



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Thema: Springspinnen hören mit den Haaren

1. Fassen Sie die in Abbildung 1 gezeigten Ergebnisse zusammen und werten Sie diese kurz aus (Material A). Erläutern Sie, inwiefern das Hörvermögen bei *Phidippus audax* zum Schutz vor Fressfeinden beitragen kann (Material A). (14 Punkte)
2. Erläutern Sie die molekularen Prozesse der Signaltransduktion am Trichobothrium der Springspinne und skizzieren Sie ein typisches Rezeptorpotenzial (Material B). Fassen Sie die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen und deuten Sie diese unter Berücksichtigung der Verschaltung von Neuronen und der Verrechnung von Potenzialen (Materialien B und C). (28 Punkte)
3. Erläutern Sie auf der Basis aller Materialien die Bedeutung der verbesserten akustischen Wahrnehmung bei *P. audax* aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A bis C). (12 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Material A: *Phidippus audax* reagiert auf verschiedene Reize

Die Springspinne *Phidippus audax* gehört zu einer Gruppe von Spinnen, die ihre Beute aktiv jagen, indem sie dazu ihre ausgezeichnete optische Wahrnehmung nutzen. Diese Spinnen können ihre Umwelt in einem Umkreis von etwa 30 Zentimetern in scharfen Formen sehen. Durch gezieltes Anspringen werden zum Beispiel Fliegen aus der Luft gefangen. Vibrationen des Untergrundes können Springspinnen wie viele andere Spinnen sehr gut mithilfe von Tasthaaren bemerken. Luftbewegungen, zu denen auch Schallwellen gehören, werden mithilfe spezialisierter Tasthaare (Trichobothrien) wahrgenommen. Um das Hörvermögen genauer zu untersuchen, wurde die Springspinne *P. audax* wiederholt mit Tönen verschiedener Frequenzen beschallt und ihre Verhaltensweisen wie Ducken, Erstarren, Laufen und Drehen wurden beobachtet (Abb. 1). Die Frequenz von Tönen ist ein Maß für die Tonhöhe und wird in Hertz (Hz) angegeben.

Das Erstarren, die Schreckstarre, ist eine häufige Reaktion von Spinnen bei Anwesenheit von Fressfeinden und täuscht den Angreifer. Populationen von *P. audax* werden zum Beispiel durch räuberische Wespen dezimiert. Deren Fluggeräusche liegen im Frequenzbereich von etwa 80 Hertz.

Auch potenzielle Beutetiere von Springspinnen – wie zum Beispiel Fliegen – erzeugen abhängig von ihrer Körpergröße und der Rate ihres Flügelschlags Fluggeräusche in Frequenzbereichen um 80 Hertz.

Das Paarungsverhalten bei Springspinnen umfasst einen komplexen Ablauf ritualisierter Kommunikation zwischen Männchen und Weibchen. Hier spielen Bewegungsabläufe, Winken mit den Beinen, Trommeln auf den Untergrund und die Erzeugung artspezifischer akustischer Signale eine wichtige Rolle.

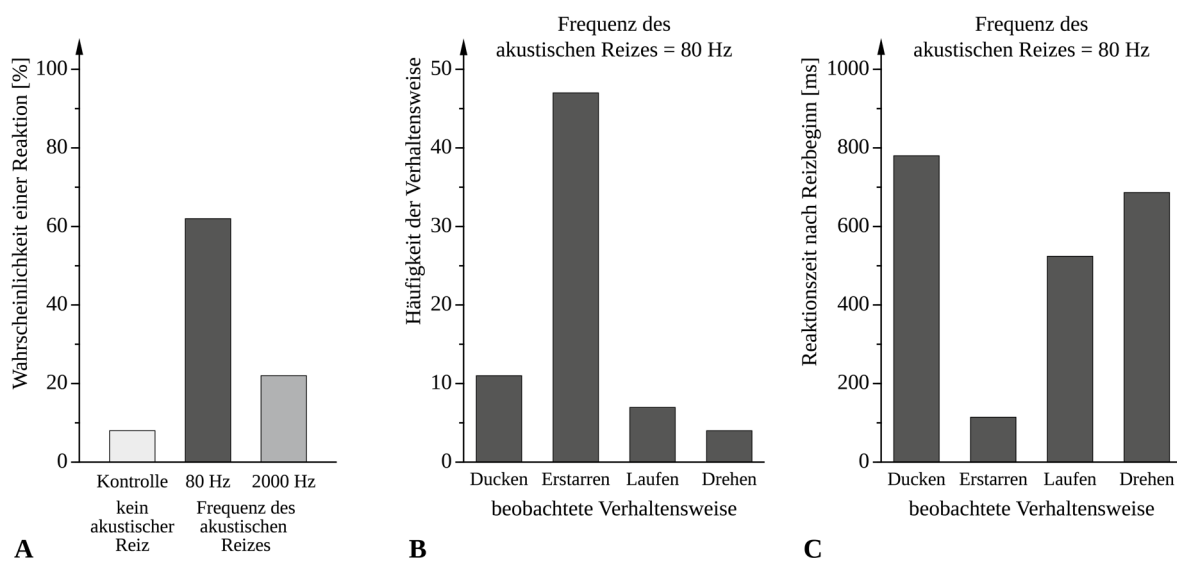
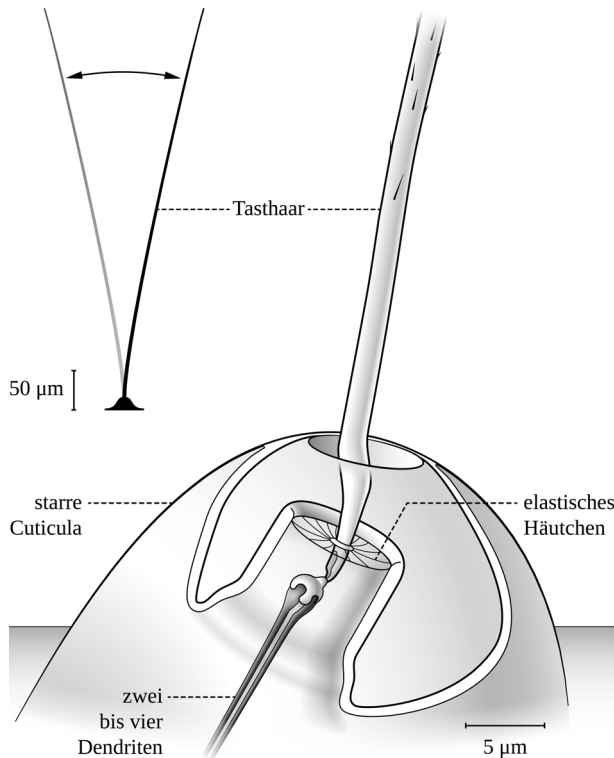


Abbildung 1 Ergebnisse der Beschallung von *Phidippus audax*. **A** Abhängigkeit der Wahrscheinlichkeit einer Reaktion von der Frequenz; **B** Häufigkeit der jeweils beobachteten Verhaltensweise; **C** Reaktionszeit nach Reizbeginn

Name: _____

Material B: Trichobothrien bei Springspinnen



Trichobothrien dienen als spezialisierte Tasthaare bei Springspinnen der Wahrnehmung von Luftbewegungen. Wird das Haar bewegt, führt dies zu einer Aktivierung mechanosensitiver Natriumionen-Kanäle in der Spitze der Dendriten. Jeder einzelne Dendrit der zwei bis vier Dendriten gehört zu je einer primären Sinneszelle.

Die primären Sinneszellen können Aktionspotenziale erzeugen und leiten die Erregungen über synaptische Verschaltungen mit verschiedenen Zwischenneuronen zum Zentralnervensystem (Gehirn) der Spinne. Abhängig vom Feinbau und der Länge der Trichobothrien sind diese für unterschiedliche Frequenzen besonders empfindlich.

Abbildung 2 Trichobothrium bei Springspinnen.
1 µm (Mikrometer) sind $1 \cdot 10^{-6}$ m (Meter)

Material C: Neurophysiologische Experimente bei *Phidippus audax*

Intrazelluläre Ableitungen an mehreren Neuronen aus dem Gehirn der Springspinne *P. audax* wurden bei akustischer Reizung mit Tönen einer Frequenz von 80 Hertz bei verschiedenen Schalldruckpegeln durchgeführt. Der Schalldruckpegel ist ein Maß für die Lautstärke und wird in Dezibel (dB) angegeben. Eine neuronale Reaktion konnte auch bei einem Abstand von drei Metern zwischen Schallquelle und Springspinne noch gemessen werden. Bislang war bei Spinnen nur eine akustische Wahrnehmung im Umkreis von rund 70 Zentimetern beschrieben worden.

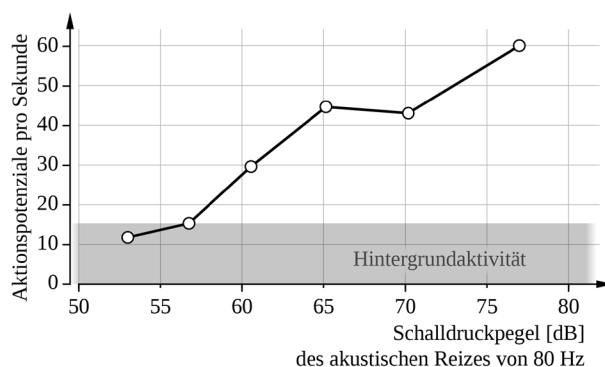


Abbildung 3 Intrazelluläre Ableitungen von Potenzialen im Gehirn von *Phidippus audax*.
Mittlere Häufigkeit der Aktionspotenziale bei einer Reizfrequenz von 80 Hertz und unterschiedlichen Schalldruckpegeln.

Unterlagen für die Lehrkraft**Abiturprüfung 2019****Biologie, Grundkurs****1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹**Thema: Springspinnen hören mit den Haaren**

1. Fassen Sie die in Abbildung 1 gezeigten Ergebnisse zusammen und werten Sie diese kurz aus (Material A). Erläutern Sie, inwiefern das Hörvermögen bei *Phidippus audax* zum Schutz vor Fressfeinden beitragen kann (Material A). (14 Punkte)
2. Erläutern Sie die molekularen Prozesse der Signaltransduktion am Trichobothrium der Springspinne und skizzieren Sie ein typisches Rezeptorpotenzial (Material B). Fassen Sie die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen und deuten Sie diese unter Berücksichtigung der Verschaltung von Neuronen und der Verrechnung von Potenzialen (Materialien B und C). (28 Punkte)
3. Erläutern Sie auf der Basis aller Materialien die Bedeutung der verbesserten akustischen Wahrnehmung bei *P. audax* aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A bis C). (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material A
Abbildung 1: verändert nach Shamble et al., 2016, Abb. 1, S. 2
- Material B
Abbildung 2: eigene Darstellung nach Reissland & Görner, 1985, Abb. 2c und 3, S. 142 und S. 143
- Material C
Abbildung 3: verändert nach Shamble et al., 2016, Abb. 2C (4), S. 3
- Barth, F. G. (2004). Spider mechanoreceptors. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(4), 415–422. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2004.07.005>
- Barth, F. G. (2016). A Spider's Tactile Hairs. In *Scholarpedia of Touch* (S. 65–81). Atlantis Press, Paris. https://doi.org/10.2991/978-94-6239-133-8_4
- *Phidippus audax*. (2016). In *Wikipedia*. Abgerufen von https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Phidippus_audax&oldid=159544428

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Reissland, A. & Görner, P. (1985). Trichobothria. In *Neurobiology of Arachnids* (S. 138–161). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-70348-5_8
- Shamble, P. S., Menda, G., Golden, J. R., Nitzany, E. I., Walden, K., ... Hoy, R. R. (2016). Airborne Acoustic Perception by a Jumping Spider. *Current Biology*, 26(0), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.08.041>

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2019

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte

Neurobiologie

- Aufbau und Funktion von Neuronen
- Neuronale Informationsverarbeitung und Grundlagen der Wahrnehmung

Evolution

- Grundlagen evolutiver Veränderung
- Evolution und Verhalten

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

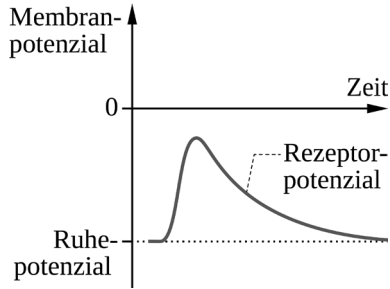
- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen**Teilleistungen – Kriterien****a) inhaltliche Leistung****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	fasst die in Abbildung 1 gezeigten Ergebnisse zusammen (Material A), z. B.: • 80 Hertz sind eine wirksame Frequenz im Vergleich zu 0 Hertz oder 2000 Hertz, da eine Reaktionswahrscheinlichkeit von 60 % auftritt. • Erstarren erweist sich bei 80 Hertz als häufigste Reaktion im Vergleich zu den anderen Verhaltensweisen. • Erstarren hat die kürzeste Reaktionszeit mit etwa 100 Millisekunden im Vergleich zu den anderen beobachteten Verhaltensweisen nach einem akustischen Reiz von 80 Hertz.	8
2	wertet diese kurz aus (Material A), z. B.: • Ein akustischer Reiz einer Frequenz von 80 Hertz führt zur Schreckstarre bei <i>Phidippus audax</i>, was aufgrund der ermittelten Reaktionszeit eine spezifische Reaktion auf den Reiz darstellt.	2
3	erläutert, inwiefern das Hörvermögen bei <i>Phidippus audax</i> zum Schutz vor Fressfeinden beitragen kann (Material A), z. B.: • Die Fluggeräusche räuberischer Wespen liegen bei einer Frequenz von etwa 80 Hertz. Sie können von der Springspinne gehört werden und zur Schreckstarre führen. • Die Schreckstarre dient der Täuschung der Wespen und könnte eine erfolgreiche Strategie zur Verringerung des Feinddrucks sein.	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert die molekularen Prozesse der Signaltransduktion am Trichobothrium der Springspinne (Material B), z. B.: • Bei Auslenkung des Tasthaares werden die Natriumionen-Kanäle der Dendritenspitzen durchlässig für Natriumionen. Diese strömen entlang ihres Konzentrationsgefälles in die Dendritenspitze und erzeugen ein Rezeptorpotenzial (Depolarisation). • Spannungsabhängige Natriumionen-Kanäle werden durch die Depolarisation aktiviert und öffnen sich, weitere Natriumionen strömen ein. • Erreicht das Rezeptorpotenzial den Schwellenwert, werden Aktionspotenziale erzeugt und über die Membran der primären Sinneszelle weitergeleitet.	6

2	skizziert ein typisches Rezeptorpotenzial (Material B), z. B.:  (Alternative fachlich korrekte Darstellungen sind entsprechend zu bewerten.)	6
3	fasst die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen, z. B.: • Die Hintergrundaktivität der untersuchten Neuronen liegt bei etwa 15 Aktionspotenzialen pro Sekunde. • Bei einer Frequenz von 80 Hertz sind bei 61 Dezibel Schalldruckpegel etwa 30 Aktionspotenziale pro Sekunde in Neuronen im Gehirn von <i>P. audax</i> messbar. • Die Anzahl der Aktionspotenziale pro Sekunde nimmt mit zunehmendem Schalldruckpegel (annähernd linear) zu und erreicht bei etwa 77 Dezibel einen Wert von 60 Potenzialen pro Sekunde.	6
4	deutet diese unter Berücksichtigung der Verschaltung von Neuronen und der Verrechnung von Potenzialen (Materialien B und C), z. B.: • Eine Erhöhung der Reizstärke, hier des Schalldruckpegels, bewirkt ein stärkeres Rezeptorpotenzial in der Sinneszelle. Daher wird der Schwellenwert zur Erzeugung von Aktionspotenzialen länger überschritten, sodass eine höhere Frequenz von Aktionspotenzialen die Folge ist. • Die von den primären Sinneszellen erzeugten Aktionspotenziale werden über synaptische Verbindungen an Zwischenneuronen und schließlich zum Gehirn weitergeleitet. (Die Erklärung der analogen und digitalen Codierung stellt ggf. ein zusätzliches aufgabenbezogenes Kriterium dar.)	4
5	deutet diese unter Berücksichtigung der Verschaltung von Neuronen und der Verrechnung von Potenzialen (Materialien B und C), z. B.: • Durch räumliche und zeitliche Summation bei der Verschaltung auf Zwischenneuronen kann eine Verstärkung der empfangenen Signale erfolgen, sodass auch weit entfernte Schallquellen wahrgenommen werden können. • Die besonders hohe Empfindlichkeit der akustischen Wahrnehmung bei <i>P. audax</i> kann durch die Summation der Rezeptorpotenziale der Dendriten einer Sinneszelle sowie die Konvergenz bei der Verschaltung von Sinneszellen und Zwischenneuronen erreicht werden. • Der Feinbau und die Länge der Trichobothrien bei <i>P. audax</i> muss so gestaltet sein, dass eine erhöhte Empfindlichkeit im Frequenzbereich von etwa 80 Hertz ermöglicht wird.	6
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert auf der Basis aller Materialien die Bedeutung der verbesserten akustischen Wahrnehmung bei <i>P. audax</i> aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A bis C), z. B.: • Die verbesserte akustische Wahrnehmung bedeutet Selektionsvorteile für die Springspinne, wenn sie vor Fressfeinden gewarnt wird und diese durch die Schreckstarre täuschen kann. • Auch eine verbesserte Wahrnehmung von anfliegender Beute, die in einem größeren Umkreis von bis zu drei Metern akustisch geortet werden kann, bedeutet Selektionsvorteile bei der Jagd. Falls die Beute zunächst akustisch wahrgenommen wird, könnte anschließend die optische Wahrnehmung im Umkreis von 30 Zentimetern erfolgen. • Im Bereich der intraspezifischen Kommunikation im Zusammenhang mit dem Balzritual könnte die verbesserte, artspezifische akustische Kommunikation dazu führen, dass die Paarungspartner erfolgreicher sind.	8
2	erläutert auf der Basis aller Materialien die Bedeutung der verbesserten akustischen Wahrnehmung bei <i>P. audax</i> aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A bis C), z. B.: • Aufgrund der Selektionsvorteile können Springspinnen mit verbesserter akustischer Wahrnehmung vermehrt ihre Allele in den Genpool der Folgegeneration einbringen und so ihre reproduktive Fitness erhöhen. • Aufgrund sexueller Selektion könnte die Evolution der akustischen Wahrnehmung bei <i>P. audax</i> beschleunigt werden.	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	• führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus. • strukturiert seine Darstellung sachgerecht. • verwendet eine differenzierte und präzise Sprache. • gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.	6

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

a) inhaltliche Leistung**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität ²			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	fasst zusammen ...	8			
2	wertet kurz aus ...	2			
3	erläutert ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	14			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert ...	6			
2	skizziert ...	6			
3	fasst zusammen ...	6			
4	deutet ...	4			
5	deutet ...	6			
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	28			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert ...	8			
2	erläutert ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	12			

	Summe der 1., 2. und 3. Teilaufgabe	54			
--	--	-----------	--	--	--

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	• führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ...	6			
	Summe Darstellungsleistung	6			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	60			
--	---	-----------	--	--	--

Festlegung der Gesamtnote

(Bitte nach der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
Übertrag der Punktsumme aus der ersten bearbeiteten Aufgabe	60			
Übertrag der Punktsumme aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	60			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	120			

aus der Punktsumme resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle			
Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST			
Paraphe			

Berechnung der Endnote nach Anlage 4 der Abiturverfügung auf der Grundlage von § 34 APO-GOST

Die Klausur wird abschließend mit der Note _____ (____ Punkte) bewertet.

Unterschrift, Datum:

Grundsätze für die Bewertung (Notenfindung)

Für die Zuordnung der Notenstufen zu den Punktzahlen ist folgende Tabelle zu verwenden:

Note	Punkte	Erreichte Punktzahl
sehr gut plus	15	120 – 114
sehr gut	14	113 – 108
sehr gut minus	13	107 – 102
gut plus	12	101 – 96
gut	11	95 – 90
gut minus	10	89 – 84
befriedigend plus	9	83 – 78
befriedigend	8	77 – 72
befriedigend minus	7	71 – 66
ausreichend plus	6	65 – 60
ausreichend	5	59 – 54
ausreichend minus	4	53 – 48
mangelhaft plus	3	47 – 40
mangelhaft	2	39 – 33
mangelhaft minus	1	32 – 24
ungenügend	0	23 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Thema: Die Evolution der Stumpfnasenaffen

1. Erklären Sie, wie mithilfe von DNA-Sequenzen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Lebewesen analysiert und dargestellt werden können. Fassen Sie die in Abbildung 1 dargestellte wahrscheinliche Entwicklungsgeschichte der Stumpfnasenaffen zusammen und skizzieren Sie auf dieser Grundlage einen Stammbaum für die genannten Arten (Material A, Abbildung 2). Stellen Sie für die Burmesische Stumpfnase und die Schwarze Stumpfnase einen denkbaren Artbildungsprozess dar (Material A).
(26 Punkte)
2. Ermitteln Sie für die gezeigten Aminosäuresequenzen der beiden RNASE4-Varianten jeweils eine mögliche codogene DNA-Sequenz und nennen Sie begründend den vorliegenden Mutationstyp (Materialien B und C). Erläutern Sie unter besonderer Berücksichtigung von Abbildung 3 die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid (Material B).
(18 Punkte)
3. Entwickeln Sie auf der Grundlage aller Materialien und unter Angabe von konkreten Evolutionsfaktoren eine Hypothese zur Artbildung von Goldstumpfnase und Grauer Stumpfnase.
(10 Punkte)

Zugelassene Hilfsmittel:

- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: _____

Material A: Verbreitung und Entwicklungsgeschichte der Stumpfnasennaffen

Die Gattung der Stumpfnasennaffen (*Rhinopithecus*) umfasst fünf Arten, die in Gebirgswäldern Chinas, Tibets, Vietnams und Myanmars vorkommen. Alle fünf Arten sind sehr selten und gehören zu den am stärksten bedrohten Primatenarten der Erde. Drei Arten, die Goldstumpfnase (*R. roxellana*), die Schwarze Stumpfnase (*R. bieti*) und die erst vor wenigen Jahren entdeckte Burmesische Stumpfnase (*R. strykeri*) bewohnen hochgelegene Habitate (3000 bis 4500 m), während die Graue Stumpfnase (*R. brelichi*) und die Tonkin-Stumpfnase (*R. avunculus*) in Gebieten unterhalb 2000 m leben. Die Verbreitungsgebiete der Burmesischen Stumpfnase und der Schwarzen Stumpfnase werden durch die Flüsse Salween und Mekong voneinander getrennt (Abbildung 1E).

Forscher untersuchten mithilfe von mitochondrialer DNA die Verwandtschaftsbeziehungen der Stumpfnasennaffen. Aus den ermittelten Daten, Fossilfinden und den heutigen Verbreitungsgebieten rekonstruierten sie eine mögliche Entwicklungsgeschichte der Stumpfnasennaffen:

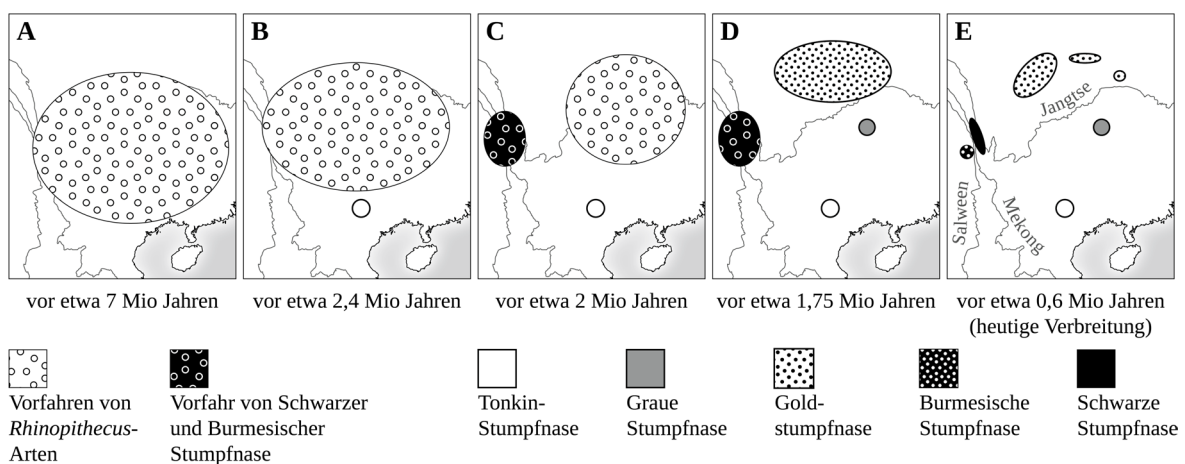


Abbildung 1 Mögliche Entwicklungs- und Verbreitungsgeschichte heute lebender Stumpfnasennaffen sowie deren Vorfahren in Südostasien

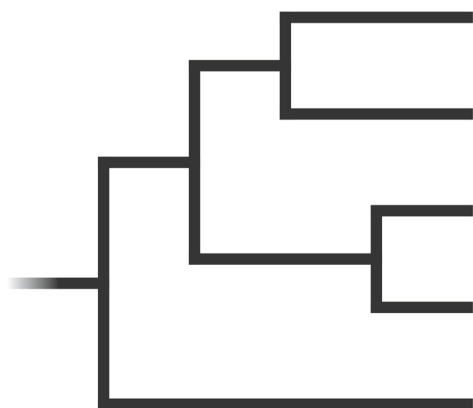


Abbildung 2 Stammbaumvorlage zur Darstellung der Verwandtschaftsverhältnisse bei Stumpfnasennaffen



Name: _____

Material B: Angepasstheit an ein Leben in der Höhe

In sehr hoch gelegenen Habitaten herrschen extreme Umweltbedingungen, z. B. eine höhere UV-Belastung und ein geringerer Sauerstoffgehalt der Luft. Die Sauerstoffversorgung der Gewebe ist u. a. abhängig von der Sauerstoffbindefähigkeit des Hämoglobins, der Zahl der Roten Blutzellen und der Dichte der Blutgefäße. Ein Protein, das die Bildung von Blutgefäßen bewirkt, ist das Protein RNASE4. Biologen verglichen die Aminosäuresequenz des Proteins RNASE4 bei den fünf Stumpfnasensaffenarten (Tabelle 1). Bei Stumpfnasensaffen kommen in Bezug auf den gezeigten Ausschnitt aus der Aminosäuresequenz zwei Varianten vor. Die Variante 1 tritt auch bei vielen anderen Säugetierarten (z. B. bei Menschen, Hunden und Makaken) auf.

Tabelle 1 Ausschnitt aus der Aminosäuresequenz von zwei Varianten des Proteins RNASE4 bei verschiedenen Stumpfnasensaffenarten

RNASE4-Variante	Aminosäuresequenz					Arten
	88	89	90	91	92	
Variante 1	– Thr	– Asn	– Ile	– Glu	– Cys	Tonkin-Stumpfnase, Graue Stumpfnase
Variante 2	– Thr	– Lys	– Ile	– Glu	– Cys	Goldstumpfnase, Schwarze Stumpfnase, Burmesische Stumpfnase

Um Hinweise über die Funktion der RNASE4-Varianten bei Stumpfnasensaffen zu erhalten, untersuchten die Forscher die Fähigkeit von besonderen Zelllinien, Blutgefäß-ähnliche Strukturen zu bilden, wenn entweder eine der beiden Varianten des Proteins RNASE4 oder ein Kontrollprotein, das keinen Einfluss auf die Blutgefäßbildung hat, in den Zellen vorhanden war.

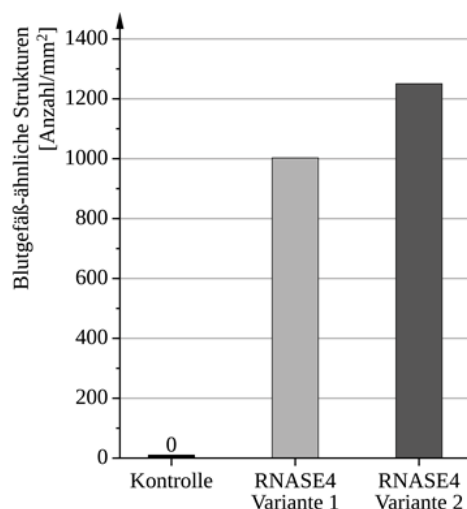
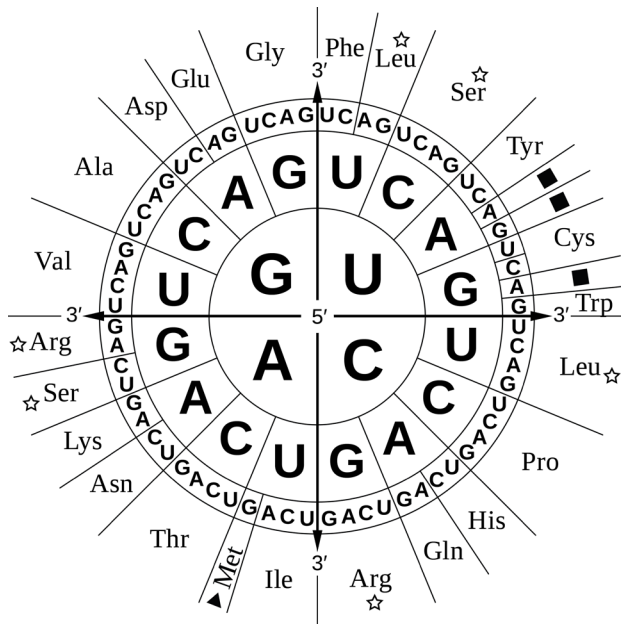


Abbildung 3 Anzahl an Blutgefäß-ähnlichen Strukturen bei drei verschiedenen Zelllinien in einer Zellkultur



Name: _____

Material C: Codesonne und Tabelle zum genetischen Code



► Start-Codon

■ Stopp-Codon

☆ zweimal auftretende Aminosäure

Ala	Alanin
Arg	Arginin
Asn	Asparagin
Asp	Asparaginsäure
Cys	Cystein
Gln	Glutamin
Glu	Glutaminsäure
Gly	Glycin
His	Histidin
Ile	Isoleucin
Leu	Leucin
Lys	Lysin
Met	Methionin
Phe	Phenylalanin
Pro	Prolin
Ser	Serin
Thr	Threonin
Trp	Tryptophan
Tyr	Tyrosin
Val	Valin

Erste Base 5'	Zweite Base				Dritte Base 3'
	U	C	A	G	
U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
	Phe	Ser	Tyr	Cys	C
	Leu	Ser	■	■	A
	Leu	Ser	■	Trp	G
C	Leu	Pro	His	Arg	U
	Leu	Pro	His	Arg	C
	Leu	Pro	Gln	Arg	A
	Leu	Pro	Gln	Arg	G
A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
	Ile	Thr	Asn	Ser	C
	Ile	Thr	Lys	Arg	A
	► Met	Thr	Lys	Arg	G
G	Val	Ala	Asp	Gly	U
	Val	Ala	Asp	Gly	C
	Val	Ala	Glu	Gly	A
	Val	Ala	Glu	Gly	G

*Unterlagen für die Lehrkraft***Abiturprüfung 2019***Biologie, Grundkurs***1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹**Thema: Die Evolution der Stumpfnasaffen**

1. Erklären Sie, wie mithilfe von DNA-Sequenzen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Lebewesen analysiert und dargestellt werden können. Fassen Sie die in Abbildung 1 dargestellte wahrscheinliche Entwicklungsgeschichte der Stumpfnasaffen zusammen und skizzieren Sie auf dieser Grundlage einen Stammbaum für die genannten Arten (Materialien A und B). Stellen Sie für die Burmesische Stumpfnase und die Schwarze Stumpfnase einen denkbaren Artbildungsprozess dar (Material A).
(26 Punkte)
2. Ermitteln Sie für die gezeigten Aminosäuresequenzen der beiden RNASE4-Varianten jeweils eine mögliche codogene DNA-Sequenz und nennen Sie begründend den vorliegenden Mutationstyp (Materialien C und D). Erläutern Sie unter besonderer Berücksichtigung von Abbildung 3 die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid (Material C).
(18 Punkte)
3. Entwickeln Sie auf der Grundlage aller Materialien und unter Angabe von konkreten Evolutionsfaktoren eine Hypothese zur Artbildung von Goldstumpfnase und Grauer Stumpfnase.
(10 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material A
Abbildung 1 eigene Darstellung unter Verwendung von: Liedigk et al., 2012, Abb. 4, S. 6 und Tab. 1, S. 5; Clift et al., 2008, Abb. 16, S. 23; Hoang et al., 2009, Abb. 8, S. 14; Liang et al., 2008, Abb. 7, S. 635
- Material B
Abbildung 2 eigene Darstellung
- Material C
Tabelle 1 zusammengestellt aus: Yu et al., 2016, Abb. 4a, S. 950
Abbildung 3 verändert nach: Yu et al., 2016, Abb. 4g, S. 950

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Clift, P. D., Long, H. V., Hinton, R., Ellam, R. M., Hannigan, R., ... Duc, N. A. (2008). Evolving east Asian river systems reconstructed by trace element and Pb and Nd isotope variations in modern and ancient Red River-Song Hong sediments. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 9(4), 1–29. <https://doi.org/10.1029/2007GC001867>
- Geissmann, T., Lwin, N., Aung, S. S., Aung, T. N., Aung, Z. M., ... Momberg, F. (2011). A new species of snub-nosed monkey, genus *Rhinopithecus* Milne-Edwards, 1872 (Primates, Colobinae), from northern Kachin state, northeastern Myanmar. *American Journal of Primatology*, 73(1), 96–107. <https://doi.org/10.1002/ajp.20894>
- Hoang, L. van, Wu, F.-Y., Clift, P. D., Wysocka, A. & Swierczewska, A. (2009). Evaluating the evolution of the Red River system based on in situ U-Pb dating and Hf isotope analysis of zircons. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10(11), 1–20. <https://doi.org/10.1029/2009GC002819>
- Liang, Y.-H., Chung, S.-L., Liu, D., Xu, Y., Wu, F.-Y., ... Lo, C.-H. (2008). Detrital zircon evidence from Burma for reorganization of the eastern Himalayan river system. *American Journal of Science*, 308(4), 618–638. <https://doi.org/10.2475/04.2008.08>
- Liedigk, R., Yang, M., Jablonski, N. G., Momberg, F., Geissmann, T., ... Roos, C. (2012). Evolutionary History of the Odd-Nosed Monkeys and the Phylogenetic Position of the Newly Described Myanmar Snub-Nosed Monkey *Rhinopithecus strykeri*. *PLoS ONE*, 7(5), e37418 1-9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037418>
- Yu, L., Wang, G.-D., Ruan, J., Chen, Y.-B., Yang, C.-P., ... Zhang, Y.-P. (2016). Genomic analysis of snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus*) identifies genes and processes related to high-altitude adaptation. *Nature Genetics*, 48(8), 947–952. <https://doi.org/10.1038/ng.3615>
- Zhou, X., Wang, B., Pan, Q., Zhang, J., Kumar, S., ... Li, M. (2014). Whole-genome sequencing of the snub-nosed monkey provides insights into folivory and evolutionary history. *Nature Genetics*, 46(12), 1303–1310. <https://doi.org/10.1038/ng.3137>

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2019

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf. Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte

Evolution

- Grundlagen evolutiver Veränderung
- Art und Artbildung
- Stammbäume

Genetik

- Proteinbiosynthese

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

Teilleistungen – Kriterien

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erklärt, wie mithilfe von DNA-Sequenzen Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Lebewesen analysiert und dargestellt werden können, z. B.: - Die DNA ist der Träger der Erbinformation, auf deren Grundlage merkmalsbildende Proteine gebildet werden. - Je ähnlicher die DNA-Sequenzen sind, desto näher verwandt sind die Arten. Je mehr Abweichungen in den Sequenzen der Vergleichsarten auftreten, desto mehr Mutationen sind seit der Trennung der beiden Arten aufgetreten, d. h. desto mehr Zeit ist seit der Trennung vergangen. - Auf dieser Grundlage können Stammbäume erstellt werden, welche die Verwandtschaftsbeziehungen widerspiegeln.	6
2	fasst die in Abbildung 1 dargestellte wahrscheinliche Entwicklungsgeschichte der Stumpfnasennaffen zusammen (Materialien A und B), z. B.: - Vor etwa 7 Mio. Jahren lebte in Südostasien eine Vorläuferart der heutigen Stumpfnasennaffen. - Aus dieser Art spalteten sich die Vorläuferarten der heutigen Stumpfnasennaffen nacheinander ab: - Im südlichen Verbreitungsgebiet entstand die Tonkin-Stumpfnase. - Im westlichen Verbreitungsgebiet entwickelten sich vor mehr als 600.000 Jahren die Schwarze Stumpfnase und die Burmesische Stumpfnase. - Die Verbreitungsgebiete der Grauen Stumpfnase und der Goldstumpfnase werden u. a. durch den Jangtse getrennt. Die beiden Arten bildeten sich vor mehr als 1,75 Mio. Jahren aus einem gemeinsamen Vorfahren.	4
3	skizziert auf dieser Grundlage einen Stammbaum für die genannten Arten (Materialien A und B), sinngemäß: (Vergleichbare gespiegelte Darstellungen bei Goldstumpfnase und Grauer Stumpfnase bzw. bei Schwarzer Stumpfnase und Burmesischer Stumpfnase sind ebenfalls zu werten.)	6

4	stellt für die Burmesische Stumpfnase und die Schwarze Stumpfnase einen denkbaren Artbildungsprozess dar (Material A), z. B.: - Die beiden Arten Burmesische Stumpfnase und Schwarze Stumpfnase leben in benachbarten Verbreitungsgebieten, die jedoch durch zwei Flüsse (Salween und Mekong) getrennt werden. Dies lässt auf einen allopatrischen Artbildungsprozess schließen. - Dabei werden Populationen durch eine geografische Barriere voneinander getrennt, sodass kein Genfluss zwischen beiden Populationen möglich ist (geografische Isolation). - Durch unterschiedlich wirkende Evolutionsfaktoren (Mutation, Rekombination und Selektion) entwickeln sich die Populationen unterschiedlich weiter. Über einen langen Zeitraum hinweg betrachtet entstehen zwei getrennte Arten.	10
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl												
	Der Prüfling													
1	ermittelt für die gezeigten Aminosäuresequenzen der beiden RNASE4-Varianten jeweils eine mögliche codogene DNA-Sequenz (Materialien C und D), z. B.: - Variante 1: <table><tr><th>Aminosäuresequenz</th><th>Thr-Asn-Ile-Glu-Cys</th></tr><tr><td>mRNA-Sequenz</td><td>5' ACC AAC AUC GAG UGU 3'</td></tr><tr><td>DNA-Sequenz</td><td>3' TGG TTG TAG CTC ACA 5'</td></tr></table> - Variante 2: <table><tr><th>Aminosäuresequenz</th><th>Thr-Lys-Ile-Glu-Cys</th></tr><tr><td>mRNA-Sequenz</td><td>5' ACC AAG AUC GAG UGU 3'</td></tr><tr><td>DNA-Sequenz</td><td>3' TGG TTC TAG CTC ACA 5'</td></tr></table> (Für die Vergabe der vollen Punktzahl ist die Angabe der Aminosäuresequenzen nicht erforderlich. Die Angabe korrekter alternativer Triplets ist entsprechend zu werten.)	Aminosäuresequenz	Thr-Asn-Ile-Glu-Cys	mRNA-Sequenz	5' ACC AAC AUC GAG UGU 3'	DNA-Sequenz	3' TGG TTG TAG CTC ACA 5'	Aminosäuresequenz	Thr-Lys-Ile-Glu-Cys	mRNA-Sequenz	5' ACC AAG AUC GAG UGU 3'	DNA-Sequenz	3' TGG TTC TAG CTC ACA 5'	8
Aminosäuresequenz	Thr-Asn-Ile-Glu-Cys													
mRNA-Sequenz	5' ACC AAC AUC GAG UGU 3'													
DNA-Sequenz	3' TGG TTG TAG CTC ACA 5'													
Aminosäuresequenz	Thr-Lys-Ile-Glu-Cys													
mRNA-Sequenz	5' ACC AAG AUC GAG UGU 3'													
DNA-Sequenz	3' TGG TTC TAG CTC ACA 5'													
2	nennt begründend den vorliegenden Mutationstyp (Materialien C und D), sinngemäß: Es liegt eine Punktmutation (Nukleotidsubstitution) vor. Da hierdurch an dieser Stelle eine andere Aminosäure in das Polypeptid eingebaut wird, handelt es sich um eine <i>Missense</i>-Mutation.	4												
3	erläutert unter besonderer Berücksichtigung von Abbildung 3 die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid (Material C), z. B.: Durch die Mutation und den damit verbundenen Einbau einer unterschiedlichen Aminosäure verändert sich wahrscheinlich die räumliche Struktur des RNASE4-Proteins.	2												
4	erläutert unter besonderer Berücksichtigung von Abbildung 3 die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid (Material C), z. B.: Die Entstehung der bei Goldstumpfnase, Schwarzer Stumpfnase und Burmesischer Stumpfnase vorliegenden RNASE4-Variante (Variante 2) hat wahrscheinlich einen Funktionsgewinn mit sich gebracht, der zu einer verbesserten Blutgefäßbildung geführt hat. (Alternative sachlogische Erläuterungen sind entsprechend zu werten.)	4												

5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	
---	---	--

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	entwickelt auf der Grundlage aller Materialien und unter Angabe von konkreten Evolutionsfaktoren eine Hypothese zur Artbildung von Goldstumpfnase und Grauer Stumpfnase, z. B.: - Die Vorfahren von Goldstumpfnase und Grauer Stumpfnase waren wahrscheinlich an ein Leben in Höhen von unterhalb 2000 m angepasst. - Die Entstehung einer besonderen Variante des Proteins RNASE4 (Variante 2) bei den Vorfahren der Goldstumpfnase durch eine zufällige Mutation bewirkte eine erhöhte Bildung von Blutgefäßen und somit eine bessere Blutversorgung der Gewebe bei einem geringeren Sauerstoffgehalt der Luft. - Dies verschaffte diesen Vorfahren wahrscheinlich einen Selektions- und somit einen Fitnessvorteil bei der Besiedlung höher gelegener Habitate. - Dies könnte dazu geführt haben, dass diese Teilpopulation in Höhenregionen oberhalb des eigentlichen Habitats abwanderte (Nischendifferenzierung). - Eine allmähliche Isolierung der Populationen (möglicherweise unterstützt durch den Jangtse-Fluss) führte zur Trennung der Genpools und zu einer getrennten Entwicklung mit Artaufspaltung. (Alternative sachlogische Hypothesen, die z. B. eine Veränderung des Lebensraumes ansprechen, sind entsprechend zu werten.)	10
2	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	- führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus. - strukturiert seine Darstellung sachgerecht. - verwendet eine differenzierte und präzise Sprache. - gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.	6

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

a) inhaltliche Leistung**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität ²			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erklärt ...	6			
2	fasst ...	4			
3	skizziert ...	6			
4	stellt dar ...	10			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	26			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	ermittelt ...	8			
2	nennt ...	4			
3	erläutert ...	2			
4	erläutert ...	4			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	18			

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

1	entwickelt eine Hypothese ...	10			
2	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	10			

	Summe der 1., 2. und 3. Teilaufgabe	54			
--	--	-----------	--	--	--

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	• führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ...	6			
	Summe Darstellungsleistung	6			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	60			
--	---	-----------	--	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in GK NT 1.



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Thema: Populationsökologie des Meerneunauges

1. Geben Sie je eine Definition für dichteabhängige und dichteunabhängige Faktoren an und erläutern Sie die Abhängigkeit der Entwicklung des Meerneunauges von diesen Faktoren unter Bezug auf Abbildung 1 (Material A). *(12 Punkte)*
2. Fassen Sie die Daten zur Populationsentwicklung von Meerneunauge und Kanadischer Seeforelle im Lake Superior zusammen und werten Sie diese aus (Abbildung 2 und Material B). Fassen Sie die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen und nehmen Sie zu den Maßnahmen zur Bekämpfung des Meerneunauges Stellung (Materialien A und B). *(30 Punkte)*
3. Erläutern Sie auf Grundlage der synthetischen Evolutionstheorie die mögliche Entwicklung von Resistenzen gegen Gifte in Schädlingpopulationen (Material C). Beurteilen Sie in diesem Zusammenhang eine mögliche Resistenzentwicklung gegen TFM bei den Meerneunaugen der Großen Seen (Materialien A bis C). *(12 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

Name: _____

Material A: Entwicklungszyklus des Meerneunauges

Das Meerneunauge (*Petromyzon marinus*) ist kein Fisch, sondern ein kieferloses Wirbeltier, das zu den Rundmäulern gehört. Es wird als invasive Art mittlerweile in allen Großen Seen Nordamerikas gefunden. Sein Entwicklungszyklus findet in den Großen Seen und deren Zuflüssen statt.

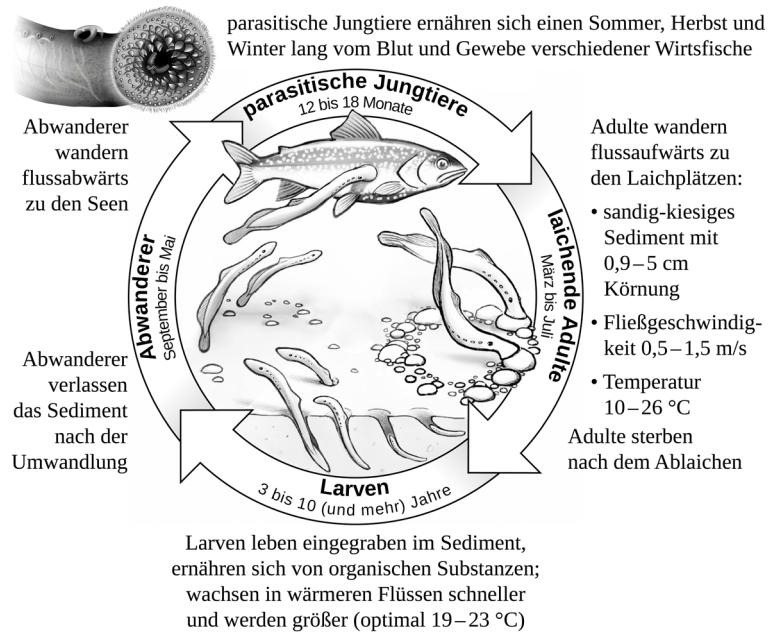


Abbildung 1 Entwicklungszyklus des Meerneunauges

Material B: Populationsdynamik in den Großen Seen

Ursprünglich waren Meerneunaugen nur im Ontariosee anzutreffen, der mit dem Atlantik verbunden ist. Ab 1957 traten sie auch in größerer Zahl im Lake Superior auf, wie durch Auswertung von Fallen ermittelt worden ist (Abb. 2). Die Kanadische Seeforelle zählt zu den bevorzugten Wirten des Meerneunauges. In den Großen Seen werden die Bestände der Kanadischen Seeforelle durch die ansässigen Fischereibetriebe genutzt. Etwa seit 1945 ermöglichte der Einsatz neuer Fangtechniken große Fangmengen auch bei sinkender Populationsgröße der Seeforellen.

Meerneunaugen greifen neben Seeforellen auch andere, wirtschaftlich bedeutende Fische wie den See-Stör an, wenn die Häufigkeit der alternativen Wirte größer ist als die der Seeforellen. Die Wirtsfische werden nicht nur durch den Verlust von Blut und Gewebe direkt geschädigt, sondern auch durch Infektionen der Wunde. Daher kann der Wirt der Meerneunaugen an den Folgen der Angriffe zugrunde gehen.

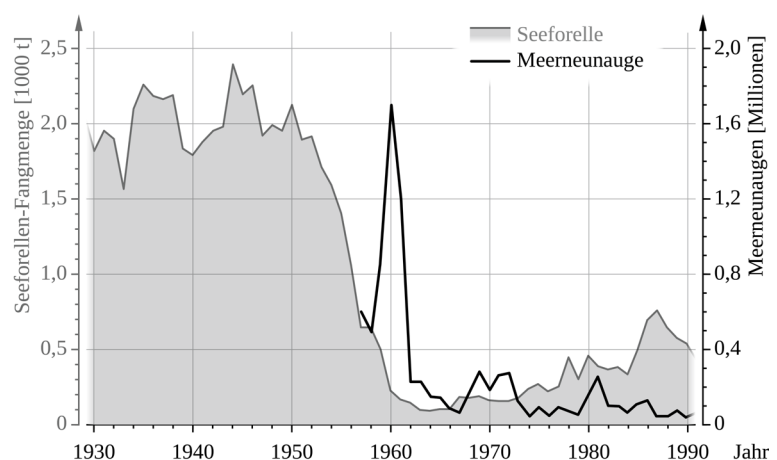


Abbildung 2 Fangmenge der Seeforellen und geschätzte Meerneunaugenanzahl im Lake Superior zwischen 1930 und 1990



Name: _____

Um die Wanderung der adulten Meerneunaugen zu verhindern, setzt man Barrieren und elektrische Wehre an den Zuflüssen der Großen Seen ein. Die Wanderung der Seeforellen darf durch die mechanischen Barrieren nicht beeinträchtigt werden. Die Meerneunaugen finden ihre Sexualpartner durch artspezifische Pheromone, chemische Duftstoffe, die sie ins Wasser abgeben. Daher können Adulte auch mit Pheromonfallen während ihrer Wanderung gezielt angelockt und gefangen werden. Parallel dazu wurden aus Fischzuchtbetrieben seit 1950 jährlich rund 300 Seeforellen-Jungtiere pro km² im Lake Superior eingesetzt.

Seit 1960 werden die Meerneunaugen mit Hilfe von Toxinen wie 3-Trifluoromethyl-4-nitrophenol (TFM) bekämpft, das in die Habitate der Larven eingebracht wird. Zur Ermittlung der notwendigen Toxinmenge und Eingrenzung der Schädigung anderer Arten wurden exemplarisch Untersuchungen bei verschiedenen Entwicklungsstadien von Meerneunaugen und See-Stören durchgeführt. Die Konzentration von TFM, bei der die Hälfte der Tiere in einem Zeitraum von zwölf Stunden stirbt, bezeichnet man als LC50 TFM.

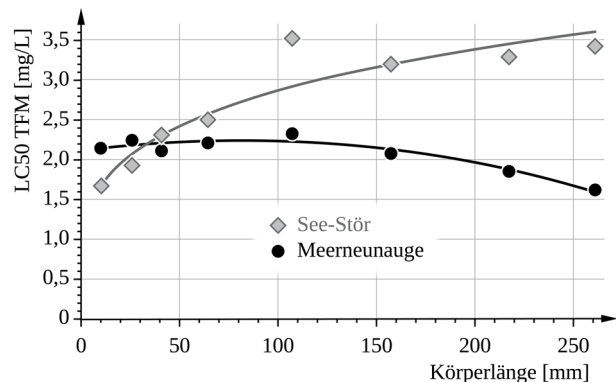


Abbildung 3 LC50 TFM bei Larven von Meerneunaugen und See-Stören unterschiedlicher Körperlänge

Material C: Mögliche Entwicklung von Resistenzen gegen TFM

In vielen Populationen von Schädlingen entwickeln sich im Laufe der Zeit Resistenzen gegen die zur Bekämpfung eingesetzten Gifte. Diese Resistenzentwicklung wird häufig bei Bakterien oder Insekten beobachtet, die eine sehr kurze Generationsdauer aufweisen. Sogar bei Tieren wie dem Atlantik-Dorsch, der eine Generationsdauer von etwa zwei Jahren besitzt, wurden in einigen Populationen Resistenzen gegen Gifte wie PCB entdeckt. Bekämpft man die Schädlinge mit einer Kombination verschiedener Verfahren wie zum Beispiel mechanischen Fallen, Absammeln, Pheromon-Fallen oder Einsatz unterschiedlicher Gifte, so ist die Wahrscheinlichkeit einer Resistenzentwicklung deutlich geringer.

Beim Meerneunauge werden seit 1960 kontinuierlich Laborversuche durchgeführt, in denen die Wirksamkeit von TFM auf Wildfänge von Meerneunaugen-Larven aus verschiedenen Zuflüssen der Großen Seen analysiert wird. Von 1960 bis 2017 zeigte sich keine Veränderung bei der Wirksamkeit von TFM auf die Meerneunaugen-Larven, da in diesem Zeitraum die LC50 TFM bei den Larven annähernd konstant geblieben ist.

*Unterlagen für die Lehrkraft***Abiturprüfung 2019***Biologie, Grundkurs***1. Aufgabenart**

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹**Thema: Populationsökologie des Meerneunauges**

1. Geben Sie je eine Definition für dichteabhängige und dichteunabhängige Faktoren an und erläutern Sie die Abhängigkeit der Entwicklung des Meerneunauges von diesen Faktoren unter Bezug auf Abbildung 1 (Material A). (12 Punkte)
2. Fassen Sie die Daten zur Populationsentwicklung von Meerneunauge und Kanadischer Seeforelle im Lake Superior zusammen und werten Sie diese aus (Abbildung 2 und Material B). Fassen Sie die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen und nehmen Sie zu den Maßnahmen zur Bekämpfung des Meerneunauges Stellung (Materialien A und B). (30 Punkte)
3. Erläutern Sie auf Grundlage der synthetischen Evolutionstheorie die mögliche Entwicklung von Resistenzen gegen Gifte in Schädlingspopulationen (Material C). Beurteilen Sie in diesem Zusammenhang eine mögliche Resistenzentwicklung gegen TFM bei den Meerneunaugen der Großen Seen (Materialien A bis C). (12 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material A
Abbildung 1: verändert nach Hansen et al., 2016, Abb. 2, S. 512
- Material B
Abbildung 2: eigene Abbildung, Seeforellen-Fangmenge nach Baldwin et al., 2009; Meerneunaugen nach Siefkes, 2017, Abb. 3, S. 3
Abbildung 3: nach Boogaard et al., 2003, Tab. 1, S. 534
- Baldwin, N. S., Saalfeld, R. W., Docoda, M. R., Buettner, H. J. & Eshenroder, R. L. (2009, Dezember). Commercial Fish Production in the Great Lakes 1867-2006. Abgerufen 23. Februar 2018, von <http://www.glfc.org/commercial/commerc.php>
- Boogaard, M. A., Bills, T. D. & Johnson, D. A. (2003). Acute Toxicity of TFM and a TFM/Niclosamide Mixture to Selected Species of Fish, Including Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*) and Mudpuppies (*Necturus maculosus*), in Laboratory and Field

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

Exposures. *Journal of Great Lakes Research*, 29, 529–541.

[https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(03\)70514-0](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(03)70514-0)

- Dunlop, E. S., McLaughlin, R., Adams, J. V., Jones, M., Birceanu, O., ... Wilkie, M. P. (2017). Rapid evolution meets invasive species control: the potential for pesticide resistance in sea lamprey. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 75(1), 152–168. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2017-0015>
- Hansen, M. J., Madenjian, C. P., Slade, J. W., Steeves, T. B., Almeida, P. R. & Quintella, B. R. (2016). Population ecology of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) as an invasive species in the Laurentian Great Lakes and an imperiled species in Europe. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 26(3), 509–535. <https://doi.org/10.1007/s11160-016-9440-3>
- Harvey, C. J., Ebener, M. P. & White, C. K. (2008). Spatial and Ontogenetic Variability of Sea Lamprey Diets in Lake Superior. *Journal of Great Lakes Research*, 34(3), 434–449. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2008\)34\[434:SAOVOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2008)34[434:SAOVOS]2.0.CO;2)
- Siefkes, M. J. (2017). Use of physiological knowledge to control the invasive sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the Laurentian Great Lakes. *Conservation Physiology*, 5(1). <https://doi.org/10.1093/conphys/cox031>
- Treble, A. J., Jones, M. L. & Steeves, T. B. (2008). Development and Evaluation of a New Predictive Model for Metamorphosis of Great Lakes Larval Sea Lamprey (*Petromyzon marinus*) Populations. *Journal of Great Lakes Research*, 34(3), 404–417. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2008\)34\[404:DAEOAN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2008)34[404:DAEOAN]2.0.CO;2)

4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2019

Die Aufgaben weisen vielfältige Bezüge zu den Kompetenzerwartungen und Inhaltsfeldern des Kernlehrplans bzw. zu den in den Vorgaben ausgewiesenen Fokussierungen auf.

Im Folgenden wird auf Bezüge von zentraler Bedeutung hingewiesen.

1. Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte

Ökologie

- Umweltfaktoren und ökologische Potenz
- Dynamik von Populationen
- Mensch und Ökosysteme
 - Neobiota (Neozoen, Neophyten)

Evolution

- Grundlagen evolutiver Veränderung

2. Medien/Materialien

- entfällt

5. Zugelassene Hilfsmittel

- GTR (Grafikfähiger Taschenrechner) oder CAS (Computer-Algebra-System)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen**Teilleistungen – Kriterien****a) inhaltliche Leistung****Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	gibt je eine Definition für dichteabhängige und dichteunabhängige Faktoren an, z. B.: • Dichteunabhängige Faktoren beeinflussen die Populationsdichte, sind aber selbst von der Populationsdichte unabhängig. • Dichteabhängige Faktoren beeinflussen die Populationsdichte und werden selbst von der Populationsdichte in Form einer Rückkopplung beeinflusst.	4
2	erläutert die Abhängigkeit der Entwicklung des Meerneunauges von diesen Faktoren unter Bezug auf Abbildung 1 (Material A), z. B.: • Für das Ablachen der Adulten in den Flüssen sind geeignete Laichplätze ein begrenzender Faktor, denn dort müssen die Beschaffenheit des Untergrundes (Körnung zwischen 0,9 und 5 cm), die Fließgeschwindigkeit des Wassers (0,5 bis 1,5 m/s) und die Wassertemperatur (zwischen 10 und 26 °C) geeignet sein (dichteunabhängige Faktoren). • Während der 3 bis über 10 Jahre dauernden Larvenphase sind Beschaffenheit des Untergrundes und die Wassertemperatur entscheidend für die Dauer der Entwicklung (dichteunabhängige Faktoren). • Das Nahrungsangebot spielt insbesondere in der parasitischen Phase, die 12 bis 18 Monate dauert, eine große Rolle, da eine ausreichende Anzahl großer Wirtsfische in dem betreffenden See erforderlich ist (dichteabhängiger Faktor). <i>(Zur Erreichung der vollen Punktzahl muss zwischen dichteabhängigen und dichteunabhängigen Faktoren differenziert werden.)</i>	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (1)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	fasst die Daten zur Populationsentwicklung von Meerneunauge und Kanadischer Seeforelle im Lake Superior zusammen (Abbildung 2 und Material B), z. B.: • Die Populationsgröße der Seeforellen geht seit 1950 deutlich zurück. Sie sinkt von rund 2000 Tonnen auf Werte von 100 Tonnen im Jahr 1964. Etwa ab 1975 nehmen die Bestände der Seeforelle wieder leicht zu. • Die Populationsgröße der Meerneunaugen liegt 1960 bei etwa 1,7 Millionen Tieren. Innerhalb von zwei Jahren geht die Populationsgröße auf 200 000 Individuen zurück und schwankt in den folgenden Jahren zwischen 300 000 und etwa 50 000 Tieren.	6
2	wertet diese aus (Abbildung 2 und Material B), z. B.: • Meerneunauge und Seeforelle stehen in einem Parasit-Wirt-Verhältnis, wobei der Wirt geschädigt wird und eventuell stirbt. Daher hat die Zunahme der Meerneunaugen-Population insbesondere ab 1957 wahrscheinlich zu einer Reduktion der Seeforellen-Populationsgröße geführt.	8

	• Außerdem ist der Rückgang der Seeforellen-Population nach 1950 auch durch Überfischung zu erklären, da der Einsatz verbesserter Fangmethoden auch bei sinkender Populationsgröße noch große Fangmengen bis 1950 lieferte. • Der deutliche Rückgang der Meerneunaugen-Population ab 1960 geht vorwiegend auf die massive Bekämpfung mit dem Toxin TFM zurück. Damit kann die Abundanz der Meerneunaugen bei etwa 100 000 Tieren stabilisiert werden. Da Meerneunaugen auf alternative Wirtsfische ausweichen können, sind sie nicht auf Seeforellen als Wirt spezialisiert. <i>(Die Begründung, dass der intensive Einsatz von Seeforellen-Jungtieren ab 1950 zu einer Erholung der Bestände führte, ist ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium.)</i>	
3	fasst die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse zusammen, z. B.: • Bei Meerneunaugen liegt LC50 TFM etwa bei 2,2 mg/L, bis die Tiere etwa 10 Zentimeter Körperlänge haben. Bei Larven größerer Körperlänge sinkt LC50 TFM auf niedrigere Werte, die Larven werden also empfindlicher. • Beim See-Stör sind kleine Larven empfindlicher gegen TFM als größere Larven. LC50 TFM steigt von etwa 1,6 mg/L bei Larven mit 2 Zentimeter Länge auf 3,3 mg/L bei Larven von 20 Zentimeter Länge an. • Ab einer Larvengröße von etwa 5 Zentimeter sind Meerneunaugen-Larven empfindlicher gegenüber TFM als See-Stör-Larven gleicher Größe. <i>(Die Angabe exakter Werte ist aufgrund des Operators „zusammenfassen“ zur Vergabe der vollen Punktzahl nicht erforderlich.)</i>	6
4	nimmt zu den Maßnahmen zur Bekämpfung des Meerneunauges Stellung (Materialien A und B), z. B.: • Mechanische Barrieren und elektrische Wehre bedeuten einen recht geringen Eingriff in die Umwelt. Diese Maßnahmen erscheinen geeignet, wenn andere wandernde Arten, wie etwa die Seeforelle, diese Barrieren überwinden können und so in ihrem Wanderungsverhalten nicht gestört werden. • Pheromonfallen stellen eine artspezifische Möglichkeit zur gezielten Anlockung und Bekämpfung der Meerneunaugen dar. Hier werden andere Arten nicht geschädigt.	4
5	nimmt zu den Maßnahmen zur Bekämpfung des Meerneunauges Stellung (Materialien A und B), z. B.: • Der Einsatz von TFM bedeutet einen schwerwiegenden Eingriff in das Ökosystem der Zuflüsse, da auch Larven anderer Arten geschädigt werden und damit weitreichende Folgen für Nahrungsnetze wahrscheinlich sind. • Die TFM-Konzentration, die in den Laichgewässern der Meerneunaugen zur effektiven Bekämpfung erreicht werden muss, sollte auf die Larvengröße der Meerneunaugen abgestimmt werden. Hier muss eine möglichst geringe Konzentration eingesetzt werden, damit etwa See-Störe geringer geschädigt werden. • Die Maßnahmen zur Bekämpfung der Meerneunaugen-Population sind wirksam, wie die gleichbleibend geringe Populationsgröße zeigt. Die Population der Seeforellen hat sich durch Einsatz von Jungfischen erholt und nimmt leicht zu. Die Seeforellen scheinen durch die Meerneunaugen weniger dezimiert zu werden. <i>(Wird bei der Argumentation Bezug auf konkrete TFM-Konzentrationen anhand von Abbildung 3 genommen, kann dies ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium darstellen.)</i>	6
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (3)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	erläutert auf Grundlage der synthetischen Evolutionstheorie die mögliche Entwicklung von Resistenzen gegen Gifte in Schädlingspopulationen (Material C), z. B.: • Durch Mutation und Rekombination entstehen zufällig Varianten, die gegen das eingesetzte Gift resistent sind. Als Selektionsfaktor wirkt das eingesetzte Gift, da nicht-resistente Individuen absterben und keine oder wenig Nachkommen haben. • Nicht-resistente Individuen können keine Allele in den Genpool der Folgegeneration einbringen, wogegen resistente Individuen einen deutlichen Selektionsvorteil haben und daher eine hohe reproduktive Fitness erreichen. • Daher breiten sich die betreffenden Allele insbesondere bei einer kurzen Generationsdauer sehr schnell in der Population aus.	8
2	beurteilt in diesem Zusammenhang eine mögliche Resistenzentwicklung gegen TFM bei den Meerneunaugen der Großen Seen (Materialien A bis C), z. B.: • Die Wirksamkeit des Giftes TFM scheint in der Zeit zwischen 1960 und 2017 unverändert erhalten zu bleiben, wie durch Analysen der LC50 TFM an Wildfängen von Larven gezeigt wurde. Bislang ist noch keine Resistenzentwicklung eingetreten. • Meerneunaugen haben eine Generationsdauer von mindestens vier Jahren, abhängig von der Dauer des Larvenstadiums, und könnten daher einen längeren Zeitraum zur Resistenzentwicklung benötigen. • Die Vielfalt der Bekämpfungsmethoden bei Meerneunaugen verringert die Wahrscheinlichkeit der Ausprägung von Resistenzen, da hier ganz unterschiedliche Techniken eingesetzt werden. <i>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl müssen mindestens zwei der Begründungen angeführt werden.)</i>	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	• führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus. • strukturiert seine Darstellung sachgerecht. • verwendet eine differenzierte und präzise Sprache. • gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.	6

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

a) inhaltliche Leistung**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität ²			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	gibt je eine Definition ...	4			
2	erläutert ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (1)				
	Summe 1. Teilaufgabe	12			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität ³			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	fasst zusammen ...	6			
2	wertet ...	8			
3	fasst zusammen ...	6			
4	nimmt Stellung ...	4			
5	nimmt Stellung ...	6			
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (3)				
	Summe 2. Teilaufgabe	30			

² EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur³ EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert ...	8			
2	beurteilt ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 3. Teilaufgabe	12			

	Summe der 1., 2. und 3. Teilaufgabe	54			
--	--	-----------	--	--	--

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	• führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ...	6			
	Summe Darstellungsleistung	6			

	Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)	60			
--	---	-----------	--	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in GK NT 1.