



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Thema: Ausbreitung, Artstatus und Entstehung des Marmorkrebses

1. Ermitteln Sie die Fortpflanzungsstrategie des Marmorkrebses und begründen Sie sein invasives Potenzial (Material A). *(10 Punkte)*
2. Nehmen Sie Stellung zu der Aussage, dass die Anpassungen des Marmorkrebses an unterschiedliche Lebensräume nicht auf genetische Variabilität und Selektion zurückzuführen sind (Materialien A und B). Erläutern Sie die Merkmalsvariabilität des Marmorkrebses auf der Basis eines epigenetischen Modells (Materialien A und B). *(14 Punkte)*
3. Geben Sie jeweils eine Definition für zwei in der Biologie verwendete Artbegriffe an, fassen Sie die Ergebnisse aus den Materialien C und D zusammen und beurteilen Sie auf dieser Grundlage, ob es sich beim Marmorkrebs um eine eigene Art handelt. Deuten Sie die Ergebnisse hinsichtlich möglicher Isolationsbarrieren (Materialien B und D). *(22 Punkte)*
4. Skizzieren Sie in Material E den regulären Ablauf der Eizellbildung und erläutern Sie, wie es zur Entstehung einer diploiden Eizelle kommen kann (Materialien B und E). Erläutern Sie auf dieser Grundlage und unter Einbezug der Materialien B, D und E die Entstehung sowie die weitere Fortpflanzung des Marmorkrebses. *(20 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Material A: Ökologie des Marmorkrebses

Der Marmorkrebs ist ein in der Aquaristik beliebter Flusskrebs. Er wurde erstmals 1995 in einer deutschen Zoohandlung entdeckt. Bislang wurden sowohl in Aquarien als auch in wildlebenden Populationen ausschließlich Weibchen nachgewiesen. Biologen halten es für sehr wahrscheinlich, dass der Marmorkrebs unter Haltungsbedingungen der Aquaristik entstanden ist und wildlebende Populationen aus Freisetzung hervorgegangen sind.

Tabelle 1 Wichtige Kenndaten des Marmorkrebses

Fortpflanzung, Brutpflege und Lebensspanne	<ul style="list-style-type: none">• ab einem Alter von 6 bis 7 Monaten werden 2 bis 3 Mal im Jahr bis zu 600 Eier gelegt• innerhalb von 20 bis 30 Tagen entwickeln sich Jungkrebse, die 7 bis 8 Wochen von der Mutter umsorgt werden• Lebensspanne 3 bis 4 Jahre
Ernährung	<ul style="list-style-type: none">• Allesfresser: unterschiedliche Tiere (z. B. Schnecken, kleine Krebse und Fische) und Pflanzen (Algen und Wasserpflanzen)
Lebensraum	<ul style="list-style-type: none">• besiedelt Habitate mit sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen• breitet sich in Teilen Europas, Asiens und Afrikas (Madagaskar) zunehmend aus
Phylogenie	<ul style="list-style-type: none">• Artstatus lange unbekannt• enge Verwandtschaft mit dem Everglades-Sumpfkrebs (<i>Procambarus fallax</i>), der im Südosten der USA vorkommt
weitere Kenndaten	<ul style="list-style-type: none">• verdrängt heimische Krebsarten• gilt als Überträger der für heimische Krebse oft tödlichen Krebspest, ist selbst aber immun

Material B: Genomanalysen

Genomanalysen zeigen, dass der Marmorkrebs triploid ist, der Everglades-Sumpfkrebs hingegen diploid. Biologen vermuten, dass ein Meiosefehler im Zuge der Eizellbildung bei einem Everglades-Sumpfkrebs-Weibchen zur Bildung einer diploiden Eizelle führte.

Der Marmorkrebs pflanzt sich durch die Bildung von Klonen fort (Parthenogenese). In diesem Fall entwickeln sich die Eizellen ohne ein Durchlaufen der Meiose und ohne Befruchtung durch Spermien zu einem mit der Mutter genetisch identischen Embryo (Klon).

In einer weiteren Analyse wurden die kompletten mitochondrialen Genome (etwa 16 000 Basenpaare) von drei Marmorkrebs-Weibchen (zwei aus Deutschland, eins aus Madagaskar) verglichen. Es stellte sich heraus, dass die mtDNA-Sequenzen der Marmorkrebse untereinander komplett identisch waren. 2018 veröffentlichten Biologen zudem Genomuntersuchungen von Marmorkrebsen aus verschiedenen deutschen und madagassischen Populationen. Im gesamten Kern-Genom unterscheiden sich von etwa 3,5 Milliarden Basen nur maximal 416.



Name: _____

Aufgrund der Vermehrung durch Klone kann die Anpassung des Marmorkrebses an unterschiedliche Lebensräume nicht mit einer hohen genetischen Variabilität und Selektion erklärt werden. „Dies etabliert den Marmorkrebs als wichtiges Modellsystem für die Untersuchung epigenetischer Mechanismen in der phänotypischen Variation und Adaption“, folgerte der Biologe Frank Lyko.



Abbildung 1 Phänotypische Variationsbreite bei drei Monate alten Marmorkrebsen.

Alle Krebsen stammen aus einem Gelege von derselben Mutter und sind genetisch identisch. Die Mutter ist nicht gezeigt.

Material C: Vergleich von Marmorkrebs und Everglades-Sumpfkrebs

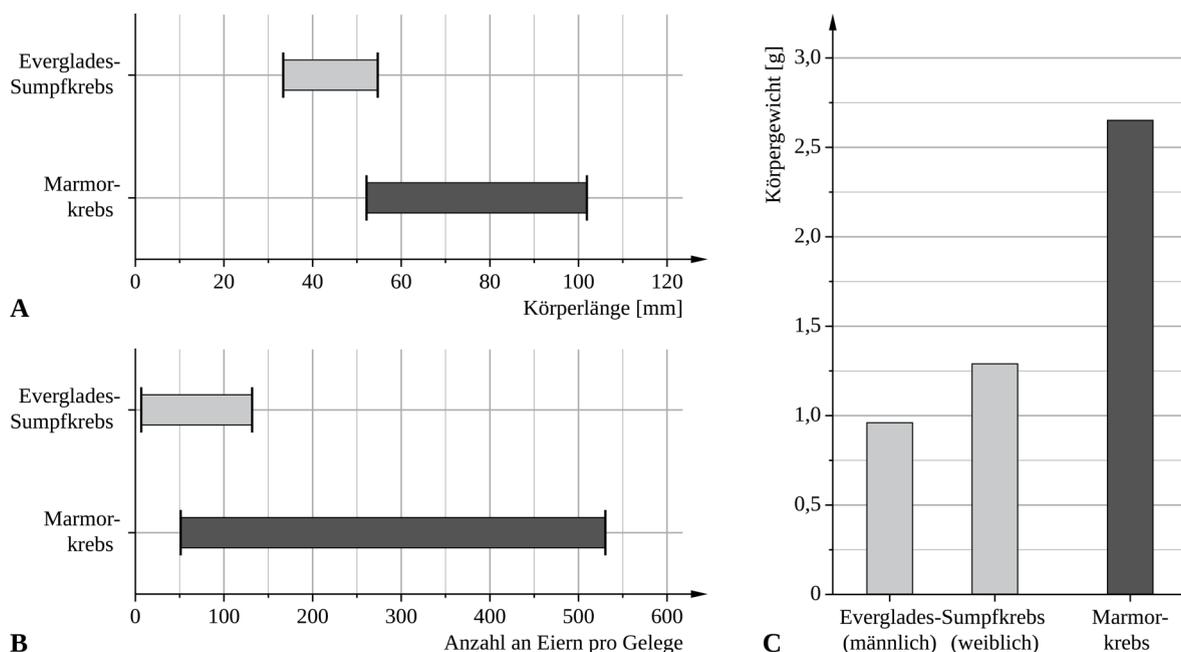


Abbildung 2 Vergleich von Marmorkrebs und Everglades-Sumpfkrebs. A Variation der Körperlänge; **B** Anzahl an Eiern pro Gelege; **C** Körpergewicht



Name: _____

Material D: Paarungsexperimente

Biologen führten Paarungsexperimente mit Marmorkrebsen und Männchen des Everglades-Sumpfkrebses bzw. des Blauen Florida-Sumpfkrebses durch. Dabei ermittelten die Wissenschaftler zunächst, ob zwischen den Tieren Paarungen, das heißt von außen zu beobachtende Kopulationen, stattfanden. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2. Everglades-Sumpfkrebs und Blauer Florida-Sumpfkrebs sind eigenständige Arten, die sich untereinander nicht fortpflanzen.

Tabelle 2 Paarungsexperimente zwischen drei Marmorkrebsen und Männchen des Everglades-Sumpfkrebses und des Blauen Florida-Sumpfkrebses.

Die Paarungsexperimente wurden jeweils mit mehreren Männchen beider Arten durchgeführt und sind exemplarisch für jeweils ein Männchen gezeigt.

Männchen	Marmorkrebs-Weibchen			
	1	2	3	
Everglades-Sumpfkrebs	+	+	+	+ mit Paarung
Blauer Florida-Sumpfkrebs	-	-	-	- ohne Paarung

In einem weiteren Experiment wurden die nach erfolgter Paarung (vgl. Tabelle 2) entstandenen Nachkommen der Marmorkrebs-Weibchen genetisch untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Nachkommen ausnahmslos das Erbgut der Marmorkrebs-Weibchen enthielten. Die Männchen gaben hingegen kein Erbgut an die Nachkommen weiter. Sämtliche Nachkommen waren zudem weiblich.



Name: _____

Material E: Vorlage zur Skizze der Eizellbildung

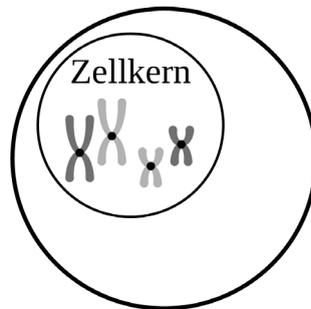


Abbildung 3 Schematische Darstellung einer diploiden Urkeimzelle.

Exemplarisch sind zwei Chromosomenpaare gezeigt.

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Thema: Ausbreitung, Artstatus und Entstehung des Marmorkrebses

1. Ermitteln Sie die Fortpflanzungsstrategie des Marmorkrebses und begründen Sie sein invasives Potenzial (Material A). (10 Punkte)
2. Nehmen Sie Stellung zu der Aussage, dass die Anpassungen des Marmorkrebses an unterschiedliche Lebensräume nicht auf genetische Variabilität und Selektion zurückzuführen sind (Materialien A und B). Erläutern Sie die Merkmalsvariabilität des Marmorkrebses auf der Basis eines epigenetischen Modells (Materialien A und B). (14 Punkte)
3. Geben Sie jeweils eine Definition für zwei in der Biologie verwendete Artbegriffe an, fassen Sie die Ergebnisse aus den Materialien C und D zusammen und beurteilen Sie auf dieser Grundlage, ob es sich beim Marmorkrebs um eine eigene Art handelt. Deuten Sie die Ergebnisse hinsichtlich möglicher Isolationsbarrieren (Materialien B und D). (22 Punkte)
4. Skizzieren Sie in Material E den regulären Ablauf der Eizellbildung und erläutern Sie, wie es zur Entstehung einer diploiden Eizelle kommen kann (Materialien B und E). Erläutern Sie auf dieser Grundlage und unter Einbezug der Materialien B, D und E die Entstehung sowie die weitere Fortpflanzung des Marmorkrebses. (20 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material A
Tabelle 1 zusammengestellt aus: Lyko, 2017a; Vogt & Tolley, 2004
- Material B
Abbildung 1 verändert nach: Gutekunst et al., 2018, Abb. 1a, S. 568
- Material C
Abbildung 2 verändert nach: Vogt, 2017, Abb. 4B, S. 5; Vogt et al., 2015, Abb. 6, S. 1588
- Material D
Tabelle 2 verändert nach: Vogt et al., 2015, Tab. 1, S. 1584

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Material E
Abbildung 3 selbst erstellt
- Chucholl, C., Morawetz, K. & Groß, H. (2012). The clones are coming – strong increase in Marmorkrebs [*Procambarus fallax* (Hagen, 1870) f. *virginalis*] records from Europe. *Aquatic Invasions*, 7(4), 511–519. <https://doi.org/10.3391/ai.2012.7.4.008>
- Gutekunst, J., Andriantsoa, R., Falckenhayn, C., Hanna, K., Stein, W., ... Lyko, F. (2018). Clonal genome evolution and rapid invasive spread of the marbled crayfish. *Nature Ecology & Evolution*, 567–573. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0467-9>
- Jimenez, S. A. & Faulkes, Z. (2010). Establishment and care of a colony of parthenogenetic marbled crayfish, Marmorkrebs. *Invertebrate Rearing*, 1, 10–18.
- Lyko, F. (2017a). Ein Krebs für die Krebsforschung. *Biologie in unserer Zeit*, 47(3), 172–177. <https://doi.org/10.1002/biuz.201710620>
- Lyko, F. (2017b). The marbled crayfish (Decapoda: Cambaridae) represents an independent new species. *Zootaxa*, 4363(4), 544–552. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4363.4.6>
- Martin, P., Dorn, N. J., Kawai, T., van der Heiden, C. & Scholtz, G. (2010). The enigmatic Marmorkrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870). *Contributions to Zoology*, 79(3).
- Martin, P., Kohlmann, K. & Scholtz, G. (2007). The parthenogenetic Marmorkrebs (marbled crayfish) produces genetically uniform offspring. *Naturwissenschaften*, 94(10), 843–846. <https://doi.org/10.1007/s00114-007-0260-0>
- Scholtz, G., Braband, A., Tolley, L., Reimann, A., Mittmann, B., ... Vogt, G. (2003). Parthenogenesis in an outsider crayfish. *Nature*, 421(6925), 806. <https://doi.org/10.1038/421806a>
- Vogt, G. (2017). Facilitation of environmental adaptation and evolution by epigenetic phenotype variation: insights from clonal, invasive, polyploid, and domesticated animals. *Environmental Epigenetics*, 3(1). <https://doi.org/10.1093/eep/dvx002>
- Vogt, G., Falckenhayn, C., Schrimpf, A., Schmid, K., Hanna, K., ... Lyko, F. (2015). The marbled crayfish as a paradigm for saltational speciation by autopolyploidy and parthenogenesis in animals. *BioRxiv*, 025254. <https://doi.org/10.1101/025254>
- Vogt, G., Huber, M., Thiemann, M., Boogaart, G. van den, Schmitz, O. J. & Schubart, C. D. (2008). Production of different phenotypes from the same genotype in the same environment by developmental variation. *Journal of Experimental Biology*, 211(4), 510–523. <https://doi.org/10.1242/jeb.008755>
- Vogt, G. & Tolley, L. (2004). Brood care in freshwater crayfish and relationship with the offspring's sensory deficiencies. *Journal of Morphology*, 262(2), 566–582. <https://doi.org/10.1002/jmor.10169>

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*

Evolutionbiologie

- Grundlagen evolutiver Veränderung
- Art und Artbildung
- Evolution und Verhalten

Genetik

- Meiose und Rekombination
- Genregulation
 - Epigenetische Modelle zur Regulation des Zellstoffwechsels
 - DNA-Methylierung und RNA-Interferenz

Ökologie

- Umweltfaktoren und ökologische Potenz
- Mensch und Ökosysteme
 - Neobiota (Neozoen, Neophyten, Neomyceten)

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	ermittelt die Fortpflanzungsstrategie des Marmorkrebses (Material A), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Der Marmorkrebs besitzt eine kurze Lebensspanne (3 bis 4 Jahre), eine kurze Generationsdauer (Fortpflanzungsfähigkeit ab einem Alter von 6 bis 7 Monaten) und eine hohe Reproduktionsrate (2 bis 3 Mal im Jahr werden bis zu 600 Eier gelegt). Zudem ist die Dauer der Brutpflege relativ kurz. • Dies lässt auf eine r-Strategie schließen. <i>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl müssen bei der Ermittlung der r-Strategie verschiedene Aspekte berücksichtigt werden.)</i>	4
2	begründet sein invasives Potenzial (Material A), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Der Marmorkrebs ist in der Lage, unterschiedliche klimatische Bedingungen zu ertragen. Dies ermöglicht die Besiedlung verschiedener Regionen der Erde. • Er ernährt sich omnivor und ist ein Nahrungsgeneralist, was die Erschließung neuer Lebensräume erleichtert. • Durch seine hohe Fortpflanzungsrate, seine hohe Konkurrenzstärke sowie durch die Übertragung der Krebspest verdrängt er heimische Krebsarten. 	6
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	nimmt Stellung zu der Aussage, dass die Angepasstheiten des Marmorkrebses an unterschiedliche Lebensräume nicht auf genetische Variabilität und Selektion zurückzuführen sind (Materialien A und B), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Marmorkrebse besiedeln Habitate mit sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Sie besitzen daher offenbar eine hohe ökologische Potenz. • Sie zeichnen sich jedoch aufgrund der Fortpflanzung durch Klone (Parthenogenese) durch eine sehr geringe genetische Variabilität aus. • Dies verdeutlichen auch die genetischen Untersuchungen, nach denen die mitochondriale DNA bei Populationen aus Deutschland und Madagaskar identisch ist und sich die Kern-DNA an nur maximal 416 von 3,5 Mrd. Nukleotidpositionen unterscheidet. • Auch innerhalb des genetisch identischen Nachwuchses einer Mutter sind z. B. hinsichtlich der Körpergröße (Abbildung 1) deutliche Variationen möglich. • Es ist daher unwahrscheinlich, dass die große phänotypische Variabilität durch die geringe genetische Variation zu erklären ist. 	8
2	erläutert die Merkmalsvariabilität des Marmorkrebses auf der Basis eines epigenetischen Modells (Materialien A und B), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> • Zur Erklärung der Merkmalsvariabilität kommen daher epigenetische Modelle infrage, z. B. die DNA-Methylierung. 	6

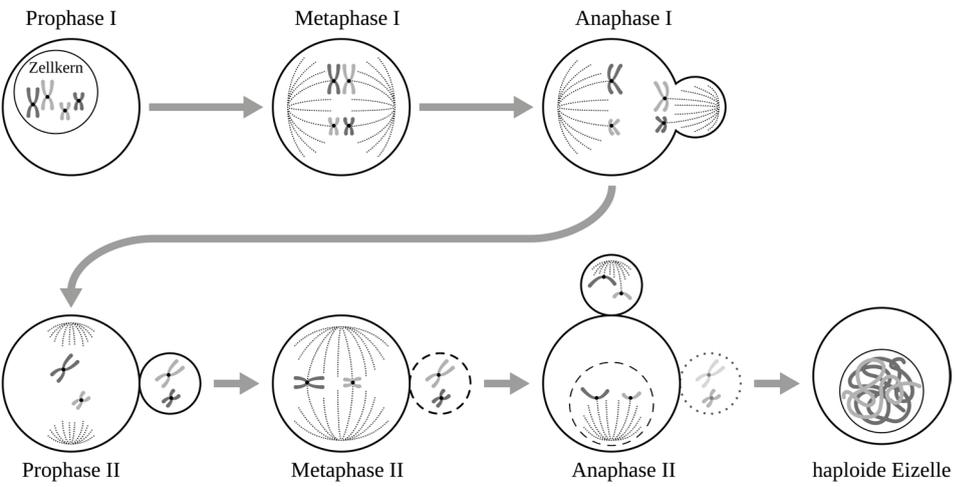
	<ul style="list-style-type: none"> • Durch verschiedenen Methylierungsmuster als Folge einer unterschiedlichen Aktivität von Methyltransferasen und Demethylasen wird die Transkription von Genen beeinflusst. Ein hoher Methylierungsgrad bewirkt eine kompaktere Chromatinstruktur und führt zu einer Inaktivierung der betreffenden Gene. • Da diese Methylierungsmuster individuell verschieden sind, könnten so die zum Teil großen phänotypischen Variationen in der Körpergröße erklärt werden. (Alternative sachlogische Erläuterungen sind entsprechend zu werten.) 	
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>gibt jeweils eine Definition für zwei in der Biologie verwendete Artbegriffe an, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nach dem morphologischen Artbegriff gehören alle Individuen, die in ihren wesentlichen Merkmalen übereinstimmen, zu einer Art. • Nach dem biologischen Artbegriff gehören alle Individuen, die sich potenziell fruchtbar fortpflanzen können, zu einer Art. <p>(Die korrekte Definition alternativer Artbegriffe ist zulässig.)</p>	4
2	<p>fasst die Ergebnisse aus den Materialien C und D zusammen, sinngemäß:</p> <p>Material C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Marmorkrebs ist deutlich länger und schwerer als der Everglades-Sumpfkrebs und legt durchschnittlich wesentlich mehr Eier. • Die Merkmalsvariationsbreiten bei der Körperlänge und der Anzahl an Eiern sind beim Marmorkrebs sehr groß. <p>Material D:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Marmorkrebs-Weibchen paaren sich mit dem männlichen Everglades-Sumpfkrebs, nicht aber mit dem Männchen des Blauen Florida-Sumpfkrebses. • Das Everglades-Sumpfkrebs-Männchen gibt jedoch kein Erbgut an die aus den Paarungen mit den Marmorkrebs-Weibchen entstehenden Nachkommen weiter. 	4
3	<p>beurteilt auf dieser Grundlage, ob es sich beim Marmorkrebs um eine eigene Art handelt, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nach dem morphologischen Artbegriff könnte es sich aufgrund der z. T. deutlichen Unterschiede in Größe und Gewicht beim Marmorkrebs um eine eigene Art handeln. • Nach dem biologischen Artbegriff könnten der Marmorkrebs und der Everglades-Sumpfkrebs zu einer Art gezählt werden, da sie kopulieren und Nachkommen entstehen. • Allerdings gibt das Männchen kein Erbgut an diese Nachkommen weiter. Sie sind genetisch identische Klone der Mutter. • Daher kann man davon ausgehen, dass Everglades-Sumpfkrebs und Marmorkrebs keine Nachkommen miteinander zeugen und somit zwei eigenständige Arten darstellen. 	8
4	<p>deutet die Ergebnisse hinsichtlich möglicher Isolationsbarrieren (Materialien B und D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zwischen dem Marmorkrebs und dem Blauen Florida-Sumpfkrebs liegen offenbar präzygotische Barrieren (z. B. ethologische Isolation) vor, die eine Paarung verhindern. • Da es zwischen dem Marmorkrebs und dem Everglades-Sumpfkrebs zu Paarungen kommt, das Everglades-Sumpfkrebs-Männchen allerdings keinen genetischen 	6

	<p>Beitrag zum Nachwuchs beisteuert, liegen in diesem Fall ebenfalls präzygotische Barrieren vor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Denkbar wäre eine gametische Isolation, bei der entweder keine Befruchtung stattfindet oder das Erbmateriale des Everglades-Sumpfkrebse nach der Befruchtung nicht genutzt wird. 	
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>skizziert in Material E den regulären Ablauf der Eizellbildung, sinngemäß:</p>  <p>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl muss eine Differenzierung in Eizelle und Polkörperchen erkennbar sein. Eine darüber hinausgehende Darstellung z. B. intrachromosomaler Rekombinationsereignisse wird nicht erwartet und stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</p>	8
2	<p>erläutert, wie es zur Entstehung einer diploiden Eizelle kommen kann (Materialien B und E), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Zuge der 1. Reifeteilung könnte es zu einer Fehlverteilung kommen, indem die homologen Chromosomen auf nur eine der beiden Tochterzellen verteilt werden. • Wenn in der 2. Reifeteilung dann die Chromatiden getrennt und auf je zwei Tochterzellen aufgeteilt werden, entstehen zwei Tochterzellen mit diploidem Chromosomensatz und zwei ohne Chromosomen. <p>Oder:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Im Zuge der 2. Reifeteilung könnte es zu einer Fehlverteilung kommen, indem die Chromatiden nicht getrennt und auf nur eine der beiden Tochterzellen verteilt werden. • In diesem Fall entsteht eine Tochterzelle mit diploidem Chromosomensatz und eine Tochterzelle ohne Chromosomen. <p>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl ist die Erläuterung einer Möglichkeit ausreichend.)</p>	6
3	<p>erläutert auf dieser Grundlage und unter Einbezug der Materialien B, D und E die Entstehung sowie die weitere Fortpflanzung des Marmorkrebse, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verschmelzen bei der Befruchtung eine diploide Eizelle und ein haploides Spermium, so entsteht eine triploide Zygote. 	6

	<ul style="list-style-type: none"> • Bei der Entstehung des Marmorkrebses (wahrscheinlich aus dem Everglades-Sumpfkrebs) könnte sich diese triploide Zygote weiterentwickelt haben. • Allerdings sind diese Individuen aufgrund von Fehlern bei der Meiose (z. B. Paarung homologer Chromosomen) nun nicht in der Lage, sich sexuell fortzupflanzen. Die Fortpflanzung erfolgt ausschließlich über die Bildung von genetisch identischen Klonen (Parthenogenese). • Damit ist auch die sexuelle Fortpflanzung mit dem nah verwandten Everglades-Sumpfkrebs unterbunden (reproduktive Isolation) und somit hat dieser Prozess zur Entstehung einer neuen biologischen Art geführt. <p><i>(Überlegungen hinsichtlich der Frage, inwieweit die Fähigkeit zur parthenogenetischen Fortpflanzung bereits angelegt gewesen sein muss (Präadaptation), werden nicht erwartet und stellen ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	<ul style="list-style-type: none"> • führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus. • strukturiert seine Darstellung sachgerecht. • verwendet eine differenzierte und präzise Sprache. • gestaltet seine Arbeit formal ansprechend. 	9

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	ermittelt ...	4			
2	begründet ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	10			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	nimmt Stellung...	8			
2	erläutert ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	14			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	gibt an ...	4			
2	fasst zusammen ...	4			
3	beurteilt ...	8			
4	deutet ...	6			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 3. Teilaufgabe		22			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	skizziert ...	8			
2	erläutert ...	6			
3	erläutert ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 4. Teilaufgabe		20			

Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe		66			
--	--	-----------	--	--	--

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<ul style="list-style-type: none"> • führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ... 	9			
Summe Darstellungsleistung		9			

Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)		75			
---	--	-----------	--	--	--

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	75			
Übertrag der Punktsumme aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe	75			
Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung	150			

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	150 – 143
sehr gut	14	142 – 135
sehr gut minus	13	134 – 128
gut plus	12	127 – 120
gut	11	119 – 113
gut minus	10	112 – 105
befriedigend plus	9	104 – 98
befriedigend	8	97 – 90
befriedigend minus	7	89 – 83
ausreichend plus	6	82 – 75
ausreichend	5	74 – 68
ausreichend minus	4	67 – 60
mangelhaft plus	3	59 – 50
mangelhaft	2	49 – 41
mangelhaft minus	1	40 – 30
ungenügend	0	29 – 0



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Thema: Kältesensitivität bei Nagetieren

1. Stellen Sie eine Methode zur Untersuchung von Ionenströmen an Ionenkanälen dar. Vergleichen Sie die Temperaturempfindlichkeit der untersuchten Ionenkanäle der Maus (Abbildung 1). Begründen Sie das Vorhandensein von TRPA1-Ionenkanälen in Schmerzrezeptoren (Material A). *(16 Punkte)*
2. Fassen Sie die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse zusammen und werten Sie diese aus (Material B). Erläutern Sie vor diesem Hintergrund die mögliche Bedeutung der Kältesensitivität für Winterschläfer (Material B). *(16 Punkte)*
3. Fassen Sie die Ergebnisse der Untersuchungen aus Material C zusammen. Skizzieren Sie die Rezeptorpotenziale, die bei gleichem Kältereiz bei den temperatursensiblen Neuronen von Maus, Knockout-Maus und Dreizehnstreifen-Hörnchen zu erwarten sind (Materialien B und C). Erläutern Sie die molekularen Ursachen der Kältesensitivität bei den hier betrachteten Winterschläfern (Materialien A bis C). *(20 Punkte)*
4. Entwickeln Sie eine Hypothese zu den molekularen Veränderungen des TRPM8-Ionenkanals beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Material D). Erläutern Sie auf Basis der synthetischen Theorie der Evolution den möglichen Prozess der Entwicklung geringerer Kältesensitivität beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Materialien A bis D). *(14 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Material A: Neurobiologische Grundlagen der Kältesensitivität bei Säugetieren

Die Wahrnehmung der Umgebungstemperatur bei Säugetieren erfolgt mithilfe temperatursensibler Neuronen des peripheren Nervensystems, die in ihren freien Nervenenden temperaturempfindliche Ionenkanäle besitzen. Schmerzrezeptoren reagieren unter anderem auf schädigende Temperatureinflüsse wie gefährliche Kälte oder Hitze.

Kälteempfindliche Neuronen enthalten zum Beispiel den TRPM8-Ionenkanal, Schmerzrezeptoren enthalten unter anderem den TRPA1-Ionenkanal. Die Aktivierung dieser unspezifischen Kationenkanäle führt aufgrund der Veränderung ihrer Raumstruktur zu einer Kanalöffnung. Der Einstrom von Natrium- und Calcium-Ionen in die Nervenendigung wird so ermöglicht. Diese primären Sinneszellen können an ihrem Axon Aktionspotenziale erzeugen. Mithilfe afferenter Nervenfasern werden die Signale über das Rückenmark zum Gehirn weitergeleitet und verarbeitet, wodurch ein Gefühl der Kälte oder des Schmerzes wahrgenommen wird. Die TRPM8-Ionenkanäle und die TRPA1-Ionenkanäle der Maus wurden auf ihre Temperaturempfindlichkeit untersucht (Abbildung 1).

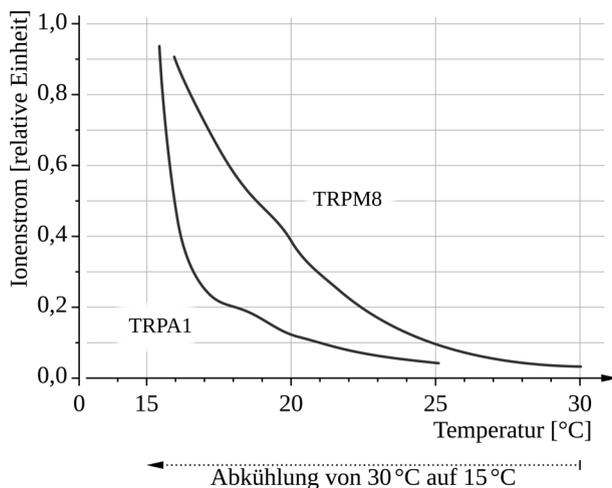


Abbildung 1 Ionenstrom durch TRPM8- und TRPA1-Ionenkanäle der Maus bei verschiedenen Temperaturen. Die Temperatur wurde im Verlauf der Messungen von 30° Celsius ausgehend bis auf 15° Celsius abgekühlt.



Name: _____

Material B: Kältesensitivität bei Winterschläfern und winteraktiven Nagetieren

Tiere überwintern bei kalten Außentemperaturen mithilfe verschiedener Strategien. Die Winterschläfer suchen ein Versteck auf, das nur bei akuter Gefahr des Erfrierens verlassen wird. Während des Winterschlafs sind bei ihnen Körpertemperatur, Atemfrequenz und Herzfrequenz stark abgesenkt. Die physiologischen Abläufe bei Einschlafen und Aufwachen sind bislang nur in Ansätzen verstanden und könnten unter anderem durch die Kälteempfindlichkeit des Tiers beeinflusst werden. Daher wurde die Kältesensitivität bei Winterschläfern und einer verwandten winteraktiven Art vergleichend analysiert.

Dazu wurden zwei Arten typischer Winterschläfer, das Dreizehnstreifen-Hörnchen (beheimatet in den trockenen Grasflächen der Prärien im Westen der USA) und der Goldhamster (beheimatet in den Steppen der Hochebene Nord-Syriens) untersucht. Als Vergleich diente die Hausmaus, Vertreter einer winteraktiven Nagetierart. Für das Experiment wurden die Tiere in einer Box gehalten, deren Boden in zwei beheizbare Platten unterteilt war. Die Tiere konnten nach Belieben zwischen den Platten wechseln.

Während eine der beiden Bodenplatten konstant auf 30 °C temperiert war, wurde die andere Platte (Testplatte) schrittweise alle 5 Minuten bis auf 0 °C heruntergekühlt. Gemessen wurde die Aufenthaltsdauer auf der Testplatte im Vergleich zur gleichbleibend warmen Platte (Abbildung 2).

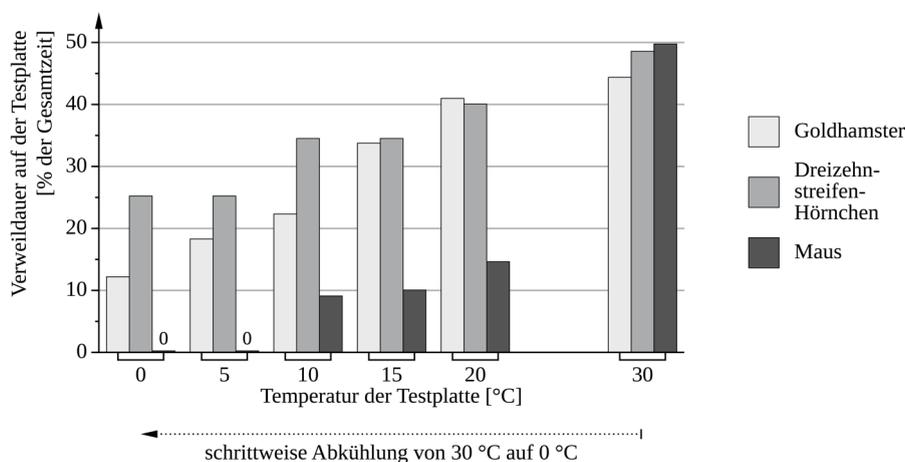


Abbildung 2 Temperaturpräferenz von ausgewählten Nagetieren



Name: _____

Material C: Molekulare Ursachen der Kältesensitivität

Um die molekularen Ursachen der unterschiedlichen Kältesensitivität genauer zu untersuchen, wurden Mäuse genetisch so verändert, dass sie keine funktionsfähigen TRPM8-Ionenkanäle bilden. Das Verhalten dieser Knockout-Mäuse und der Wildtyp-Mäuse wurde im Temperatur-Präferenztest, der wie in Material B beschrieben durchgeführt wurde, verglichen (Abbildung 3). Temperatursensible Neuronen dieser Knockout-Mäuse bilden sich normal aus, es fehlt lediglich ein funktionsfähiger TRPM8-Ionenkanal.

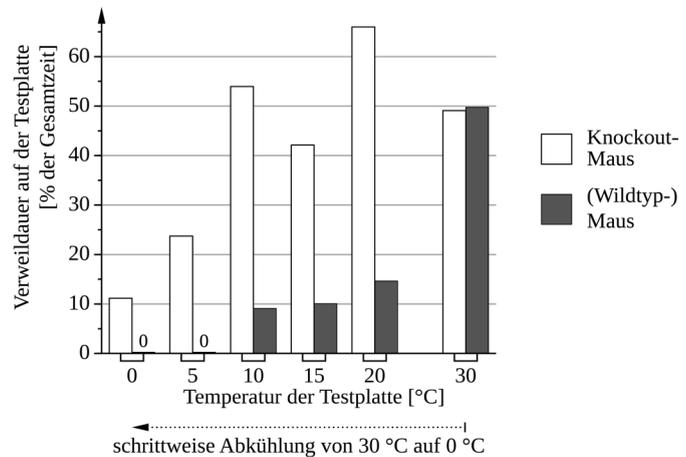


Abbildung 3 Temperaturpräferenz von Knockout-Maus und Wildtyp-Maus.
Der Test wurde wie in Material B beschrieben durchgeführt.

Um die Temperaturempfindlichkeit der TRPM8-Ionenkanäle beim Dreizehnstreifen-Hörnchen genauer zu analysieren, wurde die Ionenleitfähigkeit dieser Kanäle bei Zufügen eines Kältereizes gemessen. Als Vergleich dienten hier die TRPM8-Ionenkanäle der Ratte, die sich gleichartig wie die TRPM8-Ionenkanäle der Maus verhalten (Abbildung 4).

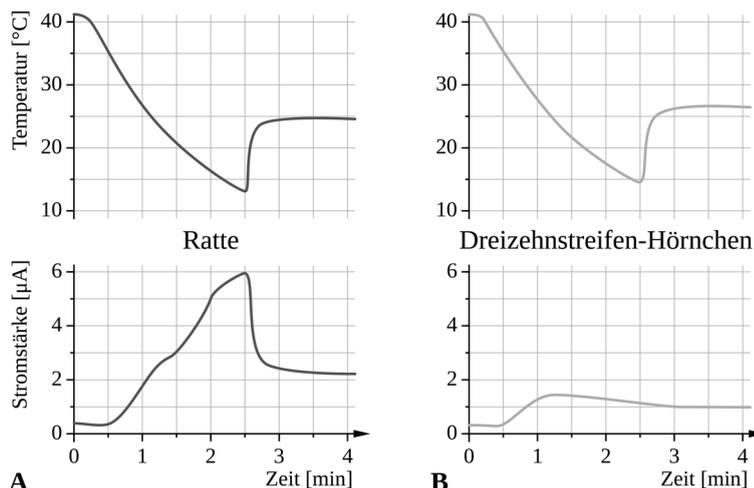


Abbildung 4 Stromstärke an einem Membranabschnitt mit TRPM8-Ionenkanälen bei Zufügen eines Kältereizes. A Ratte; B Dreizehnstreifen-Hörnchen

Material D: Aminosäureaustausche bei TRPM8-Ionenkanälen

Bei der vergleichenden funktionellen Analyse von TRPM8-Ionenkanälen verschiedener Säugetiere zeigt sich, dass durch Austausch einzelner, im Bereich der Kanalpore liegender Aminosäuren das Kanalprotein so beeinflusst wird, dass sich die Temperaturempfindlichkeit des TRPM8-Ionenkanals verändert.

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Thema: Kältesensitivität bei Nagetieren

1. Stellen Sie eine Methode zur Untersuchung von Ionenströmen an Ionenkanälen dar. Vergleichen Sie die Temperaturempfindlichkeit der untersuchten Ionenkanäle der Maus (Abbildung 1). Begründen Sie das Vorhandensein von TRPA1-Ionenkanälen in Schmerzrezeptoren (Material A). *(16 Punkte)*
2. Fassen Sie die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse zusammen und werten Sie diese aus (Material B). Erläutern Sie vor diesem Hintergrund die mögliche Bedeutung der Kältesensitivität für Winterschläfer (Material B). *(16 Punkte)*
3. Fassen Sie die Ergebnisse der Untersuchungen aus Material C zusammen. Skizzieren Sie die Rezeptorpotenziale, die bei gleichem Kältereiz bei den temperatursensiblen Neuronen von Maus, Knockout-Maus und Dreizehnstreifen-Hörnchen zu erwarten sind (Materialien B und C). Erläutern Sie die molekularen Ursachen der Kältesensitivität bei den hier betrachteten Winterschläfern (Materialien A bis C). *(20 Punkte)*
4. Entwickeln Sie eine Hypothese zu den molekularen Veränderungen des TRPM8-Ionenkanals beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Material D). Erläutern Sie auf Basis der synthetischen Theorie der Evolution den möglichen Prozess der Entwicklung geringerer Kältesensitivität beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Materialien A bis D). *(14 Punkte)*

3. Materialgrundlage

- Material A
Abbildung 1: verändert nach Story et al., 2003, Abb. 5B, S. 824
- Material B
Abbildung 2: verändert nach Matos-Cruz et al., 2017, Abb. 1B und 1C, S. 3330

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Material C
Abbildung 3: verändert nach Matos-Cruz et al., 2017, Abb. 1D, S. 3330
Abbildung 4: verändert nach Matos-Cruz et al., 2017, Abb. 3E und 3F, S. 3332
- Bautista, D. M., Siemens, J., Glazer, J. M., Tsuruda, P. R., Basbaum, A. I., ... Julius, D. (2007). The menthol receptor TRPM8 is the principal detector of environmental cold. *Nature*, 448(7150), 204–208. <https://doi.org/10.1038/nature05910>
- Madrid, R. & Pertusa, M. (2014). Intimacies and Physiological Role of the Polymodal Cold-Sensitive Ion Channel TRPM8. In L. D. Islas & F. Qin (Hrsg.), *Current Topics in Membranes* (Bd. 74, S. 293–324). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800181-3.00011-7>
- Matos-Cruz, V., Schneider, E. R., Mastrotto, M., Merriman, D. K., Bagriantsev, S. N. & Gracheva, E. O. (2017). Molecular Prerequisites for Diminished Cold Sensitivity in Ground Squirrels and Hamsters. *Cell Reports*, 21(12), 3329–3337. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2017.11.083>
- Pertusa, M., Rivera, B., González, A., Ugarte, G. & Madrid, R. (2018). Critical role of the pore domain in the cold response of TRPM8 channels identified by ortholog functional comparison. *Journal of Biological Chemistry*, jbc.RA118.002256. <https://doi.org/10.1074/jbc.RA118.002256>
- Story, G. M., Peier, A. M., Reeve, A. J., Eid, S. R., Mosbacher, J., ... Patapoutian, A. (2003). ANKTM1, a TRP-like Channel Expressed in Nociceptive Neurons, Is Activated by Cold Temperatures. *Cell*, 112(6), 819–829. [https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(03\)00158-2](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(03)00158-2)

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*
 - Neurobiologie
 - Aufbau und Funktion von Neuronen
 - Neuronale Informationsverarbeitung und Grundlagen der Wahrnehmung
 - Ökologie
 - Umweltfaktoren und ökologische Potenz
 - 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	<p>stellt eine Methode zur Untersuchung von Ionenströmen an Ionenkanälen dar, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Patch-Clamp-Technik erlaubt es, den Ionenfluss durch einen Ionenkanal zu messen. Dazu wird eine sehr feine Saugkapillare mit einer Messelektrode so auf die Membran eines Neurons gesetzt, dass idealerweise nur ein Ionenkanal enthalten ist. Die Membran wird leicht angesaugt, sodass der Rand dicht abgeschlossen ist. Wird das Neuron einem Reiz ausgesetzt, kann der Ionenfluss durch den Kanal über die Änderung der Stromstärke ermittelt werden. <p><i>(Falls die Voltage-Clamp-Technik dargestellt wird, ist das entsprechend zu bewerten.)</i></p>	4
2	<p>vergleicht die Temperaturempfindlichkeit der untersuchten Ionenkanäle der Maus (Abbildung 1), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Der TRPM8-Ionenkanal erreicht bei 20 °C einen Stromfluss von 0,4 relativen Einheiten und bei 17 °C von 0,7 relativen Einheiten, bei 15 °C ist der Stromfluss am höchsten mit 0,9 relativen Einheiten. Der TRPA1-Ionenkanal erreicht bei 20 °C einen Stromfluss von 0,1 relativen Einheiten und bei 17 °C von 0,2 relativen Einheiten, bei 15 °C ist der Stromfluss am höchsten mit etwa 0,95 relativen Einheiten. 	4
3	<p>vergleicht die Temperaturempfindlichkeit der untersuchten Ionenkanäle der Maus (Abbildung 1), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Beide Ionenkanäle reagieren auf die Abkühlung mit einer Erhöhung ihrer Ionenleitfähigkeit, da der messbare Stromfluss zunimmt. Der TRPM8-Ionenkanal der Maus reagiert bereits auf leichte Abkühlung mit einer Erhöhung der Leitfähigkeit, während der TRPA1-Ionenkanal erst in niedrigeren Temperaturbereichen, aber dann stark, aktiviert wird. 	4
4	<p>begründet das Vorhandensein von TRPA1-Ionenkanälen in Schmerzrezeptoren (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Für gleichwarme Lebewesen wie die Maus ist eine Regulation der Körpertemperatur entscheidend für das Überleben und daher muss bei möglicher Schädigung durch extrem kalte Temperaturen eine schnelle Reaktion ermöglicht werden. TRPA1-Ionenkanäle werden bei schädigender Kälte aktiviert. Daher muss eine schnelle Schutzreaktion des Körpers erfolgen, sodass kein dauerhafter Schaden entsteht. Schmerz ist eine unspezifische Wahrnehmung von gefährlichen Reizen wie schädigender Kälte, Hitze oder Verletzungen und bewirkt eine sofortige Reaktion des Organismus. 	4
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>fasst die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse zusammen (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei einer Temperatur von 30 °C lässt sich bei den drei Nagetierarten keine Präferenz der beiden Platten erkennen, die Verweildauer liegt jeweils bei 50 %. • Schon bei einer Abkühlung der Testplatte auf 20 °C meidet die Maus diese Platte und betritt sie bei 5 °C gar nicht mehr. • Der Goldhamster zeigt eine geringere Kälteempfindlichkeit als die Maus. Seine Verweildauer auf der Testplatte nimmt von 40 % bei 20 °C auf 10 % bei 0 °C ab. • Das Dreizehnstreifen-Hörnchen zeigt eine geringe Kältesensitivität. Bei Temperaturen zwischen 10 °C und 20 °C hält es sich zu etwa 35 % auf der Testplatte auf, bei 5 °C oder 0 °C bleibt es zu 25 % der Zeit auf der Testplatte. 	8
2	<p>wertet diese aus (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Experiment zur Temperaturpräferenz bei Nagetieren zeigt, dass Dreizehnstreifen-Hörnchen und Goldhamster, beide Winterschläfer, eine deutlich geringere Kältesensitivität im Vergleich zur winteraktiven Maus besitzen. 	2
3	<p>erläutert vor diesem Hintergrund die mögliche Bedeutung der Kältesensitivität für Winterschläfer (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Tiere befanden sich alle im wachen, also aktiven Zustand. Daher sind keine Aussagen über die Kältesensitivität der Winterschläfer während ihres Winterschlafes möglich. • Eine ausgeprägte Kältesensitivität bei ungefährlichen Temperaturen könnte für Winterschläfer wie Dreizehnstreifen-Hörnchen und Goldhamster ein Nachteil sein: Durch das Wahrnehmen einer geringen Temperatur würden die Tiere möglicherweise in ihrem Winterschlaf gestört werden. Das Aufwachen und der damit verbundene Anstieg der Körpertemperatur würde sehr viel Energie kosten. • Ein Überwintern mithilfe eines Winterschlafs könnte auf diese Weise bei den hier untersuchten Arten besser ermöglicht werden. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>fasst die Ergebnisse der Untersuchungen aus Material C zusammen, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Knockout-Mäuse verhalten sich im Temperaturpräferenztest viel weniger kältesensitiv als Mäuse mit intaktem TRPM8-Ionenkanälen, daher ähnlich wie Goldhamster oder Dreizehnstreifen-Hörnchen. • Die Stromstärke nimmt bei TRPM8-Ionenkanälen der Ratte während des Kältereizes auf 6 μA zu und ist damit etwa vier Mal groß wie die Stromstärke bei den entsprechenden Ionenkanälen des Dreizehnstreifen-Hörnchens (1,5 μA). 	4
2	<p>skizziert die Rezeptorpotenziale, die bei gleichem Kältereiz bei den temperatursensiblen Neuronen von Maus, Knockout-Maus und Dreizehnstreifen-Hörnchen zu erwarten sind (Materialien B und C), z. B.:</p> <div style="text-align: center;"> <p>The figure consists of three separate coordinate systems. Each has a vertical axis labeled 'Membranpotenzial' and a horizontal axis labeled 'Zeit'. A dashed horizontal line in each graph represents the 'Ruhepotenzial' (resting potential). 1. 'Maus': Shows a sharp, high-amplitude peak above the resting potential, labeled 'Rezeptorpotenzial'. 2. 'Knockout-Maus': Shows a flat line exactly at the resting potential level. 3. 'Dreizehnstreifen-Hörnchen': Shows a small, broad peak above the resting potential level.</p> </div> <p><i>(Alternative, fachlich korrekte Skizzen, wie zum Beispiel eine geringe Depolarisation als Rezeptorpotenzial bei der Knockout-Maus, sind entsprechend zu werten.)</i></p>	8
3	<p>erläutert die molekularen Ursachen der Kältesensitivität bei den hier betrachteten Winterschläfern (Materialien A bis C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Temperaturpräferenztest mit Wildtyp-Mäusen und Knock-out-Mäusen (Abbildung 3) zeigt, dass der TRPM8-Kanal für die Verringerung der Kältesensitivität entscheidend ist. • Abbildung 4 belegt, dass der TRPM8-Kanal des Dreizehnstreifen-Hörnchens tatsächlich auf einen Kältereiz mit einem deutlich geringeren Durchfluss von Ionen als der TRPM8-Kanal der Ratte reagiert. Bei den TRPM8-Ionenkanälen von Ratte und Maus können, aufgrund des gleichartigen Verhaltens, gleiche Messergebnisse erwartet werden. Dies erklärt die geringere Kältesensitivität des Dreizehnstreifen-Hörnchens im Temperaturpräferenztest im Vergleich zur Maus. 	6
4	<p>erläutert die molekularen Ursachen der Kältesensitivität bei den hier betrachteten Winterschläfern (Materialien A bis C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dennoch hat das Dreizehnstreifen-Hörnchen, genauso wie der Goldhamster, ein Kälteempfinden, da es sich auf der Testplatte bei 0 °C nur noch zu 25 % der Zeit aufhält. Dies könnte durch die Aktivität des TRPA1-Ionenkanals vermittelt werden, der auf schädigende Kälte reagiert. Zusätzlich könnte die noch vorhandene, geringe Aktivität des TRPM8-Ionenkanals bei sehr niedrigen Temperaturen auch eine Reaktion des Dreizehnstreifen-Hörnchens bewirken. <p><i>(Andere fachlich korrekte Erläuterungen sind entsprechend zu bewerten.)</i></p>	2
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>entwickelt eine Hypothese zu den molekularen Veränderungen des TRPM8-Ionenkanals beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Material D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vermutlich werden im Bereich der Kanalpore Aminosäureaustausche im TRPM8-Kanalprotein des Dreizehnstreifen-Hörnchens vorkommen, die eine geringere Kältesensitivität im Vergleich zum entsprechenden Ionenkanal der Maus verursachen. 	2
2	<p>erläutert auf Basis der synthetischen Theorie der Evolution den möglichen Prozess der Entwicklung geringerer Kältesensitivität beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TRPM8-Ionenkanäle sind neben TRPA1-Ionenkanälen wesentlich für die Wahrnehmung von Kältereizen, wobei sie vorwiegend auf nicht-schädigende Abkühlung reagieren. • Mutationen, die zu Aminosäureaustauschen insbesondere im Bereich der Kanalpore führen, können die Temperaturempfindlichkeit des TRPM8-Ionenkanals verändern. In einer Population des Dreizehnstreifen-Hörnchens könnten verschiedene Varianten des TRPM8-Allels vorkommen, die eine unterschiedliche Kältesensitivität bewirken. • Dreizehnstreifen-Hörnchen, die aufgrund einer geringeren Kältesensitivität möglicherweise Selektionsvorteile bei der Überwinterung durch Winterschlaf erhalten, könnten vermehrt ihre Allele in den Genpool der folgenden Generation einbringen. Sie hätten eine höhere reproduktive Fitness. So könnte sich das Allel des geringer kältesensiblen TRPM8-Ionenkanals bei den Dreizehnstreifen-Hörnchen verbreiten. 	8
3	<p>erläutert auf Basis der synthetischen Theorie der Evolution den möglichen Prozess der Entwicklung geringerer Kältesensitivität beim Dreizehnstreifen-Hörnchen (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei schädigenden Außentemperaturen müsste allerdings das Aufwachen der Dreizehnstreifen-Hörnchen ermöglicht werden. • TRPA1-Kanal reagiert zum Beispiel bei der Maus auf schädigende Kältereize. Beim Dreizehnstreifen-Hörnchen könnte dieser Ionenkanal bei extremen Kältereizen aktiviert werden und eine Schmerzempfindung verursachen. So könnte das Hörnchen bei der Gefahr des Erfrierens aufwachen und dem Tod durch Erfrieren entkommen. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	<ul style="list-style-type: none"> • führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus. • strukturiert seine Darstellung sachgerecht. • verwendet eine differenzierte und präzise Sprache. • gestaltet seine Arbeit formal ansprechend. 	9

7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit

Name des Prüflings: _____ Kursbezeichnung: _____

Schule: _____

a) inhaltliche Leistung

Teilaufgabe 1

	Anforderungen	Lösungsqualität ²			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	stellt dar ...	4			
2	vergleicht ...	4			
3	vergleicht ...	4			
4	begründet ...	4			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 1. Teilaufgabe	16			

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	Der Prüfling				
1	fasst zusammen ...	8			
2	wertet aus ...	2			
3	erläutert ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
	Summe 2. Teilaufgabe	16			

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

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	fasst zusammen ...	4			
2	skizziert ...	8			
3	erläutert ...	6			
4	erläutert ...	2			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 3. Teilaufgabe		20			

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	entwickelt eine Hypothese ...	2			
2	erläutert ...	8			
3	erläutert ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 4. Teilaufgabe		14			

Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe		66			
--	--	-----------	--	--	--

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<ul style="list-style-type: none"> • führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ... 	9			
Summe Darstellungsleistung		9			

Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)		75			
---	--	-----------	--	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in LK HT 1.



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

Aufgabenstellung:

Thema: Die Ägyptische Tigermücke – Überträgerin tropischer Krankheitserreger

1. Stellen Sie kurz die ökologischen Beziehungen zwischen Ägyptischen Tigermücken, Menschen, Zika-Viren und Pflanzen dar (Material A). Erklären Sie die Möglichkeiten und Probleme bei der bisherigen klassischen Bekämpfung der Tigermückenpopulation (Material A). *(12 Punkte)*
2. Erläutern Sie den Mechanismus der Tetracyclin-abhängigen Genregulation bei resistenten Bakterien unter Bezug auf Abbildung 1 (Material B). *(14 Punkte)*
3. Beschreiben Sie die Konstruktion der transgenen Region, die im Laborstamm LA513A enthalten ist, und nennen Sie die Funktion des Aktivatorbereiches im TTAV-Protein (Abbildung 2, Material C). Erläutern Sie die Mechanismen der Genregulation in LA513A (Abbildung 3) und erklären Sie die Auswirkungen für die transgenen Tigermücken (Material C). *(22 Punkte)*
4. Beurteilen Sie den Erfolg der Freisetzungsversuche und die möglichen Risiken auch unter Bezug auf Abbildung 4 (Materialien A bis D). *(18 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Material A: Lebensweise der Ägyptischen Tigermücke

Die Ägyptische Tigermücke (*Aedes aegypti*) ist eine vorwiegend in den Tropen und Subtropen verbreitete Stechmücke und die hauptsächliche Überträgerin von verschiedenen viralen Krankheitserregern wie zum Beispiel Zika-Viren.

Bei *A. aegypti* ernähren sich Männchen und Weibchen von Nektar und anderen nährstoffreichen Pflanzensäften. Die Weibchen saugen nach der Befruchtung Blut beim Menschen und erhalten so die notwendigen Nährstoffe für die Eireifung. Beherbergen die Mückenweibchen Viren, so können diese beim Stich in das menschliche Blutgefäßsystem übertragen werden. Zur Eiablage bevorzugen die weiblichen Tigermücken Pfützen und andere Kleinstgewässer in der Nähe menschlicher Siedlungen. Trockenzeiten, die trotz der häufigen Regenfälle in Tropen und Subtropen vorkommen, können die Mückeneier sehr gut überstehen. Die Mückenlarven entwickeln sich im Wasser über mehrere Larvenstadien und ein Puppenstadium, aus der Puppe schlüpft die adulte Form. Klassische Methoden der Schädlingsbekämpfung wie Austrocknung der Kleinstgewässer, Insektensprays und Moskitonetze führten bislang bei *A. aegypti* nicht zum dauerhaften Erfolg. Flächendeckend ausgebrachte Insektizide verursachen hohe Kosten, schädigen andere Insekten und bergen eventuell Risiken für den Menschen. Daher wird zurzeit die Freisetzung genetisch veränderter, transgener Tigermücken-Männchen erforscht, um die Populationen der Tigermücken dauerhaft einzudämmen.



Name: _____

Material B: Tetracyclin-Resistenz in Bakterien

Die transgenen Tigermücken-Männchen enthalten ein gentechnisch verändertes Tetracyclin-Resistenz-Gen, das ursprünglich aus dem Bakterium *Escherichia coli* stammt. Der Wirkstoff Tetracyclin ist ein in Tier- und Humanmedizin eingesetztes Antibiotikum. Tetracyclin blockiert die Translation in Prokaryoten und führt so zum Absterben der Bakterien. Bei Eukaryoten wird die Proteinbiosynthese durch Tetracyclin nicht gestört.

Die Tetracyclin-Resistenz in *E. coli* wird durch die Genprodukte der Gene *tetA* und *tetR* bewirkt, die in resistenten Bakterien enthalten sind. Das Gen *tetA* codiert für das Membranprotein TetA, welches Tetracyclin schnell aus der Bakterienzelle transportiert. Das Gen *tetR* codiert für das Repressor-Protein TetR, das Tetracyclin mit großer Effizienz bindet. Die sehr schnelle Expression dieser beiden Gene wird durch einen Tetracyclin-abhängigen Mechanismus mithilfe von TetR reguliert (Abbildung 1).

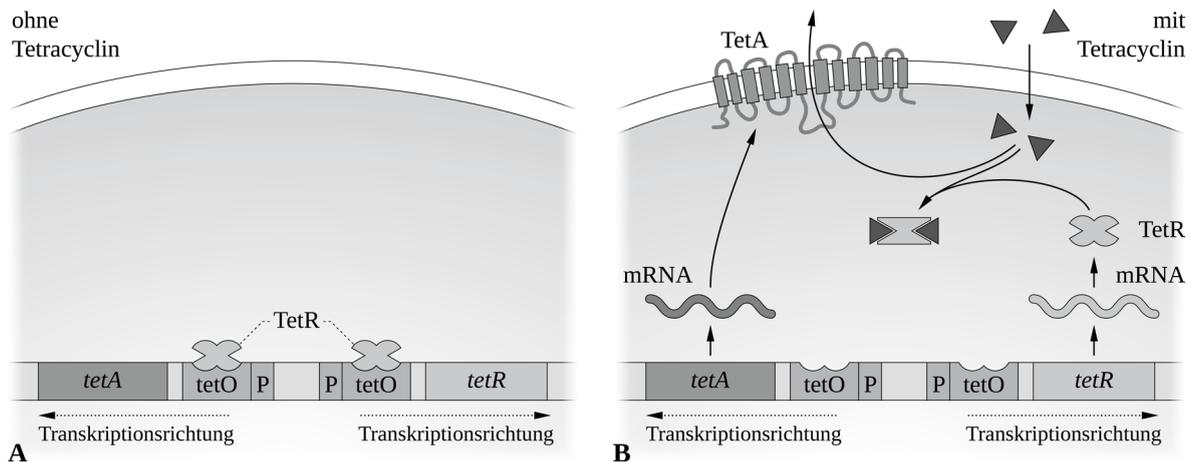


Abbildung 1 Expression des *tetA*- und des *tetR*-Gens in *Escherichia coli* in Abwesenheit (A) und Anwesenheit (B) von Tetracyclin.

In Abwesenheit von Tetracyclin befindet sich nur eine geringe Menge von TetR in der Bakterienzelle.
tetO: tet-Operator; TetR: Repressorprotein; P: bakterieller Promotor

Material C: Tetracyclin als Genschalter in Eukaryoten

Für die Herstellung transgener Ägyptischer Tigermücken (*Aedes aegypti*) wurde das *tetR*-Gen aus *Escherichia coli* gentechnisch so verändert, dass Tetracyclin als Genschalter eingesetzt werden kann. Ein Genschalter ermöglicht das gezielte An- und Ausschalten der Genexpression.

Das Ziel war die Herstellung eines transgenen Laborstamms von *A. aegypti*, der nur bei Zugabe von Tetracyclin überlebt. In Abwesenheit von Tetracyclin soll der gewünschte transgene Tigermückenstamm während seiner Entwicklung vom Ei zum adulten Insekt absterben.



Name: _____

Die Forschergruppe verwendete den Bereich des *tetR*-Gens, der für die Bindung des Tetracyclins und die Wechselwirkung mit dem tet-Operator notwendig ist. Daran fügte sie einen Genabschnitt, der für den Aktivatorbereich eines eukaryotischen Transkriptionsfaktors codiert. Das daraus resultierende Fusionsgen ist das *tTAV*-Gen, das hinter den tet-Operator und einen eukaryotischen Promotor gesetzt wurde (Abbildung 2). Mithilfe dieses Konstruktes wurde der transgene Stamm LA513A von *A. aegypti* im Labor erzeugt. Aktivatoren erleichtern die Bindung der RNA-Polymerase an den Promotor.

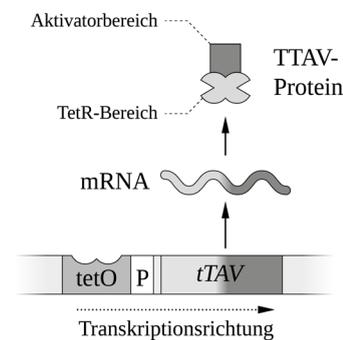


Abbildung 2 Konstruktion der Transgene, die im Laborstamm LA513A enthalten sind. tetO: tet-Operator; P: eukaryotischer Promotor

Die Expression des *tTAV*-Gens wird im Stamm LA513A durch Tetracyclin reguliert (Abbildung 3).

In Anwesenheit von Tetracyclin liegt nur eine sehr geringe Transkriptionsrate des *tTAV*-Gens vor.

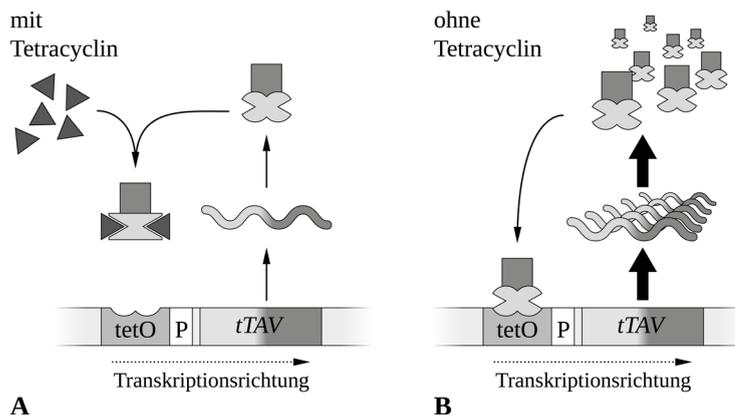


Abbildung 3 Expression der Transgene im Stamm LA513A. A Expression in Anwesenheit von Tetracyclin; B Expression in Abwesenheit von Tetracyclin; tetO: tet-Operator; P: eukaryotischer Promotor

Unter Zusatz von Tetracyclin im Nährmedium der Larven kann der Stamm LA513A dauerhaft weiter vermehrt werden.

Ohne Tetracyclin kommt es meist zu tödlichen Fehlentwicklungen, sodass Tigermücken des Stammes LA513A vor Erreichen der Flugfähigkeit und Geschlechtsreife absterben. Die übermäßig hohe Menge von TTAV-Protein im Stamm LA513A beeinflusst zelleigene Transkriptionsfaktoren, die eine normale Entwicklung der Larven zu adulten, flugfähigen Insekten steuern. Das TTAV-Protein kann an diese zelleigenen Transkriptionsfaktoren binden, ihre regulatorischen Eigenschaften verändern und so die gesamte Entwicklung stören.

Paaren sich transgene, homozygote Tigermücken-Männchen mit Wildtyp-Weibchen, so wird die transgene Region an die Nachkommen vererbt. Bei Abwesenheit von Tetracyclin führt die transgene Region als dominant wirkendes Allel fast immer zum Tod der transgenen heterozygoten Tigermücken vor Erreichen der Flugfähigkeit und Geschlechtsreife.



Name: _____

Material D: Freisetzungsversuche von LA513A

In Brasilien wurden 2011 und 2012 Freisetzungsversuche mit transgenen homozygoten LA513A-Männchen durchgeführt. Über einen Zeitraum von 16 Monaten wurden regelmäßig LA513A-Männchen in einem definierten Gebiet freigesetzt. Dabei sollte analysiert werden, ob sich die LA513A-Männchen mit den Wildtyp-Weibchen im Freiland paaren und inwieweit es dann zur Reduktion der Populationsgröße der Tigermücken im Freisetzungsgebiet kommt. Während die Populationsgröße der Tigermücken im Kontrollgebiet abgesehen von den jahreszeitlich bedingten Schwankungen unverändert blieb, konnte im Freisetzungsgebiet die Populationsgröße adulter Tigermücken über mehrere Wochen um 96 % reduziert werden.

Um zu einer Risikoabschätzung zu gelangen, ob Rückstände von Tetracyclin in kommunalen Abwässern eine Entwicklung von LA513A zum flugfähigen, geschlechtsreifen Insekt ermöglichen, wurden in einem Laborversuch heterozygote, transgene Larven nach dem ersten Larvenstadium bei verschiedenen Tetracyclin-Konzentrationen aufgezogen (Abb. 4).

Im Oberflächen- und Grundwasser werden Tetracyclin-Konzentrationen von etwa 1 ng/mL erreicht. In Abwässern von Krankenhäusern oder Tierzucht- bzw. Tiermastbetrieben können Tetracyclin-Konzentrationen von rund 1000 ng/mL auftreten. Unter Lichteinfluss wird Tetracyclin innerhalb von Minuten bis Stunden zersetzt.

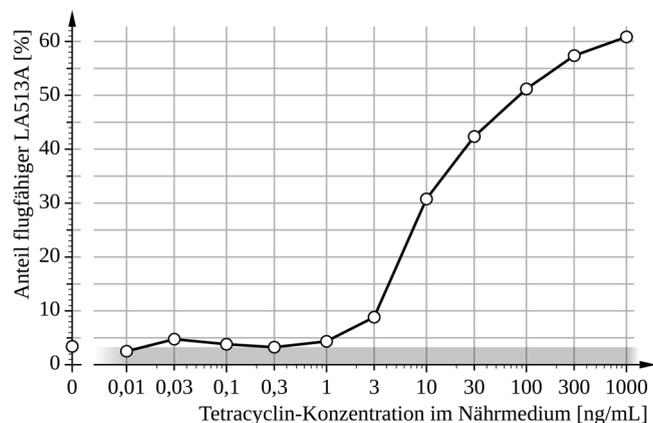


Abbildung 4 Einfluss von Tetracyclin auf die Entwicklung heterozygoter LA513A ab dem ersten Larvenstadium. ng = 10^{-9} Gramm, mL = 10^{-3} Liter

Unterlagen für die Lehrkraft

Abiturprüfung 2019

Biologie, Leistungskurs

1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

2. Aufgabenstellung¹

Thema: Die Ägyptische Tigermücke – Überträgerin tropischer Krankheitserreger

1. Stellen Sie kurz die ökologischen Beziehungen zwischen Ägyptischen Tigermücken, Menschen, Zika-Viren und Pflanzen dar (Material A). Erklären Sie die Möglichkeiten und Probleme bei der bisherigen klassischen Bekämpfung der Tigermückenpopulation (Material A). (12 Punkte)
2. Erläutern Sie den Mechanismus der Tetracyclin-abhängigen Genregulation bei resistenten Bakterien unter Bezug auf Abbildung 1 (Material B). (14 Punkte)
3. Beschreiben Sie die Konstruktion der transgenen Region, die im Laborstamm LA513A enthalten ist, und nennen Sie die Funktion des Aktivatorbereiches im TTAV-Protein (Abbildung 2, Material C). Erläutern Sie die Mechanismen der Genregulation in LA513A (Abbildung 3) und erklären Sie die Auswirkungen für die transgenen Tigermücken (Material C). (22 Punkte)
4. Beurteilen Sie den Erfolg der Freisetzungsversuche und die möglichen Risiken auch unter Bezug auf Abbildung 4 (Materialien A bis D). (18 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material B
Abbildung 1: eigene Abbildung nach Hillen & Berens, 2002, Abb. 1, S. 355
- Material C
Abbildung 2: eigene Abbildung nach Phuc et al., 2007, Abb. 2, S. 5
Abbildung 3: eigene Abbildung nach Hillen & Berens, 2002, Abb. 2, S. 356
- Material D
Abb. 4: eigene Abbildung nach Oxitec Ltd., 2016, Tab. 2, S. 53

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Carvalho, D. O., McKemey, A. R., Garziera, L., Lacroix, R., Donnelly, C. A., ... Capurro, M. L. (2015). Suppression of a Field Population of *Aedes aegypti* in Brazil by Sustained Release of Transgenic Male Mosquitoes. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 9(7), e0003864. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003864>
- Gelbfiebermücke. (2018). In *Wikipedia*. Abgerufen von <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gelbfieberm%C3%BCcke&oldid=174180416>
- Gelbfiebermücke (*Aedes aegypti*). (o. J.). Abgerufen 23. Mai 2018, von <https://www.biogents.com/aedes-aegypti-gelbfiebermuecke/?lang=de>
- Hillen, W. & Berens, C. (2002). Tetracyclin-gesteuerte Genregulation: Vom bakteriellen Ursprung zum eukaryotischen Werkzeug. *BIOspektrum*, 8(4), 355–359.
- Oxitec Ltd. (2016). *Aedes aegypti OX513A. Draft Environmental Assessment for Investigational Use of Aedes aegypti OX513A*. Milton Park, Oxfordshire (UK).
- Phuc, H., Andreasen, M. H., Burton, R. S., Vass, C., Epton, M. J., ... Alphey, L. (2007). Late-acting dominant lethal genetic systems and mosquito control. *BMC Biology*, 5(1), 11. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-5-11>

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. *Inhaltliche Schwerpunkte*
 - Genetik
 - Genregulation
 - Proteinbiosynthese
 - Gentechnologie
 - Ökologie
 - Dynamik von Populationen
 - Mensch und Ökosysteme
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	<p>stellt kurz die ökologischen Beziehungen zwischen Ägyptischen Tigermücken, Menschen, Zika-Viren und Pflanzen dar (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tigermücken ernähren sich von Pflanzen, indem sie Pflanzensäfte saugen. • Tigermücken-Weibchen parasitieren Menschen, da sie nach der Befruchtung Blut saugen. • Zika-Viren nutzen die Tigermücken als Zwischenwirt und werden beim Stich auf den Menschen als Wirt übertragen. <p>(Die Darstellung der Zika-Viren als Parasiten des Menschen soll entsprechend bewertet werden.)</p>	5
2	<p>erklärt die Möglichkeiten und Probleme bei der bisherigen klassischen Bekämpfung der Tigermückenpopulation (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durch die vollständige Austrocknung der Brutplätze könnten die Mückenlarven bekämpft werden. Die Eier können allerdings Trockenzeiten überdauern. • Insektensprays und Moskitonetze reduzieren die Populationsgröße der Tigermücken nicht dauerhaft. 	3
3	<p>erklärt die Möglichkeiten und Probleme bei der bisherigen klassischen Bekämpfung der Tigermückenpopulation (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die häufigen Niederschläge in den Verbreitungsgebieten der Tigermücke erschweren das erfolgreiche Austrocknen der Kleinstgewässer. • Flächendeckend ausgebrachte Insektizide verursachen dauerhafte Kosten, schädigen nicht nur die Tigermücken, sondern auch andere Insekten und bergen eventuell gesundheitliche Risiken für den Menschen. 	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erläutert den Mechanismus der Tetracyclin-abhängigen Genregulation bei resistenten Bakterien unter Bezug auf Abbildung 1 (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ist kein Tetracyclin vorhanden, liegt nur eine geringe Menge von TetR in der Zelle vor. • In Abwesenheit von Tetracyclin sind die tet-Operatoren durch das aktive Repressorprotein TetR belegt und die Transkription der Gene <i>tetA</i> und <i>tetR</i> wird so blockiert. 	4
2	<p>erläutert den Mechanismus der Tetracyclin-abhängigen Genregulation bei resistenten Bakterien unter Bezug auf Abbildung 1 (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Induktor Tetracyclin bindet an das Repressorprotein TetR, welches dadurch seine Raumstruktur verändert und in seine inaktive Form überführt wird. In Anwesenheit von Tetracyclin liegen daher die Operatorbereiche (<i>tetO</i>) frei. 	10

	<ul style="list-style-type: none"> Die RNA-Polymerase kann an den jeweiligen Promotor binden und die Gene <i>tetA</i> beziehungsweise <i>tetR</i> transkribieren. Die Genprodukte TetA und TetR werden gebildet. TetA ist ein Membranprotein, das Tetracyclin sehr schnell aus der Bakterienzelle heraustransportiert, sodass keine Hemmung der Proteinbiosynthese in resistenten Bakterien durch das Antibiotikum eintritt. In Anwesenheit von Tetracyclin erfolgt eine schnelle Expression der <i>tetR</i>- und <i>tetA</i>-Gene in den resistenten Bakterien, sodass Tetracyclin seinen eigenen Transport aus der Bakterienzelle induziert. <p>(Die Erläuterung, dass dieser Vorgang zu einer Substrat-Induktion vergleichbar ist, kann ggf. als zusätzliches aufgabenbezogenes Kriterium bewertet werden.)</p>	
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>beschreibt die Konstruktion der transgenen Region, die im Laborstamm LA513A enthalten ist (Abbildung 2, Material C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ein gentechnisch verändertes, synthetisches Gen <i>tTAV</i> wurde konstruiert, das Anteile des bakteriellen <i>tetR</i>-Gens enthält. Das Protein TTAV kann deshalb an den Operator des Tetracyclin-Resistenz-Gens aus <i>E. coli</i> binden. Außerdem ist im <i>tTAV</i>-Gen ein Genabschnitt enthalten, der für den Aktivatorbereich eines eukaryotischen Transkriptionsfaktors codiert. Der <i>tet</i>-Operator aus <i>E. coli</i> wurde zusammen mit einem eukaryotischen Promotor vor das <i>tTAV</i>-Fusionsgen gesetzt. 	6
2	<p>nennt die Funktion des Aktivatorbereiches im TTAV-Protein (Abbildung 2, Material C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Aktivatorbereich des eukaryotischen Transkriptionsfaktors erleichtert die Bindung der RNA-Polymerase an den Promotor und erhöht daher die Transkriptionsrate des <i>tTAV</i>-Gens. 	2
3	<p>erläutert die Mechanismen der Genregulation in LA513A (Abbildung 3) und erklärt die Auswirkungen für die transgenen Tigermücken (Material C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> In Anwesenheit von Tetracyclin bindet das TTAV-Protein nicht an den Operator, da es durch Wechselwirkung mit Tetracyclin seine Raumstruktur verändert. Als Folge wird das <i>tTAV</i>-Gen nur in sehr geringer Rate transkribiert, da der eukaryotische Promotor allein keine hohe Transkriptionsrate bewirkt. Das in geringer Menge entstehende TTAV-Protein bindet an Tetracyclin und die Tigermücken entwickeln sich regulär. Ein homozygoter Laborstamm lässt sich daher unter Zusatz von Tetracyclin im Nährmedium der Larven stabil weiter vermehren. 	8
4	<p>erläutert die Mechanismen der Genregulation in LA513A (Abbildung 3) und erklärt die Auswirkungen für die transgenen Tigermücken (Material C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> In Abwesenheit von Tetracyclin bindet das TTAV-Protein an den Operator und durch den Aktivatorbereich wird eine verstärkte Transkription des <i>tTAV</i>-Gens bewirkt. Eine vermehrte Synthese des TTAV-Proteins setzt ein, und dieser Prozess verstärkt sich selbst in Form einer positiven Rückkopplung. Daher reichert sich das TTAV-Protein in den Zellen der Tigermücken an. TTAV kann an zelleigene Transkriptionsfaktoren binden und so ihre Eigenschaften beeinflussen. Diese Faktoren können dann ihre Steuerungsfunktion bei der 	6

	Larvenentwicklung nicht mehr korrekt erfüllen. Daher sterben LA513A-Tigermücken bei einer Entwicklung in Abwesenheit von Tetracyclin meist vor Erreichen der Geschlechtsreife ab.	
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>beurteilt den Erfolg der Freisetzungsversuche (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Verpaarung von homozygoten, transgenen Männchen mit Wildtyp-Weibchen führt zu heterozygoten, transgenen Nachkommen, die sich nur in Gegenwart von Tetracyclin zum adulten Insekt entwickeln können. Die Populationsgröße der Tigermücken im Freisetzungsgebiet wurde um rund 96 % reduziert, sodass hier ein positiver Effekt auf die Verringerung der Tigermückenpopulation erzielt werden konnte. 	4
2	<p>beurteilt den Erfolg der Freisetzungsversuche (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Die transgenen Männchen konkurrierten demnach im Freiland erfolgreich mit den Wildtyp-Männchen um die Wildtyp-Weibchen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit drastisch gesenkt worden, dass Menschen im Freisetzungsgebiet von Tigermücken gestochen und mit viralen Krankheitserregern wie zum Beispiel Zika-Viren infiziert werden. Die Freisetzungsversuche waren erfolgreich. 	4
3	<p>beurteilt die möglichen Risiken auch unter Bezug auf Abbildung 4 (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Bei Konzentrationen bis 1 ng/mL Tetracyclin im Nährmedium erreichen nur etwa 4 % der transgenen Tigermücken ihre Flugfähigkeit, 96 % sterben ab. Der prozentuale Anteil von transgenen Tigermücken, die sich zu flugfähigen Insekten entwickeln, liegt bei Konzentrationen von 10 ng/mL Tetracyclin im Nährmedium bei rund 30 %, bei Konzentrationen von 1000 ng/mL Tetracyclin bei 60 %. Rückstände von Tetracyclin können in Abwässern von Krankenhäusern oder Tierzucht- bzw. Tiermastbetrieben bei 1000 ng/mL liegen, sodass dort der Stamm LA513A ausgehend vom ersten Larvenstadium zu 60 % eine erfolgreiche Entwicklung zum flugfähigen Insekt durchlaufen kann. Oberflächen- oder Grundwasser, die neben Regenwasser zur Bildung von Kleinstgewässern in Frage kommen, können Tetracyclin-Rückstände einer Konzentration von etwa 1 ng/mL enthalten. Bei dieser Konzentration entwickeln sich im Laborversuch etwa 4 % der Tigermücken zum flugfähigen Insekt. <p><i>(Alternative fachlich korrekte Begründungen können entsprechend bewertet werden. Zur Vergabe der vollen Punktzahl muss der Materialbezug zu Abbildung 4 und Material D bei der Beurteilung der Risiken deutlich erkennbar sein.)</i></p>	8
4	<p>beurteilt die möglichen Risiken auch unter Bezug auf Abbildung 4 (Materialien A bis D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> Da sich Tetracyclin unter Lichteinfluss innerhalb von Minuten bis Stunden zersetzt, wird der Prozentsatz der flugfähigen adulten LA513A unter 4 % liegen. Das Risiko einer erfolgreichen Entwicklung des transgenen Stammes unter dem Einfluss von Tetracyclin-Rückständen bleibt aufgrund der Dauerbelastung von Abwässern bestehen. <p><i>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl muss der Materialbezug zu Abbildung 4 und Material D bei der Beurteilung der Risiken deutlich erkennbar sein.)</i></p>	2

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

b) Darstellungsleistung

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
	<ul style="list-style-type: none">• führt seine Gedanken schlüssig, stringent und klar aus.• strukturiert seine Darstellung sachgerecht.• verwendet eine differenzierte und präzise Sprache.• gestaltet seine Arbeit formal ansprechend.	9

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	stellt kurz dar ...	5			
2	erklärt ...	3			
3	erklärt ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 1. Teilaufgabe		12			

Teilaufgabe 2

Anforderungen		Lösungsqualität			
	Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erläutert ...	4			
2	erläutert ...	10			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 2. Teilaufgabe		14			

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

Teilaufgabe 3

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK	
1	beschreibt ...	6			
2	nennt ...	2			
3	erläutert ...	8			
4	erläutert ...	6			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2)				
Summe 3. Teilaufgabe		22			

Teilaufgabe 4

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

Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe		66		
--	--	-----------	--	--

b) Darstellungsleistung

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK	
<ul style="list-style-type: none"> • führt seine Gedanken ... • strukturiert seine Darstellung ... • verwendet eine differenzierte ... • gestaltet seine Arbeit ... 	9				
Summe Darstellungsleistung		9			

Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)		75		
---	--	-----------	--	--

Die Festlegung der Gesamtnote erfolgt auf dem Auswertungsbogen in LK HT 1.