



Hamburg

Behörde für Schule,
Familie und Berufsbildung

Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

Biologie auf erhöhtem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden gymnasialen Oberstufen

Haupttermin
Mittwoch, 22. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Lehrkräfte

Diese Unterlagen sind nicht für die Prüflinge bestimmt.

Diese Unterlagen enthalten:

1. Allgemeines
 2. Rückmeldebogen für die Zweidurchsicht
 3. Hinweise zu den Aufgaben
 4. Hinweise zum Korrekturverfahren
 5. Bewertung und Erwartungshorizont
-

1. Allgemeines¹

- Weisen Sie bitte die Prüflinge auf die allgemeinen Arbeitshinweise hin.
- Die Arbeitszeit beträgt **300 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht programmierbar, nicht grafikfähig), Zeichenhilfsmittel, Rechtschreibwörterbuch

¹ Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **330 Minuten** erhöht.
- Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.

2. Rückmeldebogen für die Zweيتدurchsicht

Bitte umgehend ausfüllen und

- a) an die Schule senden, die die externe Zweيتدurchsicht übernimmt,
oder ggf.
- b) an die Kollegin/den Kollegen geben, die/der die interne Zweيتدurchsicht übernimmt.

Information für die Zweيتدurchsicht

Fach:

Biologie
auf erhöhtem Anforderungsniveau

Kurs-Nummer: _____

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben:

Aufgaben-Nr.		Anzahl	
I	von		Prüflingen
II	von		Prüflingen
III	von		Prüflingen
IV	von		Prüflingen

3. Hinweise zu den Aufgaben

- Die Lehrkraft erhält **vier** Aufgaben und reicht diese an die Prüflinge weiter.
- Die Prüflinge wählen **drei** Aufgaben aus und bearbeiten diese.
- Sie vermerken auf dem Deckblatt und der Reinschrift, welche Aufgaben sie bearbeitet haben.

4. Hinweise zum Korrekturverfahren

- Die Korrekturen werden gemäß der „Richtlinie für die Aufgabenstellung und Bewertung der Leistungen in der Abiturprüfung“ (Abiturrichtlinie) in der geltenden Fassung vorgenommen.
- Die für das Fach zuständige Lehrkraft begutachtet die Arbeiten unter Beachtung zentraler Bewertungsvorgaben und unter Kennzeichnung ihrer Vorzüge und Mängel, der richtigen Lösungen und der Fehler und bewertet jede Arbeit mit einer Punktzahl (siehe Erstkorrekturbogen). Entwürfe können ergänzend zur Bewertung herangezogen werden.
- Jede Arbeit wird sodann von der zweiten Fachlehrkraft durchgesehen, die sich entweder (auf dem Erstkorrekturbogen) der Bewertung durch die für das Fach zuständige Lehrkraft anschließt oder (auf dem Zweidurchsichtbogen) ein ergänzendes Gutachten mit Bewertung anfertigt.
- Die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses legt die endgültige Punktzahl fest. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen nicht mehr als drei Punkte, bildet sie oder er den Mittelwert beider Punktzahlen; eine gebrochene Zahl wird zur nächsten vollen Punktzahl aufgerundet. Beträgt die Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen mehr als drei Punkte, legt die oder der Vorsitzende des Fachprüfungsausschusses die endgültige Punktzahl in Auseinandersetzung mit den erstellten Gutachten entsprechend dem Erfordernis der Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit der Bewertung der Prüfungsleistungen fest und begründet die Entscheidung auf dem Formular „Festlegung der Note bei einer Differenz der im Erstgutachten und im ergänzenden Gutachten erteilten Punktzahlen von mehr als drei Notenpunkten“.
- Die Bewertungsbögen sind als Download zu finden auf der Plattform Prüfungen (vormals HERA) in LMS.

5. Bewertung und Erwartungshorizont

I. Bewertung

Jeder Aufgabe sind 40 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 120 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle:

Notenpunkte	mindestens zu erreichender Anteil an den insgesamt zu erreichenden Bewertungseinheiten	erreichte Bewertungseinheiten
15	95 %	114 – 120
14	90 %	108 – 113,5
13	85 %	102 – 107,5
12	80 %	96 – 101,5
11	75 %	90 – 95,5
10	70 %	84 – 89,5
9	65 %	78 – 83,5
8	60 %	72 – 77,5
7	55 %	66 – 71,5
6	50 %	60 – 65,5
5	45 %	54 – 59,5
4	40 %	48 – 53,5
3	33 %	40 – 47,5
2	27 %	32,5 – 39,5
1	20 %	24 – 32
0	0 %	0 – 23,5

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

II. Erwartungshorizont

Bei den auf den folgenden Seiten dargestellten erwarteten Schülerleistungen handelt es sich um Lösungsskizzen. Oft sind aber Lösungsvarianten möglich, die in der Skizze nur zum Teil beschrieben werden konnten. Grundsätzlich gilt deshalb, dass alle Varianten, die zu richtigen Lösungen führen, mit voller Punktzahl bewertet werden, unabhängig davon, ob die gewählte Variante in der Lösungsskizze aufgeführt ist oder nicht. Kursiv gedruckte Passagen sind Hinweise an die korrigierenden Lehrkräfte. Sie sind nicht Bestandteile der erwarteten Schülerleistung.

Aufgabe I: Spezialisten in dunklen Ecken

Schwerpunkt: Leben und Energie

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten. <u>Der Prüfling...</u>	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
a)	Erläutern: - Der in den Primärreaktionen gebildete Stoff $\text{NADPH} + \text{H}^+$ wird in den Sekundärreaktionen für die Reduktionsphase benötigt. Während der Reduktion erfolgt die Regeneration des NADP^+ für die Primärreaktionen. - Der in den Primärreaktionen bereitgestellte Energieträger ATP wird sowohl in der Reduktionsphase als auch in der Regenerationsphase benötigt. Dabei wird ATP zu $\text{ADP} + \text{P}_i$ umgewandelt, die in den Primärreaktionen erneut genutzt werden können.	4	2	
b)	Auswerten: - Wenn jeweils die doppelte Lichtintensität einer Wellenlänge eingestrahlt wird, dann ist die O_2-Produktion etwa doppelt so groß. Wenn jedoch mit Licht beider Wellenlängen gleichzeitig belichtet wird, dann ergibt sich eine mehr als doppelt so hohe O_2-Produktion. - Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass die maximale Fotosyntheserate dann erreicht wird, wenn beide Fotosysteme gleichzeitig mit Licht bestrahlt werden, dessen Wellenlänge ihrem jeweiligen Absorptionsmaximum entspricht. Denn dann besteht eine höhere Auslastung der beiden Fotosysteme.	3	5	
c)	Erklären: - Das Linsenprotonema besteht aus Linsenzellen, die sich flächig zum einfallenden Licht anordnen, wodurch eine höhere Lichtabsorption möglich ist. - Bei den Linsenzellen werden die einfallenden Lichtstrahlen beim Übertritt von der Zellwand in die Vakuole so gebrochen, dass sie auf eine Ausbuchtung am Ende der kugelförmigen Zelle fallen, in der sich die Chloroplasten befinden. - Der Bau des Linsenprotonemas und der Linsenzellen ermöglicht eine effektive Ausnutzung der geringen Lichtintensität für die lichtabhängigen Reaktionen in den Chloroplasten und stellt eine Anpasstheit an dunkle Standorte dar.	3	5	
d)	Beurteilen: Maßnahme 1: - Die Pigmente in den Chloroplasten absorbieren Rotlicht. → kein reflektierter Lichtstrahl → kein Leuchteffekt → Ziel 1 nicht erreicht. - Mit dem Rotlicht steht dem Leuchtmoss eine Lichtquelle zur Verfügung, die für die Fotosynthese nutzbar ist. → Leuchtmossbestand bleibt erhalten. → Ziel 2 erreicht. Maßnahme 2: - Grünlicht wird von den Pigmenten in den Chloroplasten weitgehend reflektiert → grüner Leuchteffekt → Ziel 1 erreicht. - Dem Grünlicht fehlen die Wellenlängenbereiche, die von den meisten Pigmenten in den Chloroplasten absorbiert werden. → geringe Fotosyntheseleistung → Leuchtmossbestand bleibt nicht erhalten → Ziel 2 nicht erreicht.		2	6

e)	Beschreiben: • Ohne Licht verbraucht der Sporophyt ca. 1 $\mu\text{mol O}_2/\text{g Chl s}$ durch Atmung. • Bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ erreicht der Sporophyt den Lichtkompensationspunkt. • Mit zunehmender Beleuchtungsstärke steigt die Sauerstoffproduktion des Sporophyten weiter an und erreicht bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ die Lichtsättigung mit einer Netto-O_2-Produktion von ca. 4,5 $\mu\text{mol O}_2/\text{g Chl s}$. • Ohne Licht verbraucht der Gametophyt ca. 0,4 $\mu\text{mol O}_2/\text{g Chl s}$ durch Atmung. • Bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ erreicht der Gametophyt den Lichtkompensationspunkt. • Mit zunehmender Beleuchtungsstärke steigt die Sauerstoffproduktion des Gametophyten weiter an und erreicht bei einer Beleuchtungsstärke von ca. 40 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ die Lichtsättigung mit einer Netto-O_2-Produktion von ca. 2 $\mu\text{mol O}_2/\text{g Chl s}$. • Bis zu einer Beleuchtungsstärke von ca. 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ produziert der Gametophyt pro Gramm Chlorophyll mehr Sauerstoff durch Fotosynthese als der Sporophyt. Bei Beleuchtungsstärken über ca. 10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ ist es umgekehrt. Analysieren: • Der Gametophyt ist besser als der Sporophyt an geringe Beleuchtungsstärken angepasst. Er kann unter den lichtarmen Bedingungen in den hinteren Bereichen von Höhleneingängen überleben und unter den dortigen Bedingungen mehr Biomasse produzieren als der Sporophyt. • Der Gametophyt kann den Fortbestand der Art sichern, indem dieser Phasen mit ungünstigen Lebensbedingungen in geschützten Bereichen von Höhleneingängen überdauert. • Sporophyt und Gametophyt haben sich unterschiedlich eingenischt. Diese Nischenaufteilung verbessert die Ressourcennutzung.	3	4	
			1	2
Insgesamt 40 BE		13	19	8

Aufgabe II: Wirkungen von Neurotoxinen auf Synapsen

Schwerpunkt: Informationsverarbeitung in Lebewesen

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten. <u>Der Prüfling...</u>	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
a)	Darstellen: Aktionspotenzial erreicht Endknöpfchen → Öffnung spannungsgesteuerter Calciumionenkanäle → Einstrom von Calciumionen in das Endknöpfchen → Verschmelzen von synaptischen Vesikeln mit der präsynaptischen Membran → Freisetzung eines in den Vesikeln enthaltenen Neurotransmitters in den synaptischen Spalt → Bindung des Neurotransmitters an Rezeptoren in der postsynaptischen Membran → Öffnung von Natriumionenkanälen → Einstrom von Natriumionen in die Postsynapse → Entstehung eines PSP	8		
b)	Zusammenfassen: - Nach elektrischer Reizung des präsynaptischen Neurons verursacht die Anwesenheit von ω-Agatoxin eine starke Verminderung des postsynaptischen Potenzials im Vergleich zur Kontrolle ohne Giftstoffeinwirkung. - Bei Zugabe des Neurotransmitters entsteht sowohl ohne Giftstoff als auch mit ω-Agatoxin jeweils das gleiche postsynaptische Potenzial. Ableiten: - Die elektrische Reizung des präsynaptischen Neurons löst zunächst Prozesse an der Präsynapse und daraus folgend an der Postsynapse aus, die zu einem postsynaptischen Potenzial führen. Die Verminderung des PSP durch ω-Agatoxin lässt daher keine eindeutige Aussage darüber zu, ob der Giftstoff an der Präsynapse oder Postsynapse wirkt. - Wenn der Neurotransmitter direkt zugegeben wird, sind nur die Vorgänge an der Postsynapse für die Ausbildung des PSP erforderlich. Da ω-Agatoxin in diesem Versuch keine Auswirkungen hatte, zeigt sich, dass ω-Agatoxin nicht auf die Postsynapse, sondern auf die Präsynapse wirkt.	3	5	
c)	Ableiten: - Beide Giftstoffe wirken auf die spannungsgesteuerten Calciumionenkanäle in der Präsynapse und verursachen eine Reduktion der Calciumionenströme. - Bei einlaufenden Aktionspotenzialen führt der verminderte Calciumioneneinstrom zur Reduktion der Transmitterfreisetzung. Das resultierende postsynaptische Potenzial fällt daher geringer aus als bei der Kontrolle. - In der Folge wird am Axonhügel kein Aktionspotenzial oder eine geringere Frequenz von Aktionspotenzialen ausgelöst. Die Signalübertragung im Gehirn wird gestört oder unterbrochen. - Beide Giftstoffe wirken auf Zellen im Kleinhirn, das an der Bewegungssteuerung beteiligt ist. Die Störung der Signalübertragung könnte daher zu Lähmungen führen. - Weil ω-Agatoxin den Ionenstrom stärker reduziert als ω-Conotoxin, sind bei ω-Agatoxin stärkere Auswirkungen auf die Erregungsübertragung und somit auf den Organismus zu erwarten.		8	

d)	Beurteilen: • Wenn die Giftstoffe an unterschiedliche Typen von Calciumionenkanälen binden, müssten sie unabhängig voneinander wirken. Die Untersuchungsergebnisse passen zur Hypothese, da die einzelne Zugabe der Giftstoffe zu unterschiedlich starken maximalen Effekten auf den Calciumionenstrom führte. • Zudem würden sich die Auswirkungen der beiden Giftstoffe auf den Ionenstrom addieren. Tatsächlich zeigte sich, dass unabhängig von der Reihenfolge der Giftstoffzugabe der Ionenstrom insgesamt auf etwa den gleichen Wert reduziert wurde. Auch die gleichzeitige Zugabe beider Giftstoffe bewirkte den gleichen resultierenden Ionenstrom. • Die Ergebnisse widerlegen demnach nicht die Hypothese, dass die beiden Giftstoffe an unterschiedliche Typen von Calciumionenkanälen binden.		2	4
e)	Zusammenfassen: • In Anwesenheit von ω-Agatoxin wurde im Vergleich zur Kontrolle ohne Giftstoff erst bei einem deutlich positiveren Membranpotenzial eine relative Leitfähigkeit der Calciumionenkanäle gemessen. Diese erreichte in beiden Fällen den gleichen Maximalwert. • In Anwesenheit von ω-Conotoxin wurde, analog zur Kontrolle, eine Leitfähigkeit der Calciumionenkanäle ab einem Membranpotenzial von etwa -40 mV gemessen. Sie erreichte aber nur etwa 50 % des Maximalwertes der Kontrolle. Hypothese aufstellen: • ω-Agatoxin beeinflusst vermutlich den Spannungssensor des Calciumionenkanals, weswegen die Öffnung der Ionenkanäle bei einem positiveren Membranpotenzial als bei der Kontrolle erfolgt. Weil die Öffnung der Pore nicht beeinträchtigt ist, wird die gleiche maximale Leitfähigkeit wie bei der Kontrolle erreicht. • ω-Conotoxin blockiert vermutlich die zentrale Pore des Calciumionenkanals. Dadurch wird bei jedem untersuchten Membranpotenzial die relative Leitfähigkeit im Vergleich zur Kontrolle reduziert. Weil ω-Conotoxin den Spannungssensor nicht beeinflusst, bleibt das Membranpotenzial, bei dem die Kanäle geöffnet werden, unverändert.	2	1	
Insgesamt 40 BE			2	5
		13	18	9

Aufgabe III: Polardorschbestand in der Arktis

Schwerpunkt: Lebewesen in ihrer Umwelt

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten. <u>Der Prüfling...</u>	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
a)	Darstellen: Ei treibt nach Ablage im Frühjahr an eisbedeckte Oberfläche → Larve schlüpft nach 50 Tagen, lebt weiter unter Eisdecke → Entwicklung zum Fisch → Jungfisch verlässt nach ca. 1,5 Jahren Schutz des Eises, wächst heran, hält sich zunehmend tiefer auf → adulter Dorsch lebt in ca. 200 m Tiefe → Paarung und Eiablage	6	2	
b)	Angeben: - Die ökologische Nische beschreibt die Gesamtheit aller Ansprüche, die eine Art an ihre Umwelt stellt. Sie ist damit ein System aus abiotischen und biotischen Umweltfaktoren. Vergleichen: Kriterium Lebensraum - Gemeinsamkeit - Larven und Jungfische leben unter der Eisdecke Kriterium Nahrung - Unterschied - Larven ernähren sich von eigenem Dottersack, dann tierischen Kleinstlebewesen und deren Eiern - Jungfische ernähren sich von tierischem Plankton Kriterium Temperaturoptimum - Unterschied - Larven -0,5 °C bis 4 °C Optimum - Jungfische haben ein Temperaturoptimum von -1 °C bis 6 °C	3	6	
c)	Erläutern: Eier - Klimabedingte Temperaturerhöhung → Abnahme der Meereisausdehnung → weniger schützende Fläche → Eier sind leichtere Beute für Fressfeinde - weniger Meereis führt zu Erwärmung des Oberflächenwassers → optimale Entwicklung der Eier beeinträchtigt Ausgewachsene Tiere - Temperaturoptimum umfasst einen breiteren Temperaturbereich; dieser Bereich liegt bei deutlich höheren Temperaturen im Vergleich zu den Eiern → klimabedingte Temperaturerhöhung des Meerwassers hat kaum Auswirkungen auf die ausgewachsenen Tiere - indirekte Auswirkungen durch Veränderungen in der ökologischen Nische durch verschwindende Beute oder neue Konkurrenzarten möglich		6	2
d)	Hypothese aufstellen: - Die Populationsdichte des Belugas würde durch eine Dezimierung des Dorschbestandes abnehmen. - Im Nahrungsnetz ist der Polardorsch die einzige Beute. Wenn er nicht auf eine andere Beute ausweichen kann, geht die Populationsdichte des Belugas zurück. Hypothesen aufstellen: - Die Populationsdichte der Lodde würde durch die Dezimierung des Polardorschbestandes zunehmen. Polardorsch und Lodde sind		3	6

	Nahrungskonkurrenten. Wenn die Polardorschpopulation dezimiert wird, dann findet die Lodde mehr Nahrung. • Populationsdichte der Lodde sinkt. Polardorsch und Lodde haben gemeinsame Fressfeinde, den Heilbutt und die Trottellumme. Wenn der Polardorschbestand dezimiert wird, würde der Jagddruck auf die Lodde durch Heilbutt und Trottellumme steigen.			
e)	Erläutern: • Seegurken sind Teil von Nahrungsketten, Nahrung für Heilbutt und Walross, fressen Plankton, sind Konsumenten • Seegurken sind Destruenten, bauen totes organisches Material weiter ab, tragen dazu bei, dass Stoffkreisläufe geschlossen werden und Mineralsalze für Produzenten bereitgestellt werden	2	4	
Insgesamt 40 BE		11	21	8

Aufgabe IV: Pavianartige – Evolution und Sozialverhalten

Schwerpunkt: Evolution als Ursache von Biodiversität

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten. <u>Der Prüfling...</u>	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
a)	Erklären: - sachlogische Darstellung eines allopatrischen Artbildungsmechanismus durch geografische Isolation zwischen zwei Teilen einer Ausgangspopulation und Entstehung einer reproduktiven Barriere durch unabhängige zufällige Mutation, Rekombination und Selektion; ggf. auch Argumentation über Gendrift möglich - Der Anstieg des Flusses Sanaga ist als Ursache für die geografische Isolation der beiden Teile der Ausgangspopulation anzusehen.	4	3	
b)	Begründen: - Argumentation ausschließlich über abgeleitete Merkmale, d. h. veränderte Nukleotide, nicht über Gesamtzahl der Übereinstimmungen oder Unterschiede Begründung für Stammart der vier Pavianarten: - Positionen 6, 8, 108 (jeweils Mutation C→T) sowie 114 (A→C) sind gemeinsame abgeleitete Merkmale aller vier Arten; weitere Übereinstimmungen sind identisch mit der Außengruppe (Makaken) und damit ursprünglich Begründung für Schwesterartenverhältnis von Pavian und Djelada: - Positionen 95 (C→T) und 112 (G→A) sind gemeinsame abgeleitete Merkmale von Pavian und Djelada; weitere Übereinstimmungen sind ursprünglich	2 2	3 3	
c)	Erläutern: - reproduktive Fitness als Maß für Nachkommenzahl; hohe reproduktive Fitness erhöht die Häufigkeit der eigenen Allele in der Folgegeneration der Population Begründen: - Djelada: hohe Körpergröße und große Eckzähne: große physisch wehrhafte Männchen zur Verteidigung gegen andere Männchen und Kontrolle der Weibchen → Selektion auf Stärke; Selektion auf relativ kleine Hoden. Diese reichen zur Begattung der Weibchen im Harem aus; keine anderen Männchen anwesend - Pavian: relativ große Hoden → sehr viele Spermienzellen → viele Begattungen und höhere Wahrscheinlichkeit, dass die eigenen Spermienzellen bei Mehrfachbegattung zur Befruchtung kommen → Selektion auf Anzahl der Spermienzellen; Körpergröße und große Eckzähne weniger bedeutend, da Weibchengruppe nicht kontrolliert werden muss	3	5	4
d)	Erklären: Proximate Erklärung für veränderte Fortpflanzung: sachlogische Erklärung der verkürzten Geburtspause bei Abbrechen der Stillphase über veränderte hormonelle Regulation: Verringerung der Prolaktin-Ausschüttung unterbindet den hemmenden Einfluss auf die Hormonkaskade, die über		6	

	Gonadotropin Releasing Hormon, FSH und LH zum Eisprung führt → Eisprung und damit Empfängnis nach Kindstötung möglich Ultimate Erklärung für Kindstötungen: Das Verhalten zur Kindstötung muss genetisch fixiert sein. Varianten, die dieses Merkmal tragen, haben nach erfolgter Kindstötung schneller Nachkommen und damit mehr Nachkommen → Erhöhung der Allelfrequenz für diese Variante in der Folgegeneration im Vergleich zu einer genetisch fixierten Verhaltensvariante ohne Kindstötung → Verhaltensvarianten mit Kindstötung haben einen Selektionsvorteil.			5
Insgesamt 40 BE		11	20	9



Hamburg

Behörde für Schule,
Familie und Berufsbildung

Name / Kurs-Nr.

Schriftliche Abiturprüfung Schuljahr 2025/2026

Biologie auf erhöhtem Anforderungsniveau an allgemeinbildenden gymnasialen Oberstufen

Haupttermin
Mittwoch, 22. April 2026, 09:00 Uhr

Unterlagen für die Prüflinge

Allgemeine Arbeitshinweise

- Überprüfen Sie diese Unterlagen auf Vollständigkeit.
- Schreiben Sie auf alle Prüfungsunterlagen Ihren Namen und zusätzlich auf dieses Deckblatt Ihre Kursnummer.
- Kennzeichnen Sie Ihre Entwurfsblätter (Kladde) und Ihre Reinschrift.

Fachspezifische Arbeitshinweise¹

- Die Arbeitszeit beträgt **300 Minuten**.
- Eine gesonderte Lese- oder Auswahlzeit wird nicht gewährt.
- Hilfsmittel: Zeichenhilfsmittel, Rechtschreibwörterbuch

Aufgabenauswahl

- Sie erhalten **vier** Aufgaben zu unterschiedlichen Schwerpunkten.
- Wählen Sie **drei** Aufgaben aus und bearbeiten Sie diese.
- Vermerken Sie auch auf der Reinschrift, welche Aufgaben Sie bearbeitet haben.

Bearbeitet wurden die folgenden Aufgaben (Bitte kreuzen Sie an):

I	Leben und Energie	
II	Informationsverarbeitung in Lebewesen	
III	Lebewesen in ihrer Umwelt	
IV	Evolution als Ursache von Biodiversität	

¹ Entsprechend der „Richtlinie über die Gewährung von Erleichterungen für neu zugewanderte Schülerinnen, Schüler und Prüflinge bei Sprachschwierigkeiten in der deutschen Sprache“ (MBISchul Nr. 08, 7. Oktober 2016, S. 60) werden für die betroffenen Prüflinge die folgenden Erleichterungen gewährt:

- Die Bearbeitungszeit wird um 30 Minuten auf **330 Minuten** erhöht.
- Ein nicht-elektronisches Wörterbuch Deutsch – Herkunftssprache / Herkunftssprache – Deutsch wird bereitgestellt.

Bewertung

Jeder Aufgabe sind 40 Bewertungseinheiten (BE) zugeordnet. In allen Teilaufgaben werden nur ganze oder halbe BE vergeben. Die erbrachte Gesamtleistung ergibt sich aus der Summe der Bewertungseinheiten in den drei Aufgaben. Insgesamt sind somit 120 BE erreichbar. Bei der Festlegung von Notenpunkten gilt die folgende Tabelle:

Notenpunkte	mindestens zu erreichender Anteil an den insgesamt zu erreichenden Bewertungseinheiten	erreichte Bewertungseinheiten
15	95 %	114 – 120
14	90 %	108 – 113,5
13	85 %	102 – 107,5
12	80 %	96 – 101,5
11	75 %	90 – 95,5
10	70 %	84 – 89,5
9	65 %	78 – 83,5
8	60 %	72 – 77,5
7	55 %	66 – 71,5
6	50 %	60 – 65,5
5	45 %	54 – 59,5
4	40 %	48 – 53,5
3	33 %	40 – 47,5
2	27 %	32,5 – 39,5
1	20 %	24 - 32
0	0 %	0 – 23,5

Schwerwiegende und gehäufte Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit oder gegen die äußere Form führen zu einem Abzug von bis zu zwei Notenpunkten in einfacher Wertung. Mangelhafte Gliederung, Fehler in der Fachsprache, Ungenauigkeiten in Zeichnungen oder unzureichende oder falsche Bezüge zwischen Zeichnungen und Text sind als fachliche Fehler zu werten. Ein Abzug für Verstöße gegen die sprachliche Richtigkeit soll nicht erfolgen, wenn diese bereits Gegenstand der fachspezifischen Bewertungsvorgaben sind.

Aufgabe I: Spezialisten in dunklen Ecken

40 BE

Schwerpunkt: Leben und Energie

Das Leuchtmoos (*Schistostega pennata*) und der Prachtige Dünnpfarn (*Trichomanes speciosum*) kommen an Standorten mit geringer Lichtintensität vor. Beide Arten besitzen Anpasstheiten auf molekularer und zellulärer Ebene, die es ihnen ermöglichen, ausreichend Lichtenergie aufzunehmen und für die Fotosynthese nutzbar zu machen.

Teilaufgaben

- I.a Erläutern Sie den stofflichen und energetischen Zusammenhang zwischen Primär- und Sekundärreaktionen der Fotosynthese. 6
- I.b Werten Sie die in Abbildung 1 dargestellten Untersuchungsergebnisse aus (M 1). 8
- I.c Erklären Sie am Zusammenhang von Bau und Funktion des Linsenprotonemas sowie der Linsenzellen die Anpasstheit des Leuchtmooses an seinen Lebensraum (M 2). 8
- I.d Beurteilen Sie, ob die in Material 3 beschriebenen Ziele mit den beiden vorgeschlagenen Maßnahmen jeweils erreicht werden können (M 2, M 3). 8
- I.e Beschreiben Sie die Befunde, die in Abbildung 3 dargestellt sind. Analysieren Sie, welchen ökologischen Nutzen der Gametophyt für den Prachtigen Dünnpfarn hat (M 4). 10

Anlage zur Aufgabe I: Spezialisten in dunklen Ecken

Material 1 Untersuchung der lichtabhängigen Reaktionen der Fotosynthese

In den Thylakoidmembranen der Chloroplasten sind Chlorophyllmoleküle an verschiedene Proteine gebunden, sodass sogenannte Fotosysteme vorliegen. Es gibt zwei unterschiedliche Typen von Fotosystemen. Das Fotosystem I besitzt ein Absorptionsmaximum bei 700 nm, das Fotosystem II bei 680 nm.

In einem Experiment wurden die lichtabhängigen Reaktionen der Fotosynthese in Abhängigkeit von der Wellenlänge des eingestrahlten Lichts untersucht. Dazu wurden in drei Versuchsansätzen isolierte Chloroplasten entweder von einer Lampe oder von zwei Lampen bestrahlt. Die Lampen senden Licht mit der Wellenlänge 680 nm oder 700 nm aus. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde die Intensität der Lichtquellen so eingestellt, dass bei Bestrahlung mit nur einer Lampe unabhängig von der Wellenlänge gleich viel Sauerstoff produziert wurde (Abb. 1).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Sauerstoffproduktion von isolierten Chloroplasten bei Belichtung mit unterschiedlichen Wellenlängen

Material 2 Besonderheiten des Leuchtmooses

Das Leuchtmoos (*Schistostega pennata*) wächst im hinteren Bereich von Höhleneingängen. Wie für Moose typisch, geht der ausgewachsenen Leuchtmoospflanze eine Vorstufe voraus, die als Protonemafaden bezeichnet wird (Abb. 2, links).

An Standorten mit geringem Lichtangebot bildet der Protonemafaden verstärkt charakteristisch geformte Linsenzellen aus, die das Linsenprotonema bilden (Abb. 2). Aufgrund des durch die Linsenzellen reflektierten Lichts entsteht ein charakteristischer Leuchteffekt, der als schwaches grünes Funkeln und Schimmern beschrieben wird. Dieser Effekt ist namensgebend für das Leuchtmoos.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: links: Protonemafaden mit Linsenprotonema; rechts: Aufbau einer Linsenzelle mit schematisch vereinfacht dargestelltem Strahlengang des einfallenden Lichts

Material 3 Touristische Nutzung von Höhlen

Höhlen werden zunehmend für den Tourismus genutzt und umgestaltet. Die Betreiberfirma einer touristisch erschlossenen Höhle will Leuchtmoose nutzen, um die Höhle für Besucherinnen und Besucher attraktiver zu gestalten. Dabei wird die Höhle von äußeren Lichteinflüssen abgeschirmt und es kommt eine künstliche Beleuchtung zum Einsatz. Sowohl das Schimmern und Funkeln des Leuchtmooses als auch der Leuchtmoosbestand sollen erhalten bleiben. Zum Erreichen der beiden Ziele werden unabhängig voneinander die beiden folgenden Maßnahmen vorgeschlagen:

- Maßnahme 1: Es werden Lampen mit einer geringen Beleuchtungsstärke, die ausschließlich rotes Licht aussenden, auf das Leuchtmoos gerichtet.
- Maßnahme 2: Es werden Lampen mit einer geringen Beleuchtungsstärke, die ausschließlich grünes Licht aussenden, auf das Leuchtmoos gerichtet.

Material 4 Lichtbedarf von zwei Wuchsformen des Prächtigen Dünnfarns

Ein weiterer Spezialist mit Anpassungen an extrem lichtarme Standorte ist der Prächtige Dünnfarn (*Trichomanes speciosum*). Wie bei den Moosen ist es auch für Farne typisch, dass der ausgewachsene Pflanze eine Vorstufe vorausgeht. Diese Vorstufe wird als Gametophyt bezeichnet. Der Gametophyt bildet in den hinteren geschützten Bereichen dauerfeuchter Höhleneingänge grüne, moosähnliche Polster. Dort kann der langsam wachsende Gametophyt ungünstige Umweltbedingungen jahrzehntelang überdauern. Unter günstigen Bedingungen kann sich aus dem Gametophyten die ausgewachsene Farnpflanze, der sogenannte Sporophyt, entwickeln. Der Sporophyt bildet Sporen, die durch Wind verbreitet werden. Treffen Sporen auf geeignete Umweltbedingungen, entstehen daraus neue Gametophyten.

Für beide Wuchsformen wurde die Abhängigkeit der Netto-Sauerstoffproduktion von der Beleuchtungsstärke untersucht (Abb. 3). Die Beleuchtungsstärke in $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ gibt an, wie viele für die Fotosynthese nutzbare Lichtquanten pro Sekunde auf 1 m^2 Fläche treffen. Die Beleuchtungsstärke auf dem freien Feld liegt in Deutschland an sonnigen Sommertagen zur Mittagszeit bei ca. $1.900 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$, im vorderen Eingangsbereich von Höhlen bei $5\text{-}20 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$ und im hinteren Eingangsbereich von Höhlen bei $0,1\text{-}5 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{ s}$.

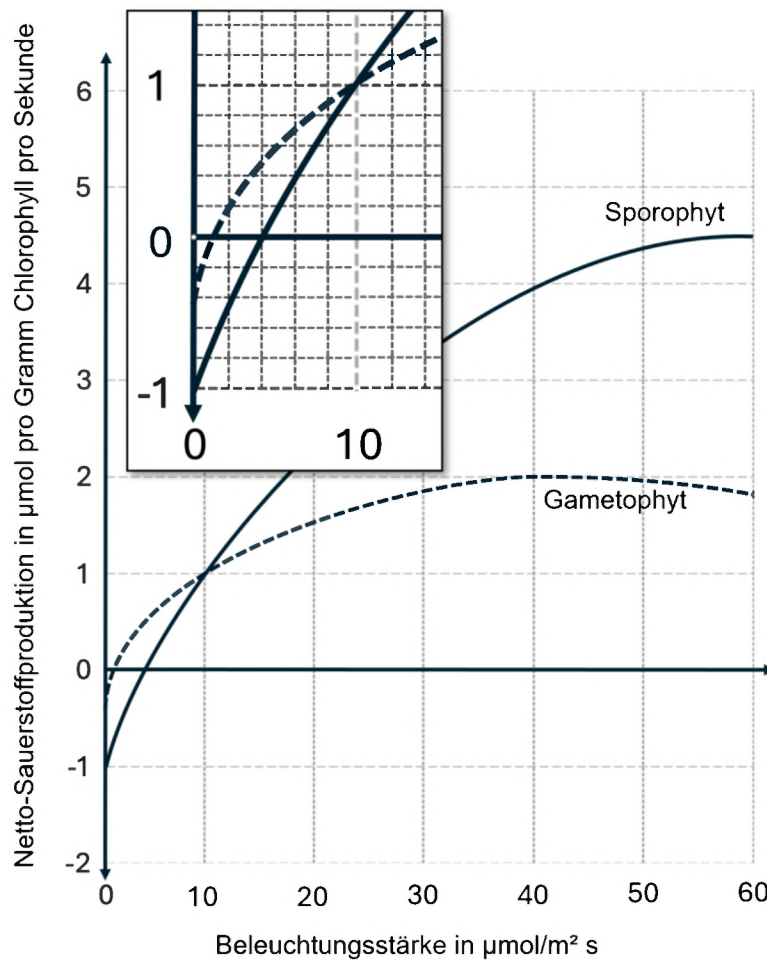


Abb. 3: Abhängigkeit der Netto-Sauerstoffproduktion von der Beleuchtungsstärke für Gametophyten und Sporophyten des Prächtigen Dünnfarns (Ausschnittvergrößerung im Kasten). Die Netto-Sauerstoffproduktion ergibt sich aus der Sauerstoffproduktion im Rahmen der Fotosynthese und dem Sauerstoffverbrauch durch Atmung.

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe I

Material 1

In Anlehnung an: Helmich, U. (2020) Lichtreaktion, Emerson-Effekt. <https://u-helmich.de/bio/stoffwechsel/reihe4/reihe42/422-Emersoneffekt.html> [abgerufen am: 18.01.2025]

Material 2

In Anlehnung an: Rauh, W. (1953) Zwei interessante einheimische Moose, in: Kosmos, Heft 9 (September 1953), Franck'sche Verlagshandlung Stuttgart, S. 395

Material 3

Neu erstellt nach Ton- und Lichtshow Origin. (o. D.). Grotte De Han. <https://grotte-de-han.be/de/tropfsteinhohle/origin> [abgerufen am: 18.01.2025]

Material 4

In Anlehnung an: Johnson, G. N. et al. (2000) Adaptations to extreme low light in the fern *Trichomanes speciosum*. New Phytologist, 148(3), 423–431. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00772.x>

Aufgabe II: Wirkungen von Neurotoxinen auf Synapsen

40 BE

Schwerpunkt: Informationsverarbeitung in Lebewesen

Natürlich vorkommende Neurotoxine finden sich bei verschiedenen Lebewesen. Diese Giftstoffe werden zur Jagd auf Beutetiere oder zur Abwehr von Fressfeinden eingesetzt. Untersuchungen zur Wirkweise dieser Giftstoffe können Aufschluss über die Funktionsweise von Ionenkanälen und Synapsen geben.

Teilaufgaben

- II.a Stellen Sie die Erregungsübertragung an einer erregenden chemischen Synapse ausgehend von einem ankommenden Aktionspotenzial als Fließschema dar. 8
- II.b Fassen Sie die in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Ergebnisse zusammen (M 1). Leiten Sie anhand der in den Abbildungen 1 und 2 dargestellten Ergebnisse ab, ob ω -Agatoxin an der Präsynapse oder an der Postsynapse wirkt (M 1). 8
- II.c Leiten Sie auf Basis von Abbildung 3 für beide Toxine die Wirkung auf die Erregungsübertragung an der Synapse sowie die Auswirkungen auf den Organismus ab (M 2). 8
- II.d Beurteilen Sie, ob die in Material 2 dargestellte Hypothese mit den in Abbildung 4 gezeigten Ergebnissen widerlegt werden kann (M 2). 6
- II.e Fassen Sie die in Abbildung 5 dargestellten Messergebnisse zusammen (M 3). Stellen Sie jeweils eine Hypothese zum Wirkmechanismus von ω -Agatoxin und ω -Conotoxin auf (M 3). 10

Anlage zur Aufgabe II: Wirkungen von Neurotoxinen auf Synapsen

Material 1 Die Wirkung von ω -Agatoxin auf Insekten

Zahlreiche Lebewesen produzieren Giftstoffe mit neurophysiologischer Wirkung, die für die Jagd auf Beutetiere genutzt werden. Dazu gehören auch die Spinnenart *Agelenopsis aperta* und Kegelschnecken der Gattung *Conus*.

A. aperta produziert unter anderem den Giftstoff Omega-Agatoxin, kurz ω -Agatoxin. Um den Wirkort von ω -Agatoxin an der Synapse zu untersuchen, wurden in einem Experiment Muskelzellen von Insekten verwendet. Dazu wurde das postsynaptische Potenzial ohne ω -Agatoxin und in Anwesenheit von ω -Agatoxin gemessen. Die Messung erfolgte jeweils nach elektrischer Reizung des präsynaptischen Neurons (Abb. 1).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Postsynaptisches Potenzial an Muskelzellen von Insekten nach elektrischer Reizung des präsynaptischen Neurons. A ohne ω -Agatoxin, B mit ω -Agatoxin

In einem weiteren Experiment wurde das postsynaptische Potenzial nach Zugabe des Neurotransmitters ohne elektrische Reizung des Neurons gemessen (Abb. 2).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: Postsynaptisches Potenzial an Muskelzellen von Insekten nach Zugabe des Neurotransmitters. A ohne ω -Agatoxin, B mit ω -Agatoxin

Material 2 Wirkungen von Giftstoffen auf Gehirnzellen von Ratten

Viele Giftstoffe wirken auch auf Neurone im Gehirn von Säugetieren. Zur Untersuchung solcher Wirkungen wurden Neuronen aus dem Kleinhirn von Ratten verwendet. Das Kleinhirn ist an der Steuerung von Muskelbewegungen beteiligt.

In einem ersten Experiment wurde zu diesen Neuronen entweder der Giftstoff ω -Agatoxin aus *A. aperta* oder der Giftstoff ω -Conotoxin aus Kegelschnecken gegeben. Bei diesem und im folgenden Experiment wurde jeweils eine Giftstoff-Konzentration eingesetzt, die eine maximale Wirkung auf den Calcium-Ionenstrom verursachte. Nach elektrischer Reizung wurden die präsynaptischen Calcium-Ionenströme gemessen und mit einer Kontrolle ohne Gifteinwirkung verglichen (Abb. 3).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 3: Relativer Calcium-Ionenstrom ohne Giftstoff und bei Anwesenheit von ω -Agatoxin oder ω -Conotoxin

Eine Synapse kann verschiedene Typen von spannungsgesteuerten Calciumionen-Kanälen besitzen, die sich in ihren neurophysiologischen Eigenschaften und ihren Reaktionen auf Giftstoffe unterscheiden. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass ω -Agatoxin und ω -Conotoxin auf unterschiedliche Typen von spannungsgesteuerten Calciumionen-Kanälen wirken.

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurden in einem zweiten Experiment Neuronen aus dem Gehirn der Ratte elektrisch gereizt und anschließend wieder der Calcium-Ionenstrom gemessen. Dabei wurde die Wirkung von drei verschiedenen Kombinationen der Giftstoffe untersucht. Bei den Kombinationen I und II wurde jeweils zunächst ein Giftstoff zugegeben und der Calcium-Ionenstrom gemessen (1. Gabe). Danach wurde zusätzlich jeweils der andere Giftstoff zugeben und erneut gemessen (2. Gabe). Bei Kombination III wurden beide Giftstoffe gleichzeitig zugegeben. Als Kontrolle wurde der Calcium-Ionenstrom an Neuronen ohne Giftstoff-Einwirkung gemessen (Abb. 4).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 4: Relativer Calcium-Ionenstrom ohne Giftstoff und bei unterschiedlichen Giftstoff-Kombinationen

Material 3 Wirkmechanismen von ω -Agatoxin und ω -Conotoxin

Spannungsgesteuerte Calciumionen-Kanäle bestehen aus Proteinen, deren Raumstruktur verschiedene Funktionsbereiche aufweist. Ein Bereich des Proteins formt eine zentrale Pore, durch die Ionen strömen können. Ein anderer Bereich fungiert als Spannungssensor, der die Spannungssteuerung des Calciumionen-Kanals ermöglicht. Der Spannungssensor löst beim Erreichen eines bestimmten Membranpotenzials die Öffnung der Pore aus. Unterschiede im Bereich des Spannungssensors sind die Ursache dafür, dass sich Ionenkanäle bei verschiedenen Membranpotenzialen öffnen. Beide Funktionsbereiche eines Ionenkanals können durch Giftstoffe beeinflusst werden, abhängig vom Wirkmechanismus des jeweiligen Giftstoffs.

In Experimenten wurden die Wirkmechanismen von ω -Agatoxin und ω -Conotoxin genauer untersucht. Dazu wurde in Anwesenheit von ω -Agatoxin oder von ω -Conotoxin die relative Leitfähigkeit von spannungsgesteuerten Calciumionen-Kanälen bei unterschiedlichen Membranpotenzialen gemessen. Zum Vergleich wurden die Leitfähigkeiten jeweils ohne Giftstoff ermittelt (Abb. 5). Die relative Leitfähigkeit gibt die Durchlässigkeit der Calciumionen-Kanäle für Calciumionen an. Bei einer relativen Leitfähigkeit von null Prozent sind alle Calciumionen-Kanäle geschlossen.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 5: Relative Leitfähigkeit von Calciumionen-Kanälen bei unterschiedlichen Membranpotenzialen und Anwesenheit von A ω -Agatoxin oder B ω -Conotoxin sowie jeweils ohne Giftstoff

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe II

Material 1

In Anlehnung an: Adams, M. E. (2004) Agatoxins: ion channel specific toxins from the american funnel web spider, *Agelenopsis aperta*. *Toxicon*, 43(5), 509–525.
<https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.02.004>

Material 2

In Anlehnung an: Mintz, I. M. et al. (1995) Calcium control of transmitter release at a cerebellar synapse. *Neuron*, 15(3), 675–688. [https://doi.org/10.1016/0896-6273\(95\)90155-8](https://doi.org/10.1016/0896-6273(95)90155-8)

Material 3

In Anlehnung an: Yousuf, A. et al. (2021) Venom-Derived Peptides Inhibiting Voltage-Gated Sodium and Calcium Channels in Mammalian Sensory Neurons. In: Zhou, L. (eds) *Ion Channels in Biophysics and Physiology*. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol 1349. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-16-4254-8_1

Aufgabe III: Polardorschbestand in der Arktis

40 BE

Schwerpunkt: Lebewesen in ihrer Umwelt

Der Polardorsch ist eine der am häufigsten vorkommenden Fischarten im Arktischen Ozean rund um den Nordpol. Er ist eine wichtige Nahrungsgrundlage für arktische Meeressäuger sowie für die Selbstversorgung der Inuit.

Teilaufgaben

- III.a Stellen Sie die Entwicklung des Polardorsches vom Ei bis zum adulten Tier unter Berücksichtigung des Alters und des bevorzugten Lebensraums in einem Fließschema dar (M 1). 8
- III.b Geben Sie eine Definition für die ökologische Nische an. Vergleichen Sie die ökologischen Nischen von Larven und Jungfischen des Polardorsches anhand von drei Kriterien (M 1). 9
- III.c Erläutern Sie mögliche Auswirkungen einer durch den Klimawandel bedingten Temperaturerhöhung des Meerwassers auf die Entwicklung der Eier und auf die ausgewachsenen Individuen des Polardorsches (M 1, M 2). 8
- III.d Stellen Sie eine Hypothese zu den Auswirkungen einer Dezimierung des Polardorschbestandes auf die Populationsdichte des Belugas auf (M 3). Stellen Sie zwei Hypothesen zu den Auswirkungen einer Dezimierung des Polardorschbestandes auf die Populationsdichte der Lodde auf (M 3). 9
- III.e Erläutern Sie die Bedeutung der Seegurken für das Nahrungsnetz im Ökosystem Arktis (M 3). 6

Anlage zur Aufgabe III: Polardorschbestand in der Arktis

Material 1 Entwicklungszyklus des Polardorsches

Der Polardorsch kommt im gesamten Arktischen Ozean vor und ist dort eine der häufigsten Fischarten. Diese Gewässer rund um den Nordpol sind vom Herbst bis zum Frühjahr mit Eis bedeckt. Alle Entwicklungsstadien des Polardorsches leben im Arktischen Ozean. Jedes Entwicklungsstadium hat eine spezifische Temperaturtoleranz (Tab. 1).

Entwicklungsstadium	Temperaturoptimum	Temperaturmaximum
Eier	-1,5 bis 2 °C	4 °C
Larven	-0,5 bis 4 °C	5 °C
Jungfische (jünger als 2 Jahre)	-1 bis 6 °C	12 °C
ausgewachsene Individuen (älter als 2 Jahre)	3 bis 10 °C	13 °C

Tabelle 1: Physiologische Temperaturtoleranz verschiedener Entwicklungsstadien des Polardorsches

Paarung und Eiablage finden ebenfalls in diesen kalten Gebieten statt. Die Eier des Polardorsches haben eine geringere Dichte als Wasser und steigen daher zur Meeresoberfläche auf. Die Eisdecke schützt im Frühjahr die Eier vor Fressfeinden, während in ihnen die Larven heranwachsen. Nach ca. 50 Tagen schlüpfen die Larven. Sie verbrauchen zuerst die gespeicherten Nährstoffe des eigenen Dottersackes. Nach ca. 20 Tagen sind diese aufgebraucht und die Larven ernähren sich von tierischen Kleinstlebewesen und deren Eiern unterhalb der Eisdecke. Die Entwicklung zum Fisch setzt ein, wenn die Larven ca. 30 mm groß sind.

Die Jungfische des Polardorsches verbringen ihr gesamtes erstes Jahr unter der Eisdecke und in Zwischenräumen, wo sie vor Fressfeinden und ihren räuberischen Eltern geschützt sind und tierisches Plankton fressen. Im Herbst des zweiten Jahres halten sich die heranwachsenden Jungfische bis zur Geschlechtsreife noch in den oberen Wasserschichten bis 50 m Tiefe auf, verlagern ihren Lebensraum aber mit zunehmendem Alter in immer tiefere Wasserschichten. Mit ca. 2 Jahren tritt die Geschlechtsreife ein. Die Tiere sind dann ca. 20 cm lang. Die ausgewachsenen Tiere leben ganzjährig bevorzugt in einer Tiefe von ca. 200 m.

Material 2 Meereisausdehnung in der Arktis

Die Polargebiete weisen eine niedrige durchschnittliche Lufttemperatur im gesamten Jahresverlauf auf. Dies beeinflusst die Wassertemperatur und die von Meereis bedeckte Fläche des Arktischen Ozeans. Die Meereisausdehnung in der Arktis schwankt im Laufe des Jahres. Am Ende des Winters ist die eisbedeckte Fläche des Meeres am größten und verringert sich dann im Laufe des Sommers. In Abbildung 1 ist die Meereisausdehnung für den Monat April eines jeden Jahres dargestellt.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Mittlere Meereisausdehnung in der Arktis, gemessen im April eines jeden Jahres

Material 3 Nahrungsnetz des Ökosystems Arktis

Die Arktis umfasst Lebensräume im Wasser und an Land. Diese sind über das Nahrungsnetz miteinander verbunden (Abb. 2). Die organischen Reste abgestorbener Meeresorganismen sammeln sich auf dem Meeresboden. Zu den dort vorkommenden Destruenten gehören Bodenbewohner, wie z. B. die Seegurken. Seegurken machen in der Tiefsee bis zu 90 % der bodennahen Biomasse aus. Sie bewegen sich über den Boden und nehmen Sedimente mit abgestorbenen organischen Bestandteilen, aber auch Plankton auf.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: Nahrungsnetz im Ökosystem Arktis

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe III

Material 1

In Anlehnung an: Geoffroy, M. et al. (2023) The circumpolar impacts of climate change and anthropogenic stressors on Arctic cod (*Boreogadus saida*) and its ecosystem. Elementa: Science of the Anthropocene, 11(1), 00097. <https://doi.org/10.1525/elementa.2022.00097>

Material 2

Meereisdaten von April 1979-2024 Trendkurven / Meereisportal. (o. D.). <https://www.meereisportal.de/karten-grafiken/trendkurven>, Förderung: REKLIM-2013-04 [abgerufen am: 27.01.2025]

In Anlehnung an: Spreen, G., et al. (2008) Sea ice remote sensing using AMSR-E 89-GHz channels. Journal Of Geophysical Research Atmospheres, 113(C2). <https://doi.org/10.1029/2005jc003384>

Material 3

Das Leben im Meer. World Ocean Review (o. D.). <https://worldoceanreview.com/de/wor-6/die-flora-und-fauna-der-polarregionen/das-leben-im-meer/> [abgerufen am 06.01.2025]

Holothuroidea de Blainville, 1834 in Döring M. (2022). German Wikipedia - Species Pages. Wikimedia Foundation. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/4wn9dt> accessed via GBIF.org on 2025-11-19.

Aufgabe IV: Pavianartige – Evolution und Sozialverhalten 40 BE

Schwerpunkt: Evolution als Ursache von Biodiversität

Die Verwandtschaftsgruppe der Pavianartigen (u. a. Pavian, Mandrill, Drill und Djelada) geht auf eine gemeinsame Stammart zurück. Mithilfe von DNA-Sequenzen wurden ihre Verwandtschaftsbeziehungen rekonstruiert. Innerhalb dieser Verwandtschaftsgruppe evolvierten bei den Djeladas Besonderheiten hinsichtlich ihres Lebensraumes, ihrer Ernährung und ihres Paarungssystems.

Teilaufgaben

- IV.a Erklären Sie mithilfe der synthetischen Evolutionstheorie, wie es zur Artaufspaltung in Drill und Mandrill gekommen ist (M 1). 7
- IV.b Begründen Sie die Abstammung der vier Pavianartigen von einer Stammart sowie die Verwandtschaft von Pavian und Djelada als Schwesterarten (M 2). 10
- IV.c Erläutern Sie, welchen Einfluss eine hohe reproduktive Fitness eines Individuums auf den Genpool einer Population hat.
Begründen Sie, warum die Merkmale von Djelada- und Pavianmännchen deren reproduktive Fitness beim jeweiligen Paarungssystem begünstigen könnten (M 3). 12
- IV.d Erklären Sie die Veränderung bezüglich der Fortpflanzung nach Kindstötungen bei Djelada-Weibchen auf physiologischer Ebene (proximate Erklärung) (M 4).
Erklären Sie die Entstehung des Verhaltensmusters der Kindstötungen durch Djelada-Männchen im Sinne der synthetischen Evolutionstheorie (ultimate Erklärung) (M 4). 11

Anlage zur Aufgabe IV: Pavianartige – Evolution und Sozialverhalten

Material 1 Die Schwesterarten Drill und Mandrill an der Westküste Zentralafrikas

Die Schwesterarten Drill und Mandrill gehen auf eine gemeinsame Stammart zurück, die als einheitliche Population beiderseits des Flusses Sanaga lebte. Vermutlich ist der Wasserstand des Sanaga noch zu Zeiten dieser gemeinsamen Stammart stark angestiegen, als sich das vormals trockene Klima zum heutigen feucht-tropischen Klima wandelte. Heute kommt der Drill nördlich und der Mandrill südlich des Sanaga vor (Abb. 1).

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 1: Verbreitungsgebiete von Drill und Mandrill an der Westküste Afrikas

Material 2 Stammesgeschichtliche Verwandtschaft bei Pavianartigen

Die Pavianartigen umfassen die vier Arten Pavian, Djelada, Mandrill und Drill. Zur Ermittlung ihrer Verwandtschaftsverhältnisse wurden umfangreiche homologe Abschnitte ihrer DNA sequenziert und verglichen (Tabelle 1). Die Makaken, nahe Verwandte der Pavianartigen, dienten als Außengruppe. Ihre DNA-Sequenz entspricht dem ursprünglichen Zustand bei der Stammart der Pavianartigen. Man erhielt den abgebildeten Stammbaum (Abb. 2).

Basenposition	6	7	8	...	94	95	96	...	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115
Makaken (Außengruppe)	C	A	C	...	T	C	T	...	T	T	C	C	T	A	G	T	A	T
Pavian	T	A	T	...	T	T	T	...	T	T	T	T	T	A	A	T	C	T
Djelada	T	A	T	...	T	T	T	...	T	T	T	C	T	A	A	T	C	T
Mandrill	T	A	T	...	T	C	T	...	C	T	T	C	T	A	G	T	C	C
Drill	T	A	T	...	T	C	T	...	C	T	T	C	T	A	G	T	C	C

Tabelle 1: Ausgewählte Positionen eines DNA-Abschnitts, der für die Cytochrom-C-Oxidase codiert. Unterschiede der Pavianartigen zu den Makaken (Außengruppe) durch **Fettdruck** hervorgehoben.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 2: Mit DNA-Sequenzen ermittelte Verwandtschaft der Pavianartigen, Außengruppe Makaken

Material 3 Paarungssysteme und Männchenmerkmale bei Pavianen und Djeladas

Alle Arten der Pavianartigen leben in Sozialverbänden. Bei den meisten Arten findet man in diesen Sozialverbänden das Paarungssystem der „Polygynandrie“. Dabei bilden mehrere Weibchen und mehrere Männchen einen Sozialverband. In einem solchen Sozialverband gelingt es den Männchen nicht, eines oder mehrere Weibchen bezüglich der Fortpflanzung zu kontrollieren. Weibchen kopulieren oft in kurzer Folge mit verschiedenen Männchen. Männchen agieren so, dass sie sich möglichst schnell und oft paaren.

Das Paarungssystem der Djeladas ist anders und innerhalb der Pavianartigen einzigartig. Sie haben im Laufe ihrer Evolution eine Polygynie entwickelt. Dabei lebt ein Männchen mit einer Weibchengruppe. Es kontrolliert diese und verteidigt sie gegenüber anderen Männchen. Diese anderen Männchen werden in räumlich getrennte Männchengruppen verdrängt.

Sowohl Polygynandrie als auch Polygynie korrelieren bei Männchen mit Merkmalen von Stärke (Körpergröße), Drohung (Eckzähne) und Fortpflanzung (Hodengröße bzw. Anzahl der Spermienzellen). Dies ist nicht nur bei Pavianartigen der Fall, sondern generell bei Primaten (Abb. 3). Das spricht dafür, dass diese Männchenmerkmale generell in dem jeweiligen Paarungssystem positiv selektiert werden.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 3: Durchschnittswerte für drei Merkmale bei polygynandrinen und polygynen Primatenarten im Vergleich

Material 4 Haremsübernahmen und Kindstötungen durch Djelada-Männchen

Ein Djelada-Männchen kann von einem anderen Männchen verdrängt werden. Dieses übernimmt dann die Weibchengruppe. Das neue Männchen tötet häufig einen Teil der Jungtiere, insbesondere sehr junge. Die Stillzeit der Weibchen, die gewöhnlich eineinhalb Jahre beträgt, wird abrupt unterbrochen. Das Stillen ist ein wichtiger Teil des hormonellen Regulationsgeschehens bei Weibchen nach der Geburt (Abb. 4).

Freilanduntersuchungen an Djeladas ergaben, dass die durchschnittliche Geburtenpause bei Weibchen, die ihr Kind durch Kindstötung verlieren, bei 1,2 Jahren liegt. Bei Weibchen, die ihr Kind normal abstillen, liegt der Durchschnitt bei 2,5 Jahren.

Die Abbildung wurde aus urheberrechtlichen Gründen entfernt.

Abb. 4: Bedeutung des Stillens im Zusammenhang mit der hormonellen Regulation beim Weibchen.
Symbole: + = fördert; – = hemmt

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Aufgabe IV

Material 1

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Mandrillus_leucophaeus?uselang=de#/media/File:Cynocephalus_leucophaeus_-_1809-1845_-_Print_-_Iconographia_Zoologica_-_Special_Collections_University_of_Amsterdam_-_UBA01_IZ19800029.tif

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Mandrillus_illustrations?uselang=de#/media/File:Cynocephalus_mormon_-_1809-1845_-_Print_-_Iconographia_Zoologica_-_Special_Collections_University_of_Amsterdam_-_UBA01_IZ20100082.tif

Material 2

Verändert nach: Disotell T. R. et al. (1992) Mitochondrial DNA Phylogeny of the Old-World Monkey Tribe Papionini. *Mol. Biol. Evol.* 9: 1-13; Fig. 1, S. 6;
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040700>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cynocephalus_hamadryas_-_1818-1842_-_Print_-_Iconographia_Zoologica_-_Special_Collections_University_of_Amsterdam_-__\(white_background\).tif?uselang=de](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cynocephalus_hamadryas_-_1818-1842_-_Print_-_Iconographia_Zoologica_-_Special_Collections_University_of_Amsterdam_-__(white_background).tif?uselang=de)

[https://de.wikipedia.org/wiki/Dschelada#/media/Datei:Neue_Wirbelthiere_zu_der_Fauna_von_Abyssinien_gehörig_\(1835\)_Theropithecus_gelada.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Dschelada#/media/Datei:Neue_Wirbelthiere_zu_der_Fauna_von_Abyssinien_gehörig_(1835)_Theropithecus_gelada.png)

Material 3

In Anlehnung an: Kappeler P. M. (2020) Verhaltensbiologie. Springer; S. 403, Abb. 13.18

Material 4

In Anlehnung an: Beehner J. C., Bergman T. J. (2008) Infant Mortality Following Male Takeovers in Wild Geladas. *Amer J Primatol* 70:1152–1159; doi: 10.1002/ajp.20614, dort Fig. 2

Foto: Winkelmann, R.; frei gemäß Pixabay- Inhaltslizenz (<https://pixabay.com/de/photos/pavian-affetier-zoo-natur-3708664/>)