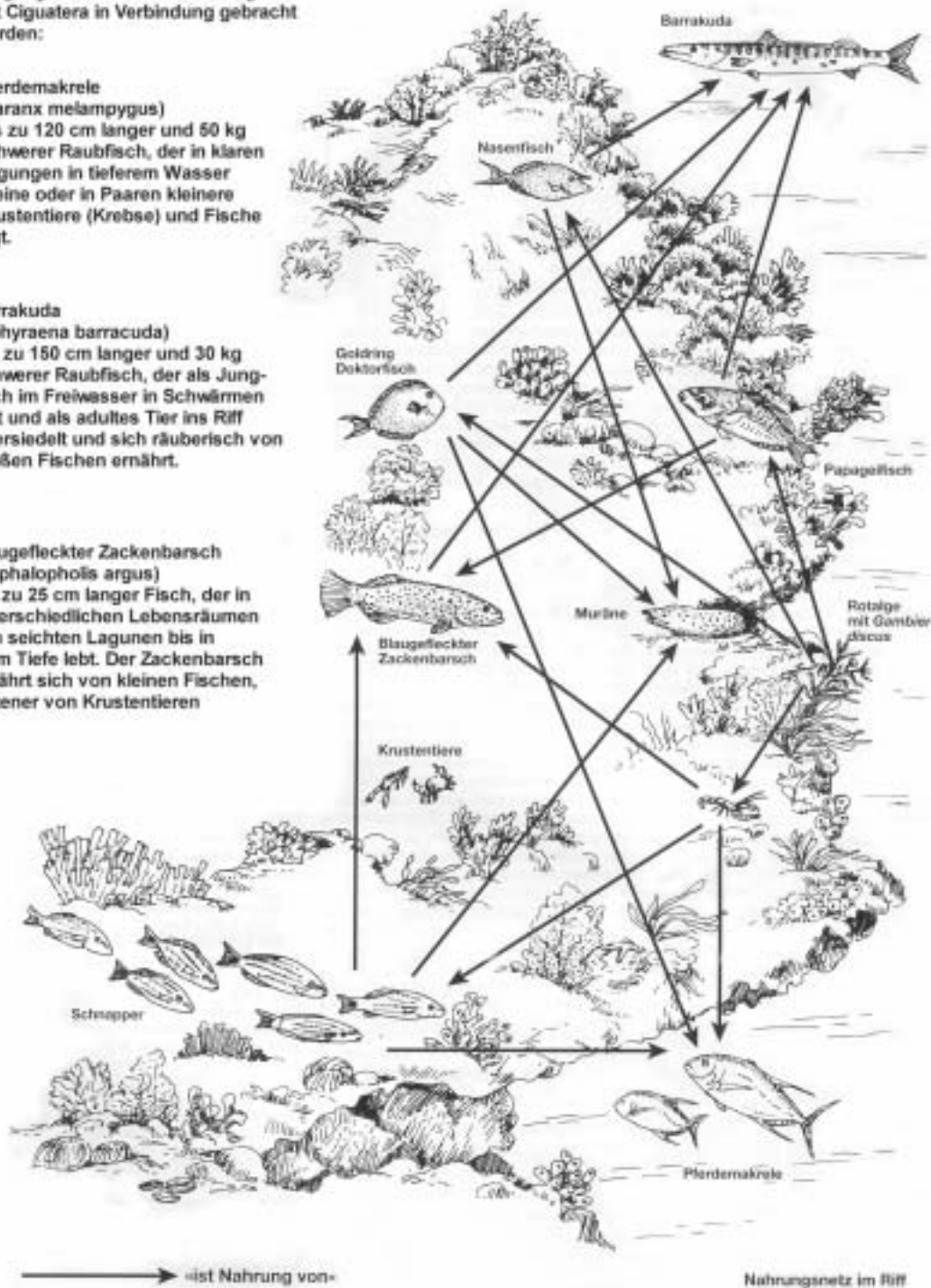
**Material 2: Nahrungsbeziehungen im Ökosystem Korallenriff am Beispiel ausgewählter Organismen**

Speisefische, die in der Vergangenheit besonders häufig mit Ciguatera in Verbindung gebracht wurden:

**Pferdemakrele**  
(*Caranx melampygus*)  
Bis zu 120 cm länger und 50 kg schwerer Raubfisch, der in klaren Lagunen in tieferem Wasser alleine oder in Paaren kleinere Krustentiere (Krebse) und Fische jagt.

**Barrakuda**  
(*Sphyraena barracuda*)  
Bis zu 150 cm länger und 30 kg schwerer Raubfisch, der als Jungfisch im Freiwasser in Schwärmen jagt und als adultes Tier ins Riff übersiedelt und sich räuberisch von großen Fischen ernährt.

**Blaueflecker Zackenbarsch**  
(*Cephalopholis argus*)  
Bis zu 25 cm langer Fisch, der in unterschiedlichen Lebensräumen von seichten Lagunen bis in 40 m Tiefe lebt. Der Zackenbarsch ernährt sich von kleinen Fischen, seltener von Krustentieren





- a) Nennen Sie die Definitionen der Begriffe Biotop und Biozönose! (10%)
- b) Ordnen Sie die in Material 2 dargestellten Organismen tabellarisch den Trophieebenen eines Ökosystems zu! Ergänzen Sie fehlende Komponenten und geben Sie ihrer Tabelle eine „Überschrift“! (30%)
- c) Erläutern Sie anhand des vorliegenden Materials, weshalb die Symptome der Fischvergiftung besonders ausgeprägt beim Verzehr von langlebigen Speisefischen wie Pferdemaikrele, Barrakuda und Blaugefleckter Zackenbarsch auftreten! (25%)
- d) Radioaktive Strahlung kann Mutationen hervorrufen. Nennen Sie die Definition des Begriffs Mutation und nennen Sie verschiedene Mutationsarten! (10%)
- e) Entwickeln Sie eine begründete Hypothese für das gehäufte Auftreten der Fischvergiftung Ciguatera in den Gebieten, in denen Anfang der 60er Jahre Atomwaffentest durchgeführt wurden! (25%)

Quellenangaben:

Linder Biologie: Lehrermaterialien, Schroedel Verlag, 1999

Erdmann, A. und E.: In Unterricht Biologie Nr. 280, Ciguatera – wenn eine Fischmahlzeit gefährlich wird, Friedrich Verlag, 2002

Schilsky, I.: Fischvergiftungen durch Atomtests,

<http://www-romotion.com/user/eulenspiegel/spiegel/alt/95a61611/art3.htm> [17.02.03]

**Erwartungshorizont**

- a) Biotop: Der Biotop ist der Lebensraum. Unter einem Biotop versteht man die Gesamtheit der abiotischen Faktoren, die ein Ökosystem kennzeichnen. Abiotische Faktoren sind alle physikalischen und chemischen Faktoren wie z.B. Licht und Temperatur.

Biozönose: Die Biozönose ist die Lebensgemeinschaft und damit die Gesamtheit der biotischen Faktoren (lebende Komponenten: Pflanzen und Tiere), die in einem Ökosystem leben. Eine Biozönose setzt sich in der Regel aus Produzenten, Konsumenten und Destruenten zusammen.

Andere Definitionen sind möglich, je nach Vorgabe aus dem Unterricht.

In dieser Teilaufgabe sollen die Prüflinge die Definitionen der Begriffe Biotop und Biozönose nennen. Erlerntes Wissen muss wiedergegeben werden.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Der Operator („nennen“) wird dem Anforderungsbereich I zugeordnet.

- b) Die Tabelle kann folgendermaßen aussehen, andere Gestaltungen sind möglich:

<b>Trophieebene</b>	<b>Organismus</b>
Produzenten	Pflanzen wie Rotalgen
Konsumenten I. Ordnung Herbivore	Papageiefisch Goldring Doktorfisch Krustentiere Nasenfisch
Konsumenten 2. Ordnung Carnivore	Schnapper
Konsumenten 3. Ordnung	Blaugefleckter Zackenbarsch Barrakuda Pferdemakrele
Konsumenten 4. Ordnung (auch möglich) Gipfelräuber	Barrakuda Pferdemakrele
Destruenten Zersetzer	Nicht angegeben (Ergänzung einer nicht dargestellten Komponente)

Beispiel einer „Überschrift“: Trophische Beziehungen ausgewählter Organismen eines Korallenriffs.

Die Prüflinge sollen die im Material 2 dargestellten Organismen den Trophieebenen des vorliegenden Ökosystems tabellarisch zuordnen. Zunächst muss sich der Prüfling entscheiden, wie die Tabelle aussehen soll. Spalten und Zeilen mit ihren jeweiligen Bezeichnungen müssen festgelegt und die im Unterricht erlernten trophischen Ebenen müssen angegeben werden. Nun können die im Material 2 dargestellten Organismen der Tabelle und damit den Trophieebenen zugeordnet und eine Überschrift gegeben werden. Die neue Zuordnung vorgegebener Informationen entspricht dem Anforderungsbereich II.

**Anforderungsbereich II**

**30%**

Der Operator („zuordnen“) kann den beiden Anforderungsbereichen I und II entsprechen. Da es sich im vorliegenden Fall zusätzlich um die Erstellung einer Tabelle mit der Vergabe einer Überschrift und um eine komplexe Aufgabe handelt, ist die Teilaufgabe insgesamt dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Das vorliegende Beispiel verdeutlicht die Anreicherung (Akkumulation) von Schadstoffen über die Nahrungskette, bzw. das Nahrungsnetz. Das Ciguatera-Toxin wird von dem Dinoflagellaten *Gambierdiscus toxicus* produziert. *Gambierdiscus toxicus* ist mit Rotalgen vergesellschaftet und wird von Herbivoren wie verschiedenen Krustentieren und Fischen konsumiert, die den Konsumenten I. Ordnung zugeordnet werden. Hierzu gehören beispielsweise Papageiefische, Goldring Doktorfische, Nasenfische und die nicht näher taxierten Krustentiere. Über die Konsumenten 2. Ordnung wie die Schnapper gelangt das Gift schließlich in die Ebene der Gipfelräuber. Das Gift reichert sich über die Trophieebenen an, weil es anscheinend physiologisch schwer abbaubar ist und zunehmend in den Organismen eingelagert wird. Innere Organe wie die Leber reichern anscheinend größere Mengen des Toxins an, weil sie am Abbau und Umbau vieler Stoffe beteiligt sind, aber auch Speicherorgane für viele Stoffe darstellen. Alle Gipfelräuber sind beliebte Nahrungsfische, die langlebig sind und viele Nahrungsfische unterer Trophieebenen konsumieren und damit das Gift akkumulieren.

In dieser Teilaufgabe sollen die Prüflinge die im Unterricht erarbeitete mögliche Anreicherung von Schadstoffen auf das vorliegende Beispiel übertragen und näher erläutern, wozu auch eine genauere Beschreibung der vorliegenden Umstände gehört. Das Übertragen von gelerntem Wissen auf andere Beispiele wird dem Anforderungsbereich II zugeordnet.

**Anforderungsbereich II**

**25%**

Der Operator („erläutern“) weist auf den Anforderungsbereich II hin. Die für die Lösung der Aufgabe notwendigen Informationen sind den vorliegenden Materialien zu entnehmen. Es handelt sich entsprechend um eine übertragende Anforderung im Anforderungsbereich II.

- d) Unter einer Mutation versteht man allgemein die sprunghafte Veränderung des Erbmateri- als. Mutationen: Chromosomenmutationen und Genmutationen.

Die Prüflinge sollen die im Unterricht erarbeitete Definition des Begriffes Mutation nennen. Hierbei handelt es sich um die Reproduktion von erlerntem Wissen, was dem Anforderungsbe- reich I zuzuordnen ist.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Der Operator („nennen“) weist auf den Anforderungsbereich I hin.

- e) Das Entwickeln von Hypothesen beinhaltet immer die Möglichkeit mehrerer Lösungswege. Deren Richtigkeit basiert allerdings immer auf logischen Rückschlüssen und inhaltlich richtigen Bezügen zum vorliegenden Material.

Mögliche Hypothese: Durch die Atomwaffentests wurde radioaktive Strahlung freigesetzt, die zu Veränderungen des Erbgutes (Mutationen) beim Giftproduzenten Gambierdiscus toxicus geführt hat. Die Veränderungen bewirkten eine Massenvermehrung oder eine unkontrollierte Produktion des Giftes in den Dinoflagellaten. Wiederum über die Nahrungskette würde sich das Gift vermehrt anreichern und höhere Konzentrationen in den Nahrungsfischen bedingen. Die höheren Konzentrationen können nun auch Vergiftungserscheinungen bei Menschen auslösen, die bislang kaum auf das Gift reagierten und medizinisch nicht erfasst wurden.

In der vorliegenden Teilaufgabe sollen die Prüflinge eine Hypothese entwickeln, die den Zu- sammenhang zwischen den Atomwaffentests und den häufigeren Fischvergiftungen in diesen Gebieten erklärt. Die Beschreibung, bei welchen Organismen Mutationen ursächlich ausgelöst wurden, kann dem Anforderungsbereich II zugeordnet werden.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Die Entwicklung von selbst entwickelten Zusammenhängen und Folgerungen wie beispielswei- se der statistischen Erfassung von Krankheitsfällen ist dem Anforderungsbereich III zuzuordnen.

**Anforderungsbereich III**

**15%**

Der Operator („entwickeln“) kann dem Anforderungsbereich II oder III zugeordnet werden. Im vorliegenden Beispiel sind in der Aufgabenstellung beide Anforderungsbereiche enthalten.

### Aufgabe 3: Evolutionslehre – Eisbären

In dieser Aufgabe muss eine Hypothese zur Artbildung entwickelt werden. Im sachgebietsübergreifenden Teil (Teilaufgaben a und b) stehen Aspekte der Ökologie (Klimaregeln) im Vordergrund.

#### Aufgabenstellung

Bären – und hier vor allem der Braunbär (*Ursus arctos*) – haben seit alters her die Völker der Nordhalbkugel beeindruckt; solange der Löwe dort noch unbekannt war, galt der Braunbär als „König der Tiere“. Braunbären sind die erdgeschichtlich jüngste Bärengruppe; sie waren noch in geschichtlicher Zeit von Nordafrika über ganz Eurasien bis Nordamerika heimisch.



#### Material 1: Braunbären (*Ursus arctos*)

In Eurasien nimmt der Braunbär von Westen nach Osten immer mehr an Größe zu. Die kleinsten Formen sind die der Alpen, etwas größer sind die Braunbären Skandinaviens und Westruslands. Der größte Braunbär Eurasiens ist der Kamtschatkabär Sibiriens.

Nicht nur die Größe, sondern auch die Fellfärbung der Braunbären variiert regional; von sehr hellen über graue oder rotgelbe bis schwarze Felle reicht das Farbspektrum.

Gewöhnlich fressen Braunbären allerlei Pflanzen, Kerbtiere, Schnecken und Kleinnager, außerdem Aas. Nur ausnahmsweise macht sich ihre Raubtiernatur durch das Töten eines größeren Tieres bemerkbar, besonders dann, wenn weidende Haustiere leicht zugänglich sind und sich ein Einzelgänger an diese bequeme Beute gewöhnt hat.

Den Winter verbringt der Braunbär in einem Lager, wo er bei normaler Körpertemperatur in eine Art Halbschlaf verfällt. Dadurch ist er im Gegensatz zu den eigentlichen Winterschläfern jederzeit imstande, sein Lager zu verlassen, wenn er sich in seiner Sicherheit bedroht fühlt.

#### Material 2: Eisbär (*Ursus maritimus*)

Der Eisbär ist eines der größten Landraubtiere der Erde und hat sich vor ca. 200 000 bis 100 000 Jahren aus dem Europäischen Braunbär (*Ursus arctos*) entwickelt. Er ist eines der bekanntesten und dennoch am wenigsten erforschten Tiere der Arktis. Die durchschnittlichen Lufttemperaturen in diesen Regionen des ewigen Eises liegen bei ca. 0°C im Sommer bzw. -35°C im Winter. Das Fell des Eisbären



ist ölig, sehr dicht und die äußeren Haare sind innen hohl, die gelblich-weiße Farbe wird ausschließlich durch die diffuse Lichtreflektion erzeugt, denn die Haare enthalten keine Farbstoffe. Die Haut ist schwarz, unter ihr befindet sich eine starke Speckschicht. Die Sohlen der Füße sind behaart, die Zehen sind bis zur halben Länge mit einer Schwimnhaut verbunden.

Der Lebensraum des Eisbären sind die treibeisbedeckten Meere und die kleinen hügeligen Inseln der nördlichen Erdhalbkugel, nur vorübergehend trifft man ihn auf dem Lande an. Auf ausgedehnten Wanderungen zieht der Einzelgänger relativ langsam (im Schnitt 5 km/h) mit der Eisdrift in Ost-West-

Richtung um den Nordpol, immer auf der Suche nach robbenreichen Gebieten. Am häufigsten findet man die Eisbären dort, wo es Strecken offenen Wassers gibt, denn dort am südlichen Rande der ausgedehnten Treibeisfelder ist die Robbenjagd leichter. Mit tief herabhängendem Kopf und leisen Schritten sucht der Eisbär die Schneefläche nach schlafenden Robben ab. Entweder robbt er sich auf dem Bauch ganz langsam heran oder er geht sehr vorsichtig ins Wasser, schwimmt auf die Beute zu – den letzten Teil der Strecke untergetaucht – und springt dicht vor ihr aus dem Wasser aufs Eis. Er kann aber auch mit großer Geduld an den Atemlöchern der Robben auf der Lauer liegen. Erlegt er dann eine Robbe, kann er diese umfangreiche Mahlzeit komplett verschlingen und danach für Tage oder Wochen davon zehren. Im Hochsommer werden viele Eisbären zu Allesfressern, die an den Küsten sogar Beeren nicht verschmähen.

Je nördlicher der Lebensraum, je kälter die Witterung und je schwieriger die Ernährung in den Wintermonaten ist, desto mehr Bären bauen sich Schneehöhlen – nicht nur die trächtigen Weibchen.

**Material 3: Vergleiche Braunbär - Eisbär**

	<b>Braunbär</b>	<b>Eisbär</b>
<b>Verbreitungsgebiet</b>	Eurasien (nördlicher bis gemäßigter Bereich)	Treibeis der Arktis
<b>Gesamtlänge</b>	170–300cm	250–300cm
<b>Gewicht</b>	70–300kg	> 400kg
<b>Ohren</b>	größer	klein
<b>Schnauze / Kopf</b>	längere Schnauze im Verhältnis zu einem runderen Schädel	kürzere Schnauze im Verhältnis zu einem längeren Schädel

- a) Nennen Sie die Allensche und die Bergmannsche Regel und erläutern Sie diese Regeln an Merkmalen des Eisbären! (20%)
- b) Nicht die Kälte ist für Eisbären problematisch, sondern die eigene Körperwärme. Stellen Sie die Verhaltensweisen dar, die Eisbären als Schutz vor Überhitzung einsetzen! (20%)
- c) Entwickeln Sie eine Hypothese zur evolutionsbiologischen Entstehung der Eisbären aus den Braunbären! (40%)
- d) In Gefangenschaft hat es Fälle von erfolgreicher Paarung und Geburt fortpflanzungsfähiger gemeinsamer Nachkommen von Eis- und Braunbären gegeben. Nennen Sie die Definition des Begriffes „Art“ und beurteilen Sie, inwieweit man diesen Begriff auf den Braunbären (*Ursus arctos*) und den Eisbären (*Ursus maritimus*) anwenden kann! (20%)

Quellenangaben:

Grzimeks Tierleben, Bd. 12. dtv 1979  
 Didwizus, I.: Der Eisbär – Anpassung an die Kälte. In: Biologie – Unterrichtsmaterialien für Lehrkräfte Sek II. Stark Verlag, Freising.  
 Schunk, A.: Wärmehaushalt der Eisbären. 30.10.1999. <http://www.uni-ulm.de/uni/fak/natwis/sroel/exp/edm1199.html> [2.1.2003]  
 Nielsen, B.: Polar Bear Evolution. 2002. <http://www.polarbearsalive.org/facts18.php> [2.1.2003]  
 Beringia Natural History Notebook Series. 22.12.1995. <http://www.nps.gov/bela/html/polar.htm> [2.1.2003]  
 Kneißl, O.: Zeiträume. 31.8.2001. <http://www.kneissl-olaf.de/ok05c.htm> [5.1.2003]  
<http://www.mein-kleiner-eisbaer.de/eisbaeren/> [11.2.2003]

## Erwartungshorizont

- a) **Bergmannsche Regel:** Nahe verwandte Arten der Homoiothermen sind in kälteren Gebieten schwerer und größer.

Die Eisbären sind so lang wie die größten Braunbären im Nordosten Eurasiens, aber deutlich schwerer. Die nahe verwandten Braunbären in den gemäßigteren Breiten Europas sind deutlich kleiner und leichter. Die Eisbären besitzen somit ein günstigeres Verhältnis zwischen Körpervolumen und Körperoberfläche, die durch Stoffwechselaktivitäten im Körper erzeugte Wärme kann nur über eine im Verhältnis kleinere Körperoberfläche abgestrahlt werden.

**Allensche Regel:** Nahe verwandte Arten der Homoiothermen besitzen in wärmeren Klimaten längere Körperanhänge als in kalten.

Die Ohren der Eisbären sind viel kleiner als die der Braunbären, auch die Schnauze ist kürzer und rückt so dichter an den Kopf und damit den Körper heran. Körperanhänge sind meist weniger stark durchblutet, so dass bei kleinen Anhängen die Gefahr des Abfrierens verringert ist.

Die Klimaregeln sind ein Schwerpunktthema im Semester Ökologie und Umweltschutz.

### Anforderungsbereich I

10%

Der Operator („nennen“) verweist auf den Anforderungsbereich I. Da die erlernten Definitionen nur wiedergegeben werden müssen, sind die Leistungserwartungen dem Anforderungsbereich I zuzuordnen.

Die Merkmale des Eisbären sind im Material 3 tabellarisch aufbereitet worden und müssen vom Prüfling auf die Klimaregeln bezogen werden.

### Anforderungsbereich II

10%

Der Operator („erläutern“) verweist auf den Anforderungsbereich II. Da die Eisbären im Unterricht nicht behandelt wurden, muss der Prüfling unbekannte Beispiele auf die entsprechende Klimaregel übertragen, so dass die erwarteten Leistungen dem Anforderungsbereich II zuzuordnen sind.

- b) Eisbären können sich durch Schwimmen abkühlen. Ihre Fortbewegung ist gemächlich (5 km/h), sie können viele Ruhepausen einlegen, da sie nicht so häufig auf Jagd gehen müssen, weil sie Tage und Wochen von ihrer verschlungenen Beute zehren. Auch ihre Jagdtechnik ist darauf abgestimmt, möglichst wenig zusätzliche Wärme zu produzieren: Auflauern der Robben an den Atemlöchern, keine Hetzjagd, sondern ruhiges Anschleichen.

Ungewöhnlich wird für die Prüflinge die vorgegebene Sichtweise sein, dass Eisbären sich vor Überhitzung schützen müssen. Die erwarteten Strategien werden allerdings im Arbeitsmaterial vorgegeben. Bei dieser Teilaufgabe kommt es also hauptsächlich auf eine möglichst umfassende Zusammenstellung der Informationen an, die Prüflinge sollten sich nicht auf eine Strategie beschränken.

### Anforderungsbereich II

20%

Der Operator („darstellen“) verweist auf die Anforderungsbereiche I und II. Da es auf eine umfassende Zusammenstellung der Aspekte im Material 2 ankommt, sind die erwarteten Leistungen dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Die Evolution der Eisbären aus den Braunbären hat während der vorletzten Eiszeit (Saale-Eiszeit, vor 125.000–250.000 Jahren) stattgefunden und war mit Beginn der letzten Eiszeit vor 75.000 Jahren (Weichsel-Eiszeit) abgeschlossen.

Die Braunbären waren in Eurasien weit verbreitet, so dass man annehmen kann, dass der Lebensraum der Tiere durch das Vordringen des Eises in südliche Richtung enger und damit die Bestandsdichte größer wurde. Somit erhöhte sich der innerartliche Konkurrenzdruck, dem ein-

zelne Tiere auf das Eis auswichen. Um in dieser neuen Umgebung überleben zu können, verfügten die eiszeitlichen Braunbären bereits über einige präadaptive Eigenschaften: Sie waren Einzelgänger, Allesfresser und ihr Körper war bereits an niedrigere Temperaturen angepasst (Körpergröße, dichtes Fell). Als Allesfresser sollte es den eiszeitlichen Bären relativ leicht möglich gewesen sein, ihren Nahrungsbedarf immer häufiger durch Meeressäuger zu decken, da diese am Rand des Eises das Wasser verlassen (besonders die noch unerfahrenen Jungtiere). Bären, die zufällig ein helleres Fell hatten und sich betont langsam bewegten, werden einen größeren Jagderfolg gehabt haben, so dass diese sich auch erfolgreicher vermehren konnten. Das helle Fell stellt also eine Anpassung an die Jagd des Bären da und ist keine Tarnung vor Feinden, die Eisbären nicht befürchten mussten.

Mit zunehmend erfolgreicherer Nahrungsumstellung konnten sich die Bären immer weiter in die Eislandschaft hinein bewegen. Nach einer geografischen Separation kam es somit zu Isolationen (z.B. ökologischer bzgl. der Nahrung) der neuen Populationen von den ursprünglichen Braunbären des Festlandes. Aufgrund der neuen vor allem abiotischen Bedingungen in der Packeisregion wurden die Eisbären in ihrer Fortpflanzungstätigkeit begünstigt, die zufällig über günstigere Eigenschaften (Fellfarbe, Fellbeschaffenheit usw.) verfügten. Die transformierende Selektion wird zunächst zu Veränderungen in den wesentlichen Merkmalen dieser neuen Population geführt, die stabilisierende Selektion dann die günstigsten Merkmale in der Population gesichert haben. Besonders aufgrund der geografischen Separation wird es immer seltener zum Genaustausch zwischen den Eisbären und den Braunbären gekommen sein.

Die allopatrische Artbildung ist ein zentraler Bestandteil eines Evolutionssemesters und muss auf mindestens eine Entwicklungslinie (Equidae) angewendet worden sein. Somit verfügen die Prüflinge über die notwendige Übung, um die Grundprinzipien einer allopatrischen Artbildung auf die Eisbären übertragen zu können. Es wird erwartet, dass in den Ausführungen die Grundprinzipien nicht nur aufgezählt, sondern immer wieder auf die konkrete Situation der Bären bezogen werden.

**Anforderungsbereich II**

**30%**

Die Farbanpassung der Eisbären muss als Tarnung des Jägers und nicht als die eines Beutetieres erkannt werden; eine Erkenntnis, die im Unterricht selten besprochen wird.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („entwickeln“) verweist auf die Anforderungsbereiche II und III.

- d) Die Individuen einer Art stimmen in den wesentlichen Merkmalen überein und können sich untereinander fertil fortpflanzen.

Diese Artdefinition muss nach dem Schwerpunktthema in oben genannter Weise im Unterricht behandelt worden sein.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Der Operator („nennen“) verweist auf den Anforderungsbereich I.

Braun- und Eisbären unterscheiden sich in zahlreichen Merkmalen, doch in Gefangenschaft gab es gelegentlich fortpflanzungsfähige Bastarde. Offensichtlich hat die Zeit der geografischen Separation von Braun- und Eisbär nicht ausgereicht eine Fortpflanzungsbarriere aufzubauen, so dass der Artbildungsprozess noch nicht abgeschlossen ist. Es handelt sich daher um Unterarten, die taxonomische Namensgebung ist folglich unzutreffend.

Eine Anwendung des Artbegriffs auf den gegebenen Sachverhalt ist nahe liegend, die Qualität der Antwort ergibt sich aus der Differenziertheit der Gedankenführung.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („beurteilen“) verweist auf den Anforderungsbereich III.

## 4.2 Leistungskurs

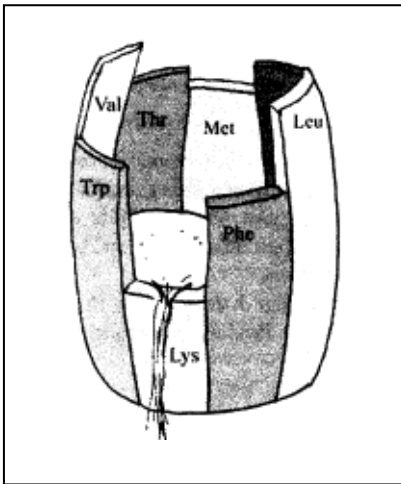
### Aufgabe 1: Genetik – Essentielle Aminosäuren

In dieser Aufgabe stehen der Ablauf der Proteinbiosynthese und die Folgen von Mutationen im Vordergrund. Zudem sollen Prinzipien der Genregulation auf das vorliegende Beispiel der Enzymregulation angewendet werden. Im sachgebietsübergreifenden Teil (Teilaufgaben b und c) stehen Aspekte der Ökologie (Liebig'sches Minimumgesetz) im Vordergrund.

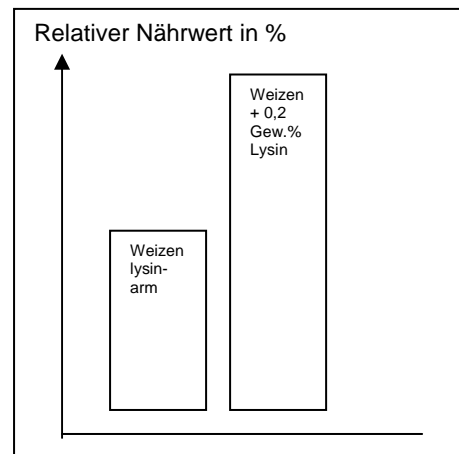
#### Aufgabenstellung

Im Gegensatz zu Bakterien muss der Mensch eine Reihe der 20 Aminosäuren, die er zur Produktion seiner Proteine benötigt, mit der Nahrung aufnehmen, da er sie selbst nicht synthetisieren kann. Zu diesen so genannten „essentiellen Aminosäuren“ gehören Tryptophan (Trp), Phenylalanin (Phe), Valin (Val), Leucin (Leu) und Lysin (Lys).

#### Material 1: Liebig'sches Minimumgesetz am Beispiel der Aminosäureversorgung des Menschen



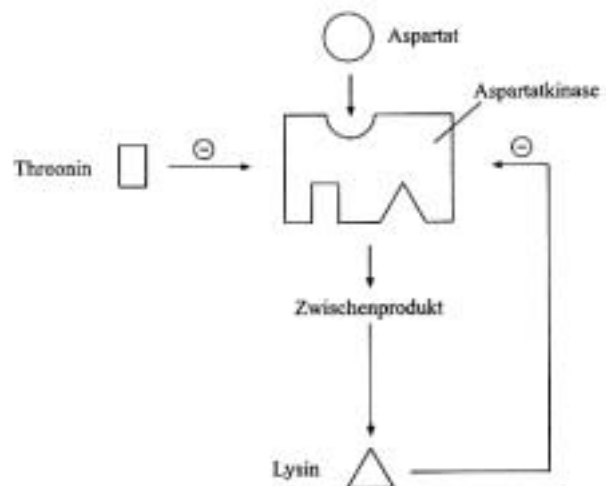
#### Material 2: Protein-Nährwert von 1kg Weizen ohne und mit Zusatz von 2g Lysin



#### Material 3: Gentechnische Herstellung von Lysin

Besonders in der Tierhaltung ist man auf den Zusatz von Lysin angewiesen. Da die chemische Synthese reiner Aminosäuren in der Regel sehr aufwändig ist, nutzt man Mikroorganismen als Lysin-Produzenten. Zu diesen gehört das *Corynebacterium glutamicum*, welches mit Hilfe seines Enzyms Aspartatkinase die Aminosäure Lysin herzustellen vermag (siehe Material 3).

Durch gentechnische Veränderung des Enzyms Aspartatkinase in *C. glutamicum* konnte man die Menge an produziertem Lysin enorm steigern, sodass die Bakterien in geeigneter Nährlösung bis zu 150g der Aminosäure pro Liter Bakteriensuspension produzieren.



#### Material 4: Wirkungsweise des Enzyms Aspartatkinase



- a) Beschreiben Sie den allgemeinen Ablauf der Proteinbiosynthese! (20%)
- b) Erklären Sie an Hand der Materialien 1 und 2 das Liebigsche Minimumgesetz und wenden Sie es auf das vorliegende Beispiel an! (15%)
- c) Begründen Sie – ausgehend von der Darstellung in Material 4 – ausführlich, warum die Lysinsynthese in nicht veränderten Bakterien keine hohen Erträge erbringen konnte! (20%)
- d) Bei der Veränderung der genetischen Information auf der DNA reicht oftmals eine Punktmutation aus, um das resultierende Enzym entscheidend zu verändern. Andererseits gibt es Beispiele, die zeigen, dass auch der Austausch von drei Aminosäuren in einer Polypeptidkette die enzymatische Wirkung nicht beeinträchtigt.
- Nennen Sie die Definition des Begriffes „Punktmutation“ und stellen Sie jeweils an einem Beispiel dar, dass
- eine Punktmutation das Strukturgen so verändert, dass das daraus resultierende Protein seine spezifische Wirkung nicht mehr entfalten kann
  - eine Punktmutation das Strukturgen zwar verändert, aber dies keine Bedeutung für die Wirkungsweise des Proteins hat! (20%)
- e) Entwickeln Sie vor dem Hintergrund Ihrer Kenntnisse eine Skizze zu einem veränderten Enzym Aspartatkinase, welches eine gesteigerte Lysinproduktion ermöglicht und begründen Sie Ihre Darstellung! (25%)

Quellenangaben:

Jannan, M.: Lysinproduzierende Bakterien. In: Unterrichts-Materialien Biologie, Stark-Verlag  
Kalinowski, J.; Pühler, A.: Molekulargenetik am Beispiel Aminosäure produzierender Corynebakterien. In: Biologie in unserer Zeit, Heft 25, 4/95

**Erwartungshorizont**

- a) Die DNA wird transkribiert (nur der codogene Strang) und in die Transportform der mRNA übersetzt, die den Zellkern verlässt. Bei Anwesenheit der mRNA verbinden sich die beiden Ribosom-Untereinheiten und mit jeweils einer spezifischen Aminosäure „beladene“ tRNAs lagern sich an. Enzymatisch werden einerseits die Aminosäuren von den tRNAs getrennt und andererseits die Aminosäuren untereinander zu einer Polypeptidkette verbunden.

Gelerntes Wissen über den allgemeinen Ablauf der Proteinbiosynthese soll in dieser Teilaufgabe wiedergegeben werden.

**Anforderungsbereich I** **10%**

Da es sich beim Gesamtablauf der Proteinbiosynthese um einen sehr komplexen Vorgang handelt, der hier in eigener Darstellung fachsprachlich korrekt beschrieben werden muss, geht diese Leistung über den Anforderungsbereich I hinaus.

**Anforderungsbereich II** **10%**

Der Operator („beschreiben“) findet für die Anforderungsbereiche I und II Verwendung und wird in dieser Teilaufgabe auch in diesem Sinne verwendet.

- b) Der im Minimum vorliegende Faktor – hier Lysin – limitiert den Stoffwechsel (Wachstum, Entwicklung etc.), auch wenn andere Faktoren dafür im Überschuss vorliegen (Material 1). Die besondere Bedeutung von Lysin zeigt Material 2, da schon sehr geringe Mengen dieser Aminosäure genügen, um den relativen Nährwert pflanzlicher Nahrung zu erhöhen.

Das Liebig'sche Minimumgesetz – es gehört zum erlernten Grundwissen der Ökologie und wird in Material 1 noch einmal verdeutlicht – muss wiedergegeben und auf die Aminosäure Lysin– (das wird durch das Material vorgegeben) übertragen werden.

Die besondere Bedeutung von Lysin und seine Wirksamkeit schon in geringsten Mengen zeigt Material 2, dessen Interpretation zu leisten ist.

**Anforderungsbereich II**

**15%**

Der Operator („erklären“) weist auf die Anforderungsbereiche II und III hin. Da es sich bei dem vorliegenden Sachverhalt um die Übertragung gelerntes Wissens auf ein gegebenes Beispiel handelt, welches in einfachen Abbildungen explizit dargestellt wird, ist die geforderte Antwort dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Die Aspartatkinase ist ein allosterisches Enzym, d.h. es besitzt außer dem aktiven Zentrum für das Substrat (Aspartat) noch zwei weitere Bindungsstellen, die seine Aktivität beeinflussen. Das Produkt selbst (Lysin) und eine weitere Aminosäure (Threonin) mindern die Enzymaktivität. So wird die Bildung von Lysin auf einen zu vermutenden geringen quantitativen Wert reguliert. Sobald das Bakterium Lysin herstellt, wirkt diese Aminosäure als Inhibitor der Aspartatkinase, sodass kein weiteres Lysin hergestellt werden kann. Somit bleibt die Lysin-Konzentration auf geringem Niveau.

Den Prüflingen sind ähnliche Regulationsmechanismen vom Operon-Modell der Genregulation her bekannt. Dieses Wissen ist hier auf das Beispiel aus Material 3 zu übertragen.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Da Enzymkinetik und allosterische Enzyme den Prüflingen nicht unbedingt bekannt sein müssen, ist eine exakte Interpretation des Materials erforderlich. Die denkbare Übertragung aus dem Bereich der Genregulation wäre kein Bestandteil des richtigen Lösungsweges.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („begründen“) bezieht sich auf die Anforderungsbereiche II und III, die auch in dieser Teilaufgabe gefordert werden.

- d) Unter Punktmutation versteht man die Tatsache, dass nur eine einzelne Base der DNA verändert wird oder wegfällt.

Betrifft die Mutation eine Base eines Triplets, das eine Aminosäure des aktiven Zentrums des Enzyms codiert und es wird so eine andere Aminosäure eingebaut, die das Substrat nicht zu binden vermag, ist die Enzymwirkung ganz oder zumindest teilweise gestört. Gleiches gilt für den Wegfall einer Base, was zu einer – ab diesem Punkt – gänzlich anderen Aminosäuresequenz des Polypeptids führen könnte.

Andererseits ist der genetische Code „degeneriert“, d.h. verschiedene Sequenzen auf der DNA codieren die gleiche Aminosäure, sodass sich eine Punktmutation gar nicht auf die Aminosäure-Abfolge auszuwirken braucht. Auch ein Austausch einer Aminosäure durch eine andere in der Kette des Enzyms, die keine räumliche Änderung in seiner Struktur bedingt, würde die Enzymwirkung nicht beeinflussen.

Die Nennung der Definition des Begriffes Punktmutation ist gelerntes Wissen, welches wiedergeben ist.

Die bekannte Tatsache, dass der genetische Code „degeneriert“ ist, bzw. dass Veränderungen einer Aminosäure verschiedenen gravierende Folgen haben können, ist auf das gegebene Beispiel einer Enzymwirkung zu übertragen. Ähnliche Beispiele sollten auch im Unterricht angesprochen worden sein.

**Anforderungsbereich I**

**20%**

In dieser Teilaufgabe wird zum Einen die Wiedergabe einer Definition gefordert (Operator „nennen“), was dem Anforderungsbereich I entspricht, und zum Anderen die Darstellung mit Hilfe von Beispielen gefordert (Operator „darstellen“), die in ähnlicher Form im Unterricht besprochen wurden und so ebenfalls dem Anforderungsbereich I zuzuordnen sind.

- e) Aus dem Aufgabenmaterial und der Antwort zu Teilaufgabe c) folgt, dass die hemmende Wirkung von Produkt (Lysin) und/oder des Threonin ausgeschaltet werden muss, um eine permanente Lysinproduktion (bei Anwesenheit des Substrats Aspartat) zu ermöglichen. Entsprechend ist ein Enzymmolekül zu entwerfen, das mindestens eines der beiden (allosterischen) Zentren für Lysin und Threonin nicht besitzt. Dazu müssen die Aminosäuren eines oder der beiden allosterischen Zentren gegen solche ausgetauscht werden, die die räumliche Struktur so verändern, dass Lysin und Threonin nicht mehr gebunden werden können. Überlegungen der Prüflinge, ob nur eines oder beide der allosterischen Zentren verändert werden müssen, sind Bestandteil der vollständigen Lösung.

Das Material 3 zeigt u.a. die hemmende Wirkung von Lysin und Threonin, die auch in Teilaufgabe c) schon darzustellen ist. Diese behindert eine permanente Lysinproduktion, die angestrebt wird. Beide Sachverhalte sind direkt dem Aufgabentext zu entnehmen und hier anzuwenden.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Die Prüflinge müssen nun durch eigene Überlegungen die Skizze zu einem Enzym entwickeln, welches diese Nachteile nicht aufweist. Nahe liegend wäre die in der Antwort angegebene Möglichkeit, denkbar sind aber auch andere Angaben, die begründet werden und eine Chance auf Realisierbarkeit aufweisen müssen.

**Anforderungsbereich III**

**15%**

Der Operator („entwickeln“) weist auf die Anforderungsbereiche II und III hin, die in dieser Teilaufgabe auch enthalten sind.

## Aufgabe 2: Ökologie und Umweltschutz – Wüstentiere

In dieser Aufgabe stehen konvergente Merkmale von wüstenbewohnenden Säugetieren sowie deren Anpassungsstrategien an ihren Lebensraum im Vordergrund. Der sachgebietsübergreifende Aspekt mit dem Thema Evolution ergibt sich aus den verwandtschaftlichen Beziehungen der Kleinsäuger untereinander und deren Untersuchung.


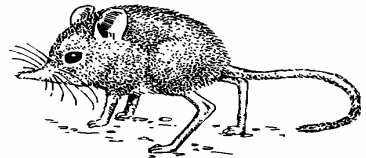

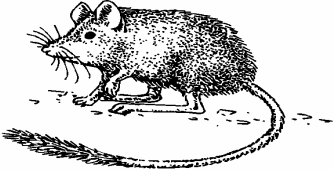
### Aufgabenstellung

Wüsten umfassen etwa 1/3 der Landoberfläche der Erde. In den Subtropen bilden Hitzewüsten einen nahezu geschlossenen Gürtel über die Kontinente der Erde. Die Lebensbedingungen sind gekennzeichnet durch Hitze, große Temperaturschwankungen, Wassermangel, Verdunstung, Versalzung und Nahrungsmangel. Unter dem enormen Selektionsdruck dieses extremen Lebensraumes haben sich sowohl in den Wüsten der Alten wie der Neuen Welt in einem langen Evolutionsprozess Lebensformen unterschiedlichster Tier- und Pflanzengruppen entwickelt und sich dabei in ähnlich effektiver Weise den extremen Lebensbedingungen der Wüste angepasst. Die Wüstentiere stammen aus sehr unterschiedlichen Tiergruppen.

#### Material 1: Informationen zu den Kleinsäugetern:

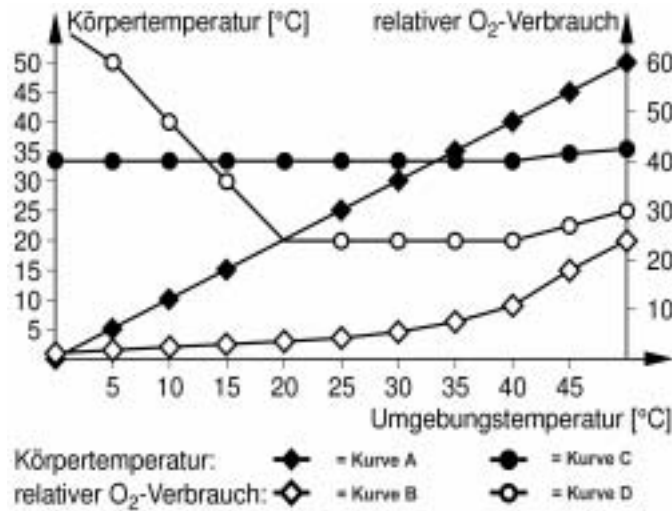
Die Größe der dargestellten Kleinsäuger ist mit der Größe einheimischer Mäuse und Ratten vergleichbar. Alle Tiere gehören zur Klasse der Säugetiere. Die Beutelspringmaus ist ein Beuteltier (Unterklasse *Metatheria*: Beuteltiere). Alle anderen Kleinsäuger werden der Unterklasse der Echten oder Höheren Säuger, den *Eutheria*, zugeordnet. Die Elefantenspitzmaus gehört innerhalb der *Eutheria* zur Ordnung der Rüsselspringer. Wüstenspringmaus und Kängururatte gehören zur Ordnung der Nagetiere.

#### Material 2: Abbildungen verschiedener Kleinsäuger unterschiedlicher Wüstengebiete

Vorkommen	Art
<b>Alte Welt</b>	
Sahara	Wüstenspringmaus
	
Asien	Elefanten-Spitzmaus
	
<b>Neue Welt</b>	
Nordamerika	Kängururatte
	
Zentralaustralien	Beutelspringmaus
	

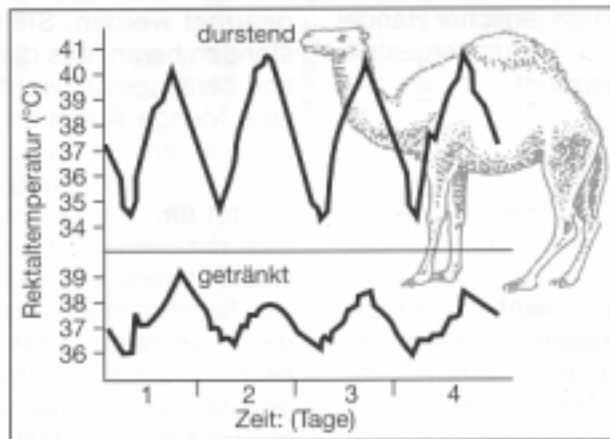
**Material 3:**

**Körpertemperatur und relativer O<sub>2</sub>-Verbrauch bei Wechselwarmen und Gleichwarmen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur**



**Material 4:**

**Körpertemperatur eines Dromedars unter Wasserentzug sowie bei einer regelmäßigen Wasserration im Tagesverlauf**



- Nennen Sie die Definition des Begriffes Konvergenz und beschreiben Sie auffällig ähnliche Merkmale der Kleinsäuger (Material 2), die die Konvergenz verdeutlichen! (15%)
- Erklären Sie die Funktion der von Ihnen in Teilaufgabe a) beschriebenen Merkmale! (15%)
- Beschreiben Sie, wie Sie mit Hilfe eines biochemischen Verfahrens die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen der Beutelspringmaus und den anderen Kleinsäufern untersuchen könnten! (20%)
- Homoiotherme und poikilotherme Tiere bewohnen Wüstengebiete. Ordnen Sie die Kurven des Materials 3 den beiden Begriffen zu und begründen Sie Ihre Entscheidung! (20%)
- Beschreiben und erklären Sie die Unterschiede der Körpertemperaturen beim durstenden und beim getränkten Dromedar im Tagesverlauf (Material 4)! (20%)
- Erörtern Sie, inwieweit der Begriff „homoiotherm“ in Bezug auf Ihre Erklärungen in Teilaufgabe d) beim Dromedar zutreffend ist! (10%)

Quellenangaben:

Linder Biologie: Lehrermaterialien, Schroedel Verlag, 1999

Unterricht Biologie: Heft 266, Erhard Friedrich Verlag, 2001

Bertsch, A.: In Trockenheit und Kälte: Anpassung an extreme Lebensbedingungen, Maier Ravensburg, 1977

**Erwartungshorizont**

- a) Definition des Begriffes Konvergenz: Organismen verschiedener Abstammung zeigen im ähnlichen Milieu (Umwelt = abiotische Faktoren des Biotops) gleichartige Anpassungserscheinungen (morphologisch, anatomisch, physiologisch).

Beschreibung von Merkmalen:

Auffällige Merkmale sind die geringe Größe, die langen Hinterbeine, die kurzen Vorderbeine, der lange Schwanz und die großen Ohren (mit Einschränkungen) aller abgebildeten Tiere.

In dieser Teilaufgabe sollen die Prüflinge zunächst den Begriff Konvergenz nennen und Merkmale beschreiben. Es handelt sich um die Wiedergabe erlernten Wissens und um die Beschreibung einfacher Strukturen. Beide Aufgaben sind dem Anforderungsbereich I zuzuordnen.

**Anforderungsbereich I** **15%**

Der Operator („nennen“) weist auf den Anforderungsbereich I hin. Der Operator („beschreiben“) kann dem Anforderungsbereich I oder II zugeordnet werden, wobei es sich im vorliegenden Fall nur um eine einfache Beschreibung offensichtlicher Merkmale handelt.

- b) Die meisten Wüstentiere sind klein. Die Oberfläche ist groß im Verhältnis zur Körpermasse, was der BERGMANNschen Regel entspricht. Ein kleiner Körper gibt über seine Oberfläche mehr Wärme ab als ein großer. Lange Hinterbeine und kurze Vorderbeine weisen auf eine springende Fortbewegungsweise hin. Der Kontakt zum heißen Boden ist von kurzer Dauer und der Abstand des Körpers vom heißen Boden erhöht, damit möglichst wenig Wärme aufgenommen wird. Die exponierten Körperteile wie Schwänze und Ohren sind groß oder lang, was der ALLENSchen Regel entspricht. Wärme kann über große Oberflächen besser abgegeben werden. Der lange Schwanz dient zusätzlich der Unterstützung der springenden Fortbewegungsweise.

Für das Erklären der Funktion der Körpermerkmale müssen im Unterricht erarbeitete Zusammenhänge, Gesetzmäßigkeiten wie ökologische Klimaregeln oder eigene Erfahrungen auf ein unbekanntes Beispiel übertragen werden.

**Anforderungsbereich II** **15%**

Der Operator („erklären“) weist entweder auf den Anforderungsbereich II oder III hin. Die geforderte Erklärung bedarf keiner komplexen Analyse komplizierter Zusammenhänge und ist damit dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Beschreibung eines im Unterricht erarbeiteten Verfahrens.

Beispiel: Präzipitintest

Der Präzipitin-Test basiert auf der Antigen-Antikörper-Reaktion. In Abhängigkeit vom Verwandtschaftsgrad mit dem zu testenden Organismus fällt die Reaktion unterschiedlich stark aus, allerdings eignet sich der Präzipitin-Test ausschließlich bis auf Gattungsebene.

Der Beutelspringmaus wird Blut entnommen, welches auf ein anderes Tier, meist Kaninchen, übertragen wird. Im Blut des Kaninchens entwickeln sich nun Antikörper gegen Antigene der Beutelspringmaus. Wird das Kaninchenserum mit den nun enthaltenen Antikörpern und dem Serum des ursprünglich zu testenden Organismus in vitro zusammen gebracht, erfolgt zwischen den Antikörpern, die das Kaninchen entwickelt hat und den Antigenen des Serums der Beutel-

springmaus eine Ausfällungsreaktion, deren Stärke gleich 100 % gesetzt wird. Die Stärke der Ausfällung kann nun zwischen dem Kaninchenserum (mit den in ihm enthaltenen Antikörpern gegen Blutbestandteile der Beutelspringmaus) und dem Serum der anderen Kleinsäuger getestet werden. Je geringer der Verwandtschaftsgrad ist, desto geringer ist die Ausfällungsreaktion.

In der vorliegenden Teilaufgabe soll ein im Sachgebiet Evolution erarbeiteter Test an einem vorgegebenen Beispiel beschrieben werden. Wissen muss reproduziert und übertragen werden, was dem Anforderungsbereich II zuzuordnen ist.

**Anforderungsbereich II**

**20%**

Der Operator („beschreiben“) kann dem Anforderungsbereich I oder II zugeordnet werden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um eine komplexe Beschreibung, was auf den Anforderungsbereich II hinweist.

- d) Zuordnung der Kurven: Kurven A und B: Wechselwarme  
Kurven C und D: Gleichwarme

Homoiotherme Tiere sind gleichwarme Tiere, deren Körpertemperatur im Allgemeinen konstant gegenüber der Umgebungstemperatur gehalten wird. Poikilotherme Tiere sind wechselwarme Tiere, deren Körpertemperatur abhängig von der Umgebungstemperatur ist und von den Tieren nicht selbständig reguliert werden kann.

Bei den Wechselwarmen entspricht die Körpertemperatur der Umgebungstemperatur, was die Kurve A deutlich zeigt. Die Körpertemperatur steigt linear mit der Umgebungstemperatur an. Der Sauerstoffverbrauch nimmt bei Wechselwarmen mit steigender Umgebungstemperatur ab 0°C zunächst nur wenig, ab 25–30°C deutlich zu. Dies kann mit der RGT-Regel erklärt werden kann, die besagt, dass bei einer Erhöhung der Temperatur um 10°C die Stoffwechselaktivität um das 2–4fache ansteigt. Bei zunehmender Stoffwechselaktivität wird auch mehr Sauerstoff verbraucht (Kurve B). Der vergleichsweise hohe Sauerstoffverbrauch bei höheren Temperaturen (exponentieller Anstieg) lässt sich mit der zunehmenden Aktivität im Präferendum erklären.

Gleichwarme können ihre Körpertemperatur in einer breiten Spanne der Umgebungstemperatur konstant halten (Kurve C). Der Sauerstoffverbrauch nimmt bis 20°C Umgebungstemperatur ab, da immer weniger Energie zum Erreichen der konstanten Körpertemperatur notwendig ist (Kurve D). Bis über 40°C reicht die thermoneutrale Zone, in der die Körpertemperatur ohne Energieaufwand konstant gehalten werden kann. Erst bei Temperaturen über 45°C wird wieder geringfügig mehr Energie benötigt (Hitze-Stress).

Die Zuordnung der Kurven stellt das Übertragen von Wissen auf einen neuen Zusammenhang dar und wird somit dem Anforderungsbereich II zugeordnet. Die Begründung für die Zuordnung der Kurvenverläufe der Körpertemperaturen ergibt sich zwangsläufig aus den Begriffen „wechselwarm“ und „gleichwarm“.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Die Begründung für die Zuordnung der Kurvenverläufe des relativen Sauerstoffverbrauchs beinhaltet die Herausarbeitung kausaler Beziehungen in komplexen und neuen Zusammenhängen, die im Unterricht in der Form nicht erarbeitet wurden. Diese Arten von Begründungen sind dem Anforderungsbereich III zuzuordnen.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („zuordnen“) weist auf den Anforderungsbereich I oder II hin. Vorliegend handelt es sich um Zuordnungen, die anhand eigener Überlegungen ermittelt werden müssen, allerdings mit wenigen Auswahlmöglichkeiten, was dem Anforderungsbereich II zuzuordnen ist. Der Operator („begründen“) weist auf den Anforderungsbereich II oder III hin. Die Begründung der Zuordnungen kann im vorliegenden Fall wie oben beschrieben beiden Anforderungsbereichen zugeordnet werden.

- e) Beim Dromedar steigt die Körpertemperatur an, wenn die Umgebungstemperatur tagsüber auch ansteigt. Ebenso fällt sie nachts mit der Umgebungstemperatur wieder ab. Beim durstenden Dromedar fallen die Schwankungen allerdings stärker aus (ca. 35°C bis über 40°C, Differenz = 5°C) als beim getränkten Dromedar (36°C bis über 39°C, Differenz = 3°C).

Die Temperaturdifferenz muss mit dem aufgenommenen Wasser begründet werden können. Die geringere Temperaturdifferenz beim getränkten Dromedar lässt sich mit der Verdunstungskälte erklären, die nur entstehen kann, wenn Wasser zur Verdunstung bereit steht.

Im ersten Teil dieser Teilaufgabe sollen die Prüflinge zunächst nur den unkomplizierten Kurvenverlauf beschreiben, was dem Anforderungsbereich I zuzuordnen ist.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Für die Erklärung der Kurvenverläufe müssen eigene Gedanken entwickelt und bereits bekannte Zusammenhänge auf ein unbekanntes Beispiel übertragen werden, was in den Bereich des Anforderungsbereiches II einzuordnen ist.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Der Operator („beschreiben“) ist dem Anforderungsbereich I oder II zuzuordnen. Da die Beschreibung wenig komplexer Kurvenverläufe verlangt wird, handelt es sich um den Anforderungsbereich I. Der Operator („erklären“) deutet auf den Anforderungsbereich II oder III hin. Die geforderte Erklärung kann mit wenig komplexen Überlegungen erbracht werden und ist entsprechend dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- f) Das Dromedar verhält sich entsprechend der obigen Definition im weitesten Sinne wie ein wechselwarmer Organismus, wobei die Schwankungen vergleichsweise sehr gering sind. Der Begriff Homöothermie beinhaltet auch die aktiven Vorgänge zum Erreichen der Temperaturkonstanz (Regulationsleistungen, die diesen Zustand bei sich ändernden Umweltbedingungen aufrechterhalten).

Das Herausarbeiten, ob der Begriff „homöotherm“ hier zutreffend ist, verlangt problemlösendes Denken, da es sich hier um ein gleichwarmes Tier handelt, welches aber im Ansatz Merkmale von wechselwarmen Tieren zeigt. Problemlösendes Denken ist dem Anforderungsbereich III zuzuordnen.

**Anforderungsbereich III**

**10%**

Der Operator („erörtern“) ist dem Anforderungsbereich III zuzuordnen. Die vorliegende Aufgabe verlangt komplexe und vergleichende Überlegungen.



### Aufgabe 3: Evolutionslehre – Neandertaler

In dieser Aufgabe müssen Hypothesen zur Entwicklung des Neandertalers und des modernen Menschen diskutiert werden. Im sachgebietsübergreifenden Teil (Teilaufgaben a–c) stehen Aspekte aus der Genetik (PCR-Verfahren und Mutationen) im Vordergrund.

#### Aufgabenstellung

Im Jahre 1856 wurde in der Kleinen Feldhofer Grotte im Neandertal bei Düsseldorf das erste unvollständige Skelett eines Hominiden gefunden. Der schwere Schädel mit den ausgeprägten Knochenwülsten über den Augen und die grobschlächtigen Gliederknochen wirkten auf die Anatomen so fremd, dass sie dieses Wesen als eine eigene biologische Art klassifizierten: Sie nannten die Spezies *Homo neanderthalensis*. Seit dieser Zeit wird immer wieder über die Verwandtschaftsbeziehung des Neandertalers zum heutigen Menschen gestritten.

#### Material 1: Mitochondrien-DNA (mtDNA)

Einen Beitrag zur wissenschaftlichen Diskussion über das Schicksal der Neandertaler versucht die Paläogenetik zu leisten. Einem ihrer Pioniere, Svante Pääbo und seinem Münchener Team, wurde 1996 ein Stückchen aus dem Oberarmknochen des Neandertaler-Fossils, das man 1856 bei Düsseldorf fand, zur Verfügung gestellt. Dieser Arbeitsgruppe gelang es erstmalig, aus 0,4 g schweren Knochenportionen DNA-Reste zu gewinnen und mit dem PCR-Verfahren zu bearbeiten.

Die Münchener Wissenschaftler verwendeten für den Basensequenz-Vergleich mitochondriale DNA (mtDNA). Mitochondrien besitzen ihre eigene DNA, die außerdem nicht so schnell zerfällt wie Zellkernmaterial.

Einen Ausschnitt aus dem mtDNA-Vergleich der Arbeitsgruppe um Prof. Pääbo zeigt die folgende Darstellung:

Jetzt-Mensch

-T-C-A-C-C-C-A-C-T-C-C-C-C- (...) -A-A-A-C-C-T-C-A-A-C-G-T-C-A-A-C-T-A-C-A-

Neandertaler

-T-C-A-C-C-C-A-C-A-T-T-C-C-C- (...) -A-A-A-C-C-T-C-A-A-C-A-T-C-A-A-C-T-A-C-A-

Hierzu ist festzustellen, dass die Vergleichssequenz der mtDNA des modernen *Homo sapiens* repräsentativ für den anatomisch modernen Menschen ist. Sie wurde erstellt, indem man zahlreiche mtDNAs von verschiedenen Menschen aller Sprachräume dieser Erde verglich. Die beiden oben dargestellten mtDNA-Vergleichssequenzen entsprechen sich, was sich u.a. aus der Anwendbarkeit des PCR-Verfahrens ergibt

#### Material 2: Erklärungsmodelle zur Verwandtschaft

In der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“ schreibt die Wissenschaftlerin Kate Wong:

„In ihrer Einfachheit klingt die Geschichte einleuchtend. In Europa erschien ein neuer Menschenschlag, und so mussten die bisher konkurrenzlosen Neandertaler aussterben. Der höher entwickelten Kultur der Eindringlinge waren sie trotz ihres großen Gehirns nicht gewachsen. Die Frage ist nur, ob diese Geschichte stimmt. Einig sind sich Anthropologen über die Neandertaler nur in zwei Punkten:

Die stämmigen Hominiden trotzten 200.000 Jahre lang in Europa und Westasien allen Fährnissen<sup>1</sup>, selbst den kältesten Phasen der Eiszeit; und heute gibt es diese Menschen nicht mehr.“

In der Frage über die Herkunft des anatomisch modernen Menschen und seiner verwandtschaftlichen Beziehung zum Neandertaler stehen sich, grob gesagt, zwei Lager gegenüber. Nach Auffassung der einen Seite entstand der moderne Mensch vor ungefähr 200.000 Jahren in Afrika. Von dort breitete er sich später auf andere Kontinente aus – wo schon andere Hominiden lebten –, und er verdrängte schließlich weltweit alle archaischen<sup>2</sup> Populationen, so in Europa den Neandertaler vor rund 30.000 Jahren (*Verdrängungs-Hypothese*).

Nach Ansicht der anderen Seite ist die Herkunft des modernen Menschen nicht so eindeutig. Vor allem verschwanden die archaischen Populationen nicht spurlos, sondern sie leisteten einen Beitrag zum Genpool des frühen modernen Menschen (*Vermischungshypothese*).

Einige Funde sprechen jedoch dafür, dass der anatomisch moderne Mensch vor etwa 40.000 Jahren in Europa erschien und sich 10.000 Jahre lang parallel oder gemeinsam mit dem Neandertaler entwickelte.

[<sup>1</sup> Fähnisse = Schwierigkeiten <sup>2</sup> archaisch = altertümlich]

### Material 3: Fossilfunde

Die Ergebnisse der Arbeitsgruppe von Prof. Pääbo (siehe Material 2) wurden inzwischen durch andere Wissenschaftler-Teams, die zwei Neandertaler-Fossilien aus verschiedenen europäischen Regionen (42.000 und 29.000 Jahre alt) untersuchten, bestätigt. Außerdem wurde die DNA-Sequenz von drei anatomisch modernen Menschen analysiert, die höchstens 14.000 Jahre alt waren, sich aber kaum vom rezenten Menschen unterschieden.

- a) Beschreiben Sie die entscheidenden Schritte des PCR-Verfahrens in der zeitlichen Reihenfolge! (15%)
- b) Skizzieren Sie die Unterschiede zwischen den beiden mtDNA-Abschnitten im Material 1 und stellen Sie mögliche Mutationen dar, die zu den markierten Unterschieden geführt haben! (25%)
- c) Erläutern Sie die besondere Bedeutung der mitochondrialen DNA bei der Diskussion verwandtschaftlicher Beziehungen! (10%)
- d) Interpretieren Sie die Informationen der Materialien aus der Sicht der Vertreter der Verdrängungs-Hypothese! (20%)
- e) Analysieren Sie nun die Unterschiede zwischen der Vermischungshypothese und der Verdrängungs-Hypothese und beurteilen Sie diese! (30%)

Quellenangaben:

Bahnsen, Ulrich: Das Gen aus der Steinzeit. Die ZEIT 3/2001 (entnommen dem Onlinearchiv der ZEIT)

Kutter, Susanne: Neandertaler - Bruchige Botschaften aus alten Genen. Geo-Magazin Nr.4/April 2001 (entnommen dem Onlinearchiv von GEO)

Schlüter Biologie: Genetischer Fingerabdruck – Schüler-Kit mit 9 Transparenten.

Wong, Kate: Der Streit um die Neandertaler. Spektrum der Wissenschaft, Heft Juni 2000, S. 42f. (entnommen dem Onlinearchiv von [www.wissenschaft-online.de](http://www.wissenschaft-online.de))

### Erwartungshorizont

- a) Die Polymerasekettenreaktion wird nach folgendem zyklischen Schema durchgeführt:
  - Denaturierung der DNA-Probe zur Trennung der DNA-Stränge
  - Binden der Primer an die DNA-Stränge
  - Synthese neuer DNA-Stränge durch die Taq-Polymerase
  - Denaturierung zur Trennung der DNA-Stränge
  - Neubeginn eines weiteren Zyklus (normalerweise werden 30–60 Zyklen durchgeführt)(Abweichungen in Details könnten sich aus dem jeweiligen Unterricht ergeben.)

Das PCR-Verfahren ist ein Schwerpunktthema im Semester Genetik, so dass ein gelernter Ablauf wiedergegeben werden muss.

**Anforderungsbereich I**

**15%**

Der Operator („beschreiben“) verweist auf die Anforderungsbereiche I und II. Da das PCR-Verfahren aus dem Unterricht bekannt ist, sind die erwarteten Leistungen dem Anforderungsbereich I zuzuordnen.

- b) Eine mögliche Darstellung der Unterschiede der beiden mtDNAs des Arbeitsmaterials auf dem Lösungsbogen:

Jetzt-Mensch

-T-C-A-C-C-C-A-C-**T-C**-C-C-C- (...) -A-A-A-C-C-T-C-A-A-C-**G**-T-C-A-A-C-T-A-C-A-

Neandertaler

-T-C-A-C-C-C-A-C-**A-T-T**-C-C-C- (...) -A-A-A-C-C-T-C-A-A-C-**A**-T-C-A-A-C-T-A-C-A-

Mutationen und deren Auswirkungen auf den codogenen Strang einer DNA sind Schwerpunktthemen im Semester Genetik. Das Auffinden der Unterschiede sollte keine Schwierigkeit darstellen, da die Anzahl der übereinstimmenden Nukleotide sehr hoch ist. Die Unterschiede sind zu skizzieren.

**Anforderungsbereich I**

**10%**

Der Operator („skizzieren“) verweist auf die Anforderungsbereiche I und II. Da es sich um ein einfaches Beispiel handelt, liegt hier der Anforderungsbereich I vor.

Es gibt verschiedene Mutationsformen, die in diesen Beispielen allgemein als Genmutationen oder Punktmutationen bezeichnet werden können. (Die in der Abbildung durch Kästen markierten Unterschiede werden von links nach rechts behandelt):

Im ersten Kasten könnte es zu einem Verlust des Basennukleotids **A** des Neandertalers und zeitgleich oder später zu einem Austausch von **T** zu **C** beim dritten Nukleotid des Kastens gekommen sein. – Es wäre aber auch denkbar, dass (zeitgleich oder nacheinander) **AT** beim Neandertaler verloren ging und beim Jetztmenschen ein **C** hinzugekommen ist.

Im zweiten Kasten wurde einmal die Base Adenin gegen Guanin ausgetauscht.

Genmutationen sind ein Schwerpunktthema im Semester Genetik. Somit geht es hier nur um eine einfache Anwendung dieses Begriffs auf die festgestellten Unterschiede.

**Anforderungsbereich II**

**15%**

Der Operator („darstellen“) verweist auf die Anforderungsbereiche I und II. Auf Grund des unbekanntes Materials sind die erwarteten Leistungen dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

- c) Änderungen in mitochondrialer DNA gehen ausschließlich auf Mutationen zurück, da Mitochondrien nur mit dem Cytoplasma der Eizelle bei der sexuellen Fortpflanzung an die nächste Generation weitergegeben werden. Somit ist eine Rekombination mitochondrialer DNA ausgeschlossen. Auch eine Beeinflussung der Allelfrequenz mitochondrialer Gene durch Selektion ist nahezu ausgeschlossen, da die mtDNA ausschließlich diese Organellen betreffende Gene trägt.

Die Prüflinge müssen ihr Wissen aus der Endosymbionten-Theorie (s. Schwerpunktthema im Semester Evolutionslehre) auf den gegebenen Sachverhalt übertragen.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Der Operator („erläutern“) verweist auf den Anforderungsbereich II.

- d) Die Vertreter der *Verdrängungs-Hypothese* können darauf hinweisen, dass der Zeitraum vom ersten Auftreten des Neandertalers in Europa vor ca. 40.000 Jahren nicht ausreicht, um die zahlreichen mutationsbedingten Unterschiede zwischen den mtDNAs der beiden Hominiden erklären zu können. Diese evolutive Zeitspanne wurde noch verkürzt, seit man die DNA des jüngsten Neandertalers (29.000 Jahre) mit dem ältesten anatomisch modernen Menschen (14.000 Jahre) verglich; danach hätten diese Unterschiede in nur ca. 15.000 Jahren entstehen müssen. Somit ist es wahrscheinlicher, dass sich der anatomisch moderne Mensch in den letzten 200.000 Jahren unabhängig vom Neandertaler entwickelte und diesen dann – aus welchen Gründen auch immer – im Laufe von 10.000 Jahren in Europa verdrängte, ohne mit ihm sexuellen Kontakt zu pflegen.

Hypothesenbildung aufgrund von Wahrscheinlichkeitsüberlegungen ist ein zentrales Anliegen der Arbeit in der Studienstufe. Die Argumente müssen aus den Materialien 1 und 3 sowie den Überlegungen zu Teilaufgabe c) verknüpft werden. Erleichtert wird die Argumentation durch die Beschränkung auf eine Hypothese.

**Anforderungsbereich II**

**20%**

Der Operator („interpretieren“) verweist auf die Anforderungsbereiche II und III. Da es sich bei der Argumentation um die Beschränkung auf eine Hypothese handelt, liegt der Anforderungsbereich II vor.

- e) Die Vertreter der *Vermischung-Hypothese* können die in Teilaufgabe d) dargestellte Argumentation nicht leugnen, doch verweisen sie zunächst auf die äußerst geringe Anzahl von DNA-Sequenzierungen bei Fossilien (es wurden erst drei Neandertaler-Fossilien sequenziert). Wenn nun die Basensequenzen aus einem Bereich der mtDNA stammen, der leicht mutiert, könnte man die dargestellten Unterschiede des Jetzt-Menschen als mutierte Neandertaler-DNA interpretieren.

Nachdem die eine Hypothese des Arbeitsmaterials bearbeitet worden ist, soll nun gleiches mit der zweiten Hypothese geschehen. Das Material 2 verweist dabei auf die Unterschiede.

**Anforderungsbereich II**

**10%**

Der Operator („analysieren“) verweist auf die Anforderungsbereiche II und III. Da die geforderten Unterschiede recht deutlich im Material 2 dargestellt werden, ist dieser Teil der Leistungserwartung dem Anforderungsbereich II zuzuordnen.

Die mtDNA sagt noch nichts darüber aus, ob nicht trotzdem ein Genaustausch zwischen Neandertaler- und Jetztmensch-Populationen stattgefunden haben könnte. Wenn ein Neandertaler-Mann sexuellen Kontakt mit einer Jetztmensch-Frau gehabt hätte, könnte man den Gen-Austausch nicht in der mtDNA feststellen, da diese dann vom Jetztmenschen stammt.

Es ist meistens besonders schwierig, eigene Argumentationen (Teilaufgabe d) selbst in Frage zu stellen, zumal das Material nur eine Wahrscheinlichkeitsabschätzung ermöglicht. Außerdem setzt o.g. Argument voraus, dass sich der Prüfling in eine vorgeschichtliche Gesellschaftsstruktur hineinendenken kann.

**Anforderungsbereich III**

**20%**

Der Operator („beurteilen“) verweist auf den Anforderungsbereich III.