



Name: _____

Abiturprüfung 2019

Biologie, Grundkurs

Aufgabenstellung:

Thema: Molekulare Anpasstheit von Säugetieren an ein Leben im Wasser

1. Erklären Sie kurz, inwiefern DNA-Sequenzen homologer Gene die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten widerspiegeln. Stellen Sie anhand von Abbildung 1 wesentliche Aspekte der stammesgeschichtlichen Entwicklung aquatisch lebender Säugetierarten dar und beurteilen Sie den Grad ihrer phylogenetischen Verwandtschaft (Material A). *(18 Punkte)*
2. Geben Sie mögliche mRNA-Codons für die Aminosäuren der Myoglobin-Varianten an, in denen sich die Sequenzen unterscheiden, und ermitteln Sie mögliche Mutationstypen (Tabelle 1, Materialien B und C). Erläutern Sie die wahrscheinlichen Auswirkungen der Mutationen (Material B) und werten Sie in diesem Zusammenhang Abbildung 2 aus. *(20 Punkte)*
3. Entwickeln Sie unter Bezug auf die synthetische Evolutionstheorie und das Konzept der Fitness eine ausführlich begründete Hypothese zur Entwicklung der Anpasstheiten der aquatisch und teilweise aquatisch lebenden Säugetiere hinsichtlich der Myoglobin-Varianten (Materialien A und B). Prüfen Sie in diesem Zusammenhang eine mögliche konvergente Entwicklung auf molekularer Ebene (Materialien A und B). *(16 Punkte)*

Zugelassene Hilfsmittel:

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



Name: _____

Material A: Aquatisch und teilweise aquatisch lebende Säugetierarten

Im Verlauf der Evolution der ursprünglich landlebenden Säugetiere sind auch ganz oder teilweise wasserlebende (aquatische) Arten entstanden. In Abbildung 1 sind die Arten nach ihrer Lebensweise gekennzeichnet. Für rund 130 heute lebende Säugetierarten wurde ein phylogenetischer Stammbaum aus DNA-Sequenzen von 21 nukleären proteincodierenden Genen und fünf nukleären nicht-codierenden DNA-Regionen erstellt. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus dem gesamten Stammbaum.

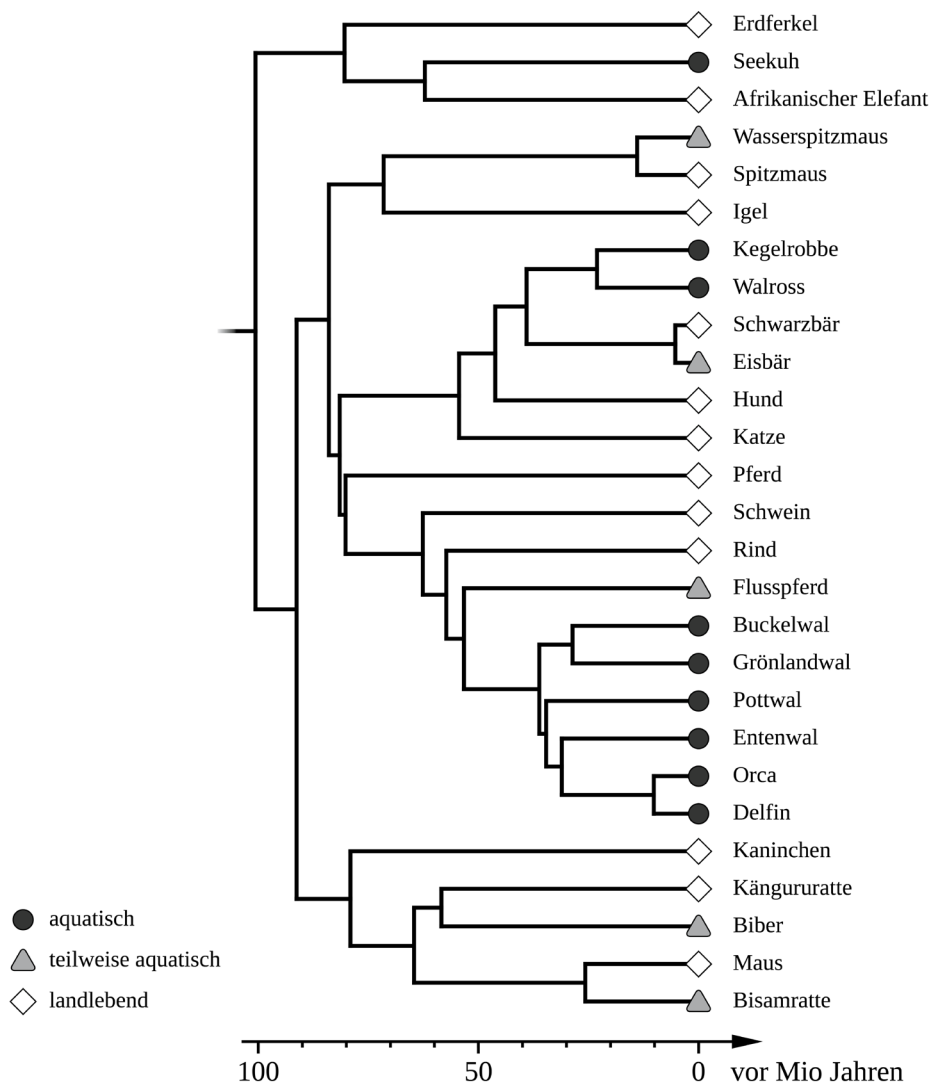


Abbildung 1 Phylogenetischer Stammbaum ausgewählter Säugetierarten.

Die Darstellung basiert auf Sequenzdaten nukleärer proteincodierender Gene sowie nukleärer nicht-codierender DNA-Regionen.



Name: _____

Material B: Verschiedene Myoglobin-Varianten bei Säugetieren

Viele wasserlebende Säugetiere können sehr ausdauernd die Atemluft anhalten und sind so zu langen Tauchgängen etwa bei der Jagd nach Beute in der Lage. Unter Wasser werden die Muskeln dann mit dem in ihnen gespeicherten Sauerstoff versorgt. Das Sauerstoff-bindende Protein Myoglobin im Muskel hat dabei eine Schlüsselfunktion. Myoglobin übernimmt den Sauerstoff vom Hämoglobin des Blutes, bindet ihn und setzt ihn bei Bedarf in den Muskelzellen frei. Die Funktionsfähigkeit von Myoglobin hängt von seiner Aminosäuresequenz ab, daher sind nur einige Bereiche des Proteins variabel.

Bei hohen Myoglobin-Konzentrationen neigt Myoglobin zur Bildung von Zusammenlagerungen und wird so in seiner Funktionsweise eingeschränkt. Eine Erhöhung der Oberflächenladung des Myoglobin-Moleküls kann wegen der Abstoßungskräfte zwischen den einzelnen Molekülen die Wahrscheinlichkeit der Zusammenlagerung verringern. Die verschiedenen, variablen Aminosäuren des Myoglobins beeinflussen seine Oberflächenladung. Der Einbau von Arginin, Histidin und Lysin zum Beispiel erhöht in der Regel die Oberflächenladung und damit die Abstoßungskräfte zwischen den Myoglobin-Molekülen.

Tabelle 1 Ausschnitte aus der Aminosäuresequenz des Myoglobins bei ausgewählten Arten.
Die Position der betreffenden Aminosäure im Myoglobin ist durch Zahlen angegeben.

Art	Position		
	115-116-117	139-140-141	151-152-153
Kegelrobbe	Leu-His-Ser	Arg-Asn-Asp	Phe-His-Gly
Schwein	Leu-Gln-Ser	Arg-Asn-Asp	Phe-Gln-Gly
Orca	Leu-His-Ser	Arg-Lys-Asp	Phe-His-Gly
Biber	Leu-Gln-Ser	Arg-Lys-Asp	Phe-Gln-Gly

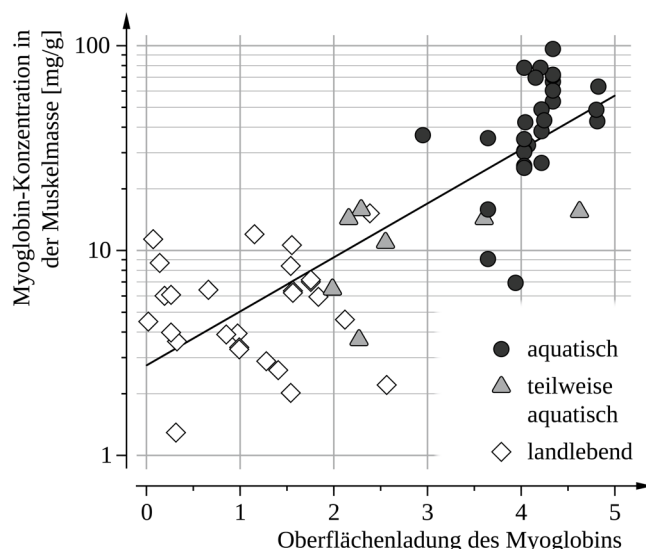
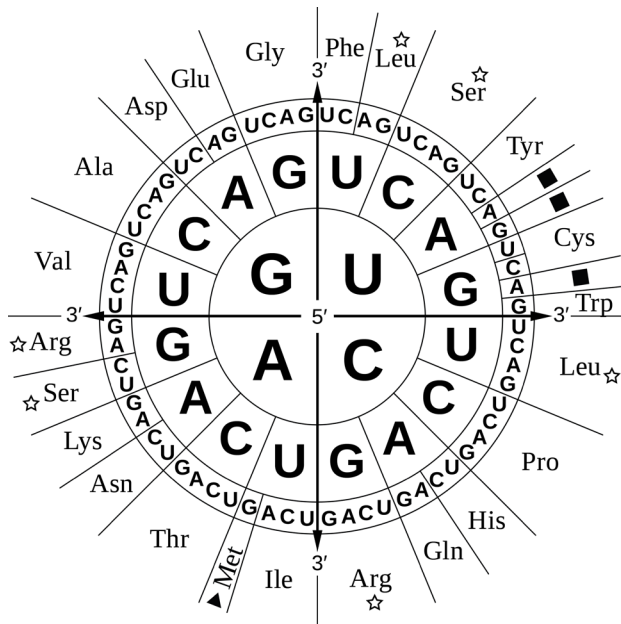


Abbildung 2 Myoglobin-Konzentration in der Muskelmasse in Abhängigkeit von der Oberflächenladung des Myoglobins. Die Oberflächenladung wird ohne Einheit angegeben. Die Werte der in Abbildung 1 ausgewählten Säugetierarten sind hier enthalten.



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: Molekulare Anpasstheit von Säugetieren an ein Leben im Wasser**

1. Erklären Sie kurz, inwiefern DNA-Sequenzen homologer Gene die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten widerspiegeln. Stellen Sie anhand von Abbildung 1 wesentliche Aspekte der stammesgeschichtlichen Entwicklung aquatisch lebender Säugetierarten dar und beurteilen Sie den Grad ihrer phylogenetischen Verwandtschaft (Material A). (18 Punkte)
2. Geben Sie mögliche mRNA-Codons für die Aminosäuren der Myoglobin-Varianten an, in denen sich die Sequenzen unterscheiden, und ermitteln Sie mögliche Mutationstypen (Tabelle 1, Materialien B und C). Erläutern Sie die wahrscheinlichen Auswirkungen der Mutationen (Material B) und werten Sie in diesem Zusammenhang Abbildung 2 aus. (20 Punkte)
3. Entwickeln Sie unter Bezug auf die synthetische Evolutionstheorie und das Konzept der Fitness eine ausführlich begründete Hypothese zur Entwicklung der Anpasstheiten der aquatisch und teilweise aquatisch lebenden Säugetiere hinsichtlich der Myoglobin-Varianten (Materialien A und B). Prüfen Sie in diesem Zusammenhang eine mögliche konvergente Entwicklung auf molekularer Ebene (Materialien A und B). (16 Punkte)

3. Materialgrundlage

- Material A
Abbildung 1: eigene Darstellung unter Verwendung des Supplements zu Mirceta et al., 2013; Huson & Scornavacca, 2012; Meredith et al., 2011, Abb. 1
- Material B
Tabelle 1: eigene Darstellung unter Verwendung des Supplements zu Mirceta et al., 2013, Abb. S4
Abbildung 2: verändert nach Mirceta et al., 2013, Abb. 1B und dem Supplement, Tabelle S1

¹ Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

- Huson, D. H. & Scornavacca, C. (2012). Dendroscope 3: An Interactive Tool for Rooted Phylogenetic Trees and Networks. *Systematic Biology*, 61(6), 1061–1067. <https://doi.org/10.1093/sysbio/sys062>
- Meredith, R. W., Janečka, J. E., Gatesy, J., Ryder, O. A., Fisher, C. A., ... Murphy, W. J. (2011). Impacts of the Cretaceous Terrestrial Revolution and KPg Extinction on Mammal Diversification. *Science*, 334(6055), 521–524. <https://doi.org/10.1126/science.1211028>
- Mirceta, S., Signore, A. V., Burns, J. M., Cossins, A. R., Campbell, K. L. & Berenbrink, M. (2013). Evolution of Mammalian Diving Capacity Traced by Myoglobin Net Surface Charge. *Science*, 340(6138), 1234192. <https://doi.org/10.1126/science.1234192>
- Patalong, F. (2015, April 18). Konvergente Entwicklung: Die Evolution wiederholt sich doch. Abgerufen 10. September 2018, von <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/die-evolution-wiederholt-sich-doch-a-1028451.html>

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
- 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	<p>erklärt kurz, inwiefern DNA-Sequenzen homologer Gene die Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Arten widerspiegeln, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DNA-Sequenzen homologer Gene entsprechen Merkmalen auf molekularer Ebene und können zwischen Arten verglichen werden. Sie werden nach Ähnlichkeit geordnet. • Je weiter zwei Arten phylogenetisch voneinander entfernt sind, umso länger liegt der Zeitpunkt der Trennung ihrer Entwicklungslinien zurück und umso mehr Mutationen können sich während dieser Zeit angesammelt haben. <p><i>(Andere, aus dem Unterricht bekannte Darstellungen sind ebenfalls zu akzeptieren. Die Erklärung einer molekularen Uhr kann ggf. als zusätzliches aufgabenbezogenes Kriterium bewertet werden.)</i></p>	4
2	<p>stellt anhand von Abbildung 1 wesentliche Aspekte der stammesgeschichtlichen Entwicklung aquatisch lebender Säugetierarten dar (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aquatisch lebende Arten finden sich in verschiedenen Entwicklungslinien bei den Säugetieren. • Seekühe und Elefanten gehen auf einen gemeinsamen Vorfahren zurück. • Walross und Kegelrobbe haben gemeinsame Vorfahren mit den Bären. Ihre Entwicklungslinie trennte sich vor etwa 40 Millionen Jahren von der Linie, die zu den Bären führt. • Die Entwicklungslinie der Wale und Delfine zweigt von der Entwicklungslinie ab, die zum Rind führt. Der letzte gemeinsame Vorfahre dieser Taxa lebte vor etwa 60 Millionen Jahren. 	8
3	<p>beurteilt den Grad ihrer phylogenetischen Verwandtschaft (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zwischen den aquatisch lebenden Arten der Säugetiere liegt bei Walen und Delfinen eine engere phylogenetische Verwandtschaft vor. Zwischen Kegelrobbe und Walross liegt ebenfalls eine engere phylogenetische Verwandtschaft vor. • Zwischen den Gruppen von Walross und Kegelrobbe einerseits sowie andererseits den Walen und Delfinen liegt keine engere phylogenetische Verwandtschaft vor, da ihr letzter gemeinsamer Vorfahre vor etwa 80 Millionen Jahren existierte und sich davon ausgehend ganz unterschiedliche Linien der Säugetiere entwickelten. • Die Seekühe gehören zu einer anderen Entwicklungslinie, die sich bereits vor rund 100 Millionen Jahren abspaltete. 	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl																														
	Der Prüfling																															
1	<p>gibt mögliche mRNA-Codons für die Aminosäuren der Myoglobin-Varianten an, in denen sich die Sequenzen unterscheiden (Tabelle 1, Materialien B und C), z. B.:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="border-bottom: 1px solid black;"></th> <th colspan="3" style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">mRNA-Codon an Position</th> <th style="border-bottom: 1px solid black;"></th> </tr> <tr> <th style="border-bottom: 1px solid black; text-align: left;">Art</th> <th style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">5' → 116</th> <th style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">140</th> <th style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">152</th> <th style="border-bottom: 1px solid black; text-align: right;">→ 3'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Kegelrobbe</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAU oder CAC</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">AAC oder AAU</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAU oder CAC</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Schwein</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAA oder CAG</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">AAC oder AAU</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAA oder CAG</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Orca</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAU oder CAC</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">AAA oder AAG</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAU oder CAC</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border-bottom: 1px solid black;">Biber</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAA oder CAG</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">AAA oder AAG</td> <td style="border-bottom: 1px solid black; text-align: center;">CAA oder CAG</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p><i>(Die Angabe jeweils eines korrekten, veränderten Codons ist für die Vergabe der vollen Punktzahl ausreichend.)</i></p>		mRNA-Codon an Position				Art	5' → 116	140	152	→ 3'	Kegelrobbe	CAU oder CAC	AAC oder AAU	CAU oder CAC		Schwein	CAA oder CAG	AAC oder AAU	CAA oder CAG		Orca	CAU oder CAC	AAA oder AAG	CAU oder CAC		Biber	CAA oder CAG	AAA oder AAG	CAA oder CAG		6
	mRNA-Codon an Position																															
Art	5' → 116	140	152	→ 3'																												
Kegelrobbe	CAU oder CAC	AAC oder AAU	CAU oder CAC																													
Schwein	CAA oder CAG	AAC oder AAU	CAA oder CAG																													
Orca	CAU oder CAC	AAA oder AAG	CAU oder CAC																													
Biber	CAA oder CAG	AAA oder AAG	CAA oder CAG																													
2	<p>ermittelt mögliche Mutationstypen (Tabelle 1, Materialien B und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • An den Positionen 116, 140 und 152 sind Aminosäureaustausche bei den Myoglobin-Varianten zu erkennen, also können hier Punktmutationen im Myoglobin-Gen in Form von <i>Missense</i>-Mutationen vorliegen. <p><i>(Es ist keine Ausgangssequenz angegeben, sodass auch eine andere, fachlich korrekte Darstellung entsprechend zu bewerten ist.)</i></p>	4																														
3	<p>erläutert die wahrscheinlichen Auswirkungen der Mutationen (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bei den aquatisch lebenden Arten Kegelrobbe und Orca treten bei Position 116 und 152 Austausch von Glutamin gegen Histidin auf. Histidin bewirkt eine Erhöhung der Oberflächenladung des Myoglobins bei Kegelrobbe und Orca verglichen mit dem Myoglobin des Schweins. • Orca und Biber besitzen an Position 140 Lysin statt Asparagin. Auch dieser Austausch erhöht die Oberflächenladung des Myoglobins. 	4																														
4	<p>wertet in diesem Zusammenhang Abbildung 2 aus, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Viele aquatisch lebende Säugetiere besitzen hohe Myoglobin-Konzentrationen in ihren Muskelzellen, die bis zu 100 mg Myoglobin/g Muskelmasse erreichen können. Bei diesen hohen Konzentrationen ist eine Zusammenlagerung des Myoglobins wahrscheinlich. • Die Oberflächenladung des Myoglobins liegt mit Werten um 4 oder 5 bei aquatisch lebenden Arten deutlich höher als bei den landlebenden Arten (Werte zwischen 0 und 2,5) der Säugetiere. Die Erhöhung der Oberflächenladung der Myoglobin-Varianten bewirkt Abstoßungskräfte zwischen den einzelnen Molekülen und verringert so die Wahrscheinlichkeit der Zusammenlagerung. Somit können auch bei hohen Myoglobin-Konzentrationen die Myoglobin-Moleküle ihre Funktion uneingeschränkt ausüben. 	6																														
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)																															

Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>entwickelt unter Bezug auf die synthetische Evolutionstheorie und das Konzept der Fitness eine ausführlich begründete Hypothese zur Entwicklung der Angepasstheiten der aquatisch und teilweise aquatisch lebenden Säugetiere hinsichtlich der Myoglobin-Varianten (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evolutionsfaktoren wie Mutation und Rekombination bewirken zufällige Varianten bei Lebewesen, unter denen die Individuen mit den besten Angepasstheiten durch Selektionsvorteile eine größere reproduktive Fitness erreichen. • Zufällige Mutationen im Myoglobin-Gen konnten in den Säugetier-Entwicklungslinien, in denen aquatisch oder teilweise aquatisch lebende Arten vorkommen, für Aminosäureaustausche verantwortlich sein, bei denen vermehrt Aminosäuren wie Histidin, Lysin oder Arginin eingebaut wurden. • Bei hoher Myoglobin-Konzentration im Muskel tauchender Säugetiere blieben aufgrund der höheren Oberflächenladung die Myoglobin-Moleküle voll funktional, so dass in den Muskelzellen mehr Sauerstoff gespeichert und bei Bedarf abgegeben werden konnte. Dies stellte einen Selektionsvorteil dar. 	6
2	<p>entwickelt unter Bezug auf die synthetische Evolutionstheorie und das Konzept der Fitness eine ausführlich begründete Hypothese zur evolutionären Entwicklung der Angepasstheiten der aquatisch und teilweise aquatisch lebenden Säugetiere hinsichtlich der Myoglobin-Varianten (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tauchende Säugetiere mit großer Effizienz bei der Nahrungsaufnahme, etwa der Jagd nach Beute, besitzen Selektionsvorteile. Daher können Individuen, die länger und ausdauernder tauchen und Nahrung erbeuten, vermehrt ihre Allele in den Genpool der Folgegeneration einbringen und so ihre reproduktive Fitness erhöhen. So verbreiten sich die betreffenden Allele des Myoglobin-Gens in den Populationen. <p><i>(Die Begründung, dass die Kosten der erhöhten Produktion von Myoglobin durch den Selektionsvorteil der effizienteren Sauerstoffspeicherung bei aquatischen Arten ausgeglichen werden, stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	4
3	<p>prüft in diesem Zusammenhang eine mögliche konvergente Entwicklung auf molekularer Ebene (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • In ganz verschiedenen Entwicklungslinien der Säugetiere kommen aquatisch oder teilweise aquatisch lebende Arten vor. Daher ist es wahrscheinlich, dass mehrfach unabhängig ein Übergang vom Land- zum Wasserleben stattgefunden hat. • Biber und Orca zum Beispiel sind phylogenetisch nicht näher verwandt, aber besitzen beide an Position 140 Lysin statt Asparagin im Myoglobin. • Da ähnliche Mutationen im Myoglobin-Gen in ganz unterschiedlichen Entwicklungslinien der Säugetiere auftreten, liegt aufgrund eines gleichen Selektionsdrucks eine konvergente Entwicklung auf molekularer Ebene vor. <p><i>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl muss eine Begründung auf Basis der Materialien erfolgen.)</i></p>	6
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.	6