



Name: \_\_\_\_\_

# **Abiturprüfung 2018**

## *Biologie, Leistungskurs*

---

### **Aufgabenstellung:**

#### **Thema: Grundeln im Rhein auf dem Vormarsch**

1. Erläutern Sie auf Basis von Tabelle 1 und bekannter ökologischer Konzepte differenziert, inwiefern eine Koexistenz der drei Grundelarten im Rhein möglich ist (Material A).  
(18 Punkte)
2. Leiten Sie wesentliche Nahrungstrends von Flussbarsch und Zander aus Abbildung 1 ab (Material B) und werten Sie auf dieser Grundlage und mit Hilfe von Tabelle 1 weitere ökologische Beziehungen zwischen allen aufgeführten Fischarten aus (Materialien A und B).  
(16 Punkte)
3. Erklären Sie an jeweils einem Beispiel den Unterschied zwischen dichteabhängigen und dichteunabhängigen Faktoren. Begründen Sie ausführlich die populationsökologischen Auswirkungen einer hohen Grundeldichte auf die heimischen Raubfischpopulationen auf Grundlage von Material C sowie der herrschenden Nahrungsbeziehungen (Materialien A bis C). Beurteilen Sie das jeweilige ökologische Potenzial der aufgeführten Grundelarten im Rhein (Materialien A bis C).  
(22 Punkte)
4. Fassen Sie die Ergebnisse aus Abbildung 2 zusammen (Material D) und nehmen Sie kritisch Stellung, inwiefern die Analyse von eDNA Aussagen über das Vorkommen und die Abundanz der Grundelarten in einem Fließgewässerabschnitt ermöglicht (Material D).  
(10 Punkte)

#### **Zugelassene Hilfsmittel:**

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: \_\_\_\_\_

## Material A: Schwarzmeergrundeln im Rhein

In deutschen Flüssen, u. a. im Rhein, leben mittlerweile zahlreiche eingewanderte Tiere. Etwa ein Viertel der aquatischen Arten stammen aus dem Schwarzmeerraum und dem Kaspischen Meer. Dabei wurden die Tiere durch Ballastwasser von Schiffen eingeschleppt. In großer Zahl kommen dabei zunehmend Grundeln der Gattungen *Neogobius* und *Ponticola* im Rhein vor. Ein gemeinsames Merkmal der ca. 20 cm großen, am Gewässergrund lebenden Fische ist, dass die Bauchflossen eine trichterförmige Saugscheibe bilden, mit der sich die Grundeln an harten Oberflächen, zum Beispiel an Steinen oder Schiffsrümpfen, anheften können. Die Farbe der Grundeln ist meist unauffällig sandfarben mit einem tarnenden Muster. Die Grundeln tolerieren sowohl Süß- als auch bestimmte Konzentrationen an Salzwasser. Zudem haben sie Gelege von mehreren hundert bis tausenden Eiern, die von den Männchen bewacht und verteidigt werden. Als Laichräuber ernähren sich die Grundeln u. a. auch von der Brut heimischer Fische.

Tabelle 1: Eingewanderte Grundelarten im Rhein und seinen größeren Zuflüssen

<b>wissenschaftlicher Name</b>	<i>Neogobius melanostomus</i>	<i>Ponticola kessleri</i>	<i>Neogobius fluviatilis</i>
<b>deutscher Name</b>	Schwarzmaulgrundel	Kesslergrundel	Flussgrundel
<b>Größe</b>	bis 22 cm	bis 20 cm	bis 20 cm
<b>Fortpflanzung</b>	mehrmals im Jahr, Schlupfereignisse der Jungfische über mehrere Monate zeitlich verteilt	einmal im Jahr, Schlupfereignisse der Jungfische konzentriert auf einen Monat	mehrmals im Jahr, Schlupfereignisse der Jungfische über mehrere Monate zeitlich verteilt
<b>Laichzeit</b>	Mai bis September	März bis Mai	April bis September
<b>Habitat</b>	besiedelt Uferbefestigungen aus Blocksteinen, an denen sie sich mit der Saugscheibe anheften kann und die Schutz bei Wellengang, Strömung und vor Räubern bieten sowie als Laichplatz dienen		besiedelt sandigen Boden, der auch als Laichplatz dient
<b>Hauptnahrung nach Körpergröße der Grundeln</b>	bis 10 cm: Krebstiere ab 10 cm: Schnecken, Muscheln, Krebstiere	bis 10 cm: Krebstiere und Insekten ab 10 cm: kleine Fische und Krebstiere	



Name: \_\_\_\_\_

## Material B: Nahrungszusammensetzung von jungen heimischen Raubfischen im Rhein

Im Rhein sind Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) und Zander (*Sander lucioperca*) heimische Raubfische, die auch als Speisefische von Anglern gerne befischt werden. Grundsätzlich ist der Rhein ein nahrungslimitiertes Ökosystem. Im Rahmen von ökologischen Freilandstudien wurden im Niederrhein in den Jahren 2011 bis 2014 Flussbarsche und Zander zu Forschungszwecken gefangen und deren Mageninhalte untersucht. Die Daten sind in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

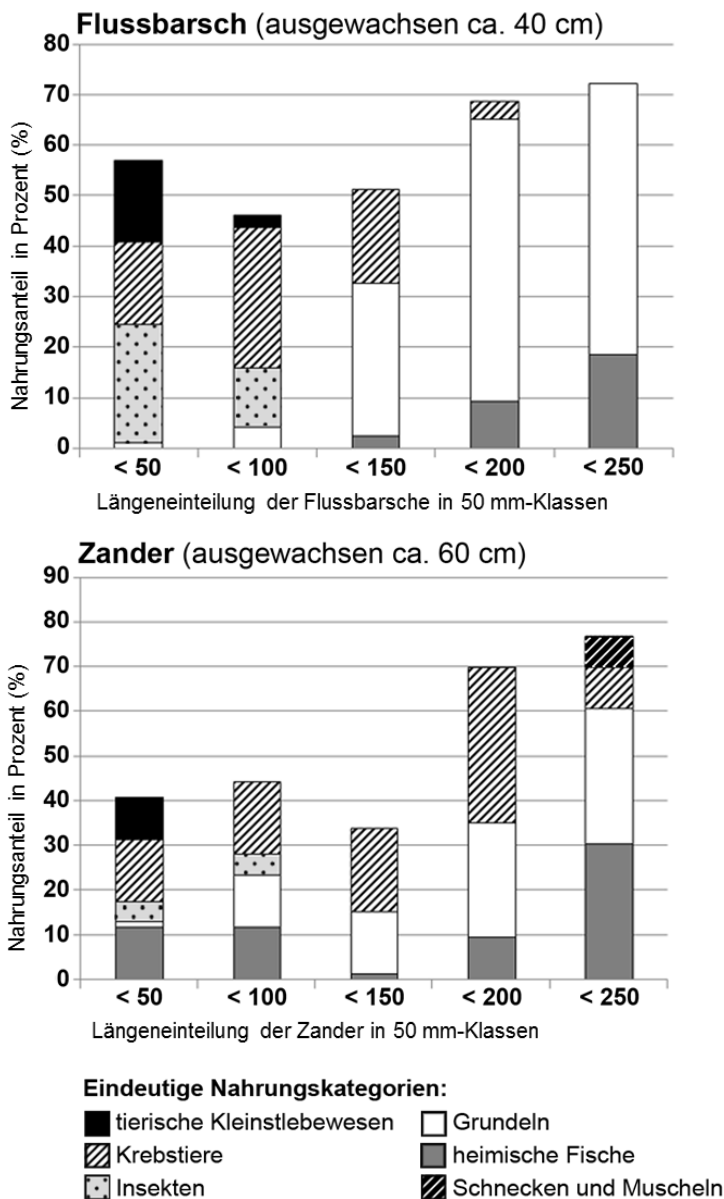


Abbildung 1: Nahrungszusammensetzung von jungen Flussbarschen (oben) und Zandern (unten) in Abhängigkeit von der Körpergröße basierend auf Fangdaten im Niederrhein von 2011 bis 2014 (Unterschiede zu 100 % resultieren aus nicht eindeutig zuzuordnenden Nahrungskategorien.)



Name: \_\_\_\_\_

### Material C: Konkurrenzstärke verschiedener Fischarten

Basierend auf den Magenuntersuchungen haben die Forscher mit Hilfe eines mathematischen Modells die Konkurrenzstärke verschiedener Fische berechnet. Diese gibt an, wie viel Prozent der gewünschten Nahrungsmenge tatsächlich aufgenommen wurde. Die Angaben in Tabelle 2 beziehen sich auf gerade geschlüpfte Fische, die gemeinsam in den Uferregionen des Rheins vorkommen.

Tabelle 2: Konkurrenzstärke verschiedener Fischarten

	<i>Schwarzmaulgrundel</i>	<i>Flussgrundel</i>	<i>Kesslergrundel</i>	<i>Flussbarsch</i>	<i>Zander</i>
Konkurrenzstärke in Bezug auf die Nahrung	58	48	40	32	19

### Material D: Analyse von eDNA statt Fischfallen

Um Aussagen über die Abundanz von Fischbeständen treffen zu können, war bisher der Einsatz von Fischereimethoden üblich (siehe Abbildung 2A). An der Universität Basel wurde nun ein Test entwickelt, mit dem sich das Vorhandensein von Fischen in fließenden oder stehenden Gewässern aus Wasserproben nachweisen lässt. Das neue Verfahren beruht auf der Analyse von Umwelt-DNA, eDNA (e = environmental). Diese eDNA ist z. B. die DNA, die über den Kot oder die Schuppen der Fische ins Wasser gelangt, wo sie mit der Strömung mitgetragen wird. Im Labor kann die eDNA aus Wasserproben vom Gewässergrund isoliert und mit entsprechenden Verfahren, PCR und Gelelektrophorese, nachgewiesen werden. Der zur Analyse des Grundelbestandes entwickelte Test reagiert durch den gezielten Einsatz artübergreifender Primer ausschließlich auf die Erbsubstanz der Grundeln aus dem Schwarzmeerraum, auf einheimische Fischarten jedoch nicht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2B dargestellt.

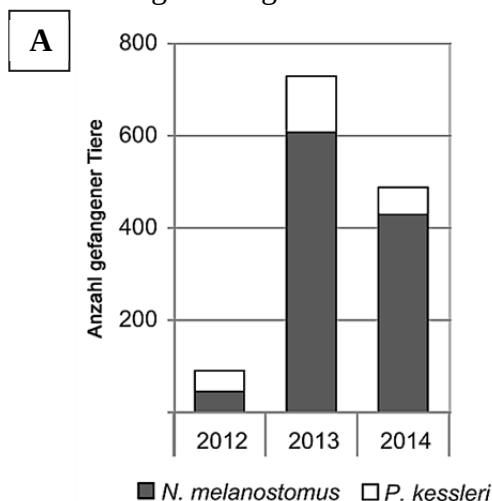


Abbildung 2A:  
Abundanzbestimmungen durch Fangdaten von 2012 bis 2014 aus dem Rhein bei Basel (Als Fangmethode wurde eine Fischfalle mit Hundetrockenfutter präpariert, auf dem Gewässergrund platziert und in regelmäßigen Abständen geleert.)

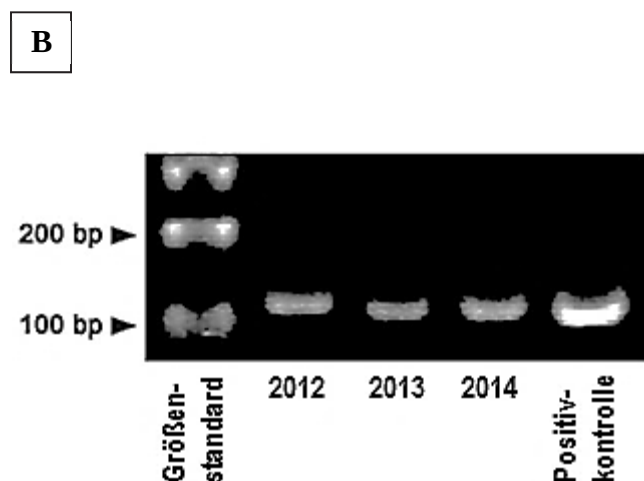


Abbildung 2B:  
Gelelektrophoretische Darstellung von eDNA-Proben von 2012 bis 2014 aus dem Rhein bei Basel (Die eDNA wurde zuvor durch PCR vervielfältigt. Dabei wurden artübergreifende Primer für Grundeln aus dem Schwarzmeerraum verwendet. Positivkontrolle: *N. melanostomus*-DNA)

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2018

## Biologie, Leistungskurs

---

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Thema: Grundeln im Rhein auf dem Vormarsch**

1. Erläutern Sie auf Basis von Tabelle 1 und bekannter ökologischer Konzepte differenziert, inwiefern eine Koexistenz der drei Grundelarten im Rhein möglich ist (Material A).  
(18 Punkte)
2. Leiten Sie wesentliche Nahrungstrends von Flussbarsch und Zander aus Abbildung 1 ab (Material B) und werten Sie auf dieser Grundlage und mit Hilfe von Tabelle 1 weitere ökologische Beziehungen zwischen allen aufgeführten Fischarten aus (Materialien A und B).  
(16 Punkte)
3. Erklären Sie an jeweils einem Beispiel den Unterschied zwischen dichteabhängigen und dichteunabhängigen Faktoren. Begründen Sie ausführlich die populationsökologischen Auswirkungen einer hohen Grundeldichte auf die heimischen Raubfischpopulationen auf Grundlage von Material C sowie der herrschenden Nahrungsbeziehungen (Materialien A bis C). Beurteilen Sie das jeweilige ökologische Potenzial der aufgeführten Grundelarten im Rhein (Materialien A bis C).  
(22 Punkte)
4. Fassen Sie die Ergebnisse aus Abbildung 2 zusammen (Material D) und nehmen Sie kritisch Stellung, inwiefern die Analyse von eDNA Aussagen über das Vorkommen und die Abundanz der Grundelarten in einem Fließgewässerabschnitt ermöglicht (Material D).  
(10 Punkte)

---

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

### 3. Materialgrundlage

- Material A:  
Tabelle1 verändert nach: Gertzen 2016, Table 2, S. 42, Wiesner *et al.* 2010
- Material B:  
Abbildung 1 verändert nach: Gertzen 2016, Figure 1, S. 181
- Material C:  
Tabelle 2 erstellt nach: Gertzen 2016, S. 156–157
- Material D:  
Abbildungen 2A und 2B verändert nach: Adrian-Kalchhauser & Burkhardt-Holm 2016, Figure 8, S. 14
- Adrian-Kalchhauser, I. & Burkhardt-Holm, P. (2016). An eDNA assay to monitor a globally invasive fish species from flowing freshwater. *PLoS ONE 11*
- Gertzen, S. (2016). The ecological niche of invasive gobies at the Lower Rhine in intra- and interspecific competitive and predatory interactions. Dissertation, Universität zu Köln
- Schmidt, B. R. & Ursenbacher, R. (2015). Umwelt-DNA als neue Methode zum Art-nachweis in Gewässern. *Zeitschrift für Feldherpetologie 22*, 1–10
- Wiesner, C. *et al.* (2010). Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich und mögliche Auswirkungen des Klimawandels. Bonn-Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten, 279)
- <https://www.unibas.ch/de/Aktuell/News/Uni-Research/Neuer-Test-fuer-Grundel-Invasion.html> (Zugriff: 05.05.2017)

### 4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2018

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

##### Genetik

- Gentechnologie

#### 2. Medien/Materialien

- entfällt

### 5. Zugelassene Hilfsmittel

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- 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>erläutert auf Basis von Tabelle 1 und bekannter ökologischer Konzepte differenziert, inwiefern eine Koexistenz der drei Grundelarten im Rhein möglich ist (Material A), sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Koexistenz ist dann möglich, wenn die Grundelarten unterschiedliche ökologische Nischen ausbilden und somit Konkurrenz um limitierende Ressourcen vermieden wird (Konkurrenzvermeidungsprinzip).</li> </ul>	4
2	<p>erläutert auf Basis von Tabelle 1 und bekannter ökologischer Konzepte differenziert, inwiefern eine Koexistenz der drei Grundelarten im Rhein möglich ist (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass eine Nischendifferenzierung in Bezug auf die Nahrungsansprüche der drei Arten vorliegt, wobei aber auch interspezifische Konkurrenz um Nahrung vorliegt. Dies hängt von der Körpergröße ab: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bis 10 cm Körpergröße konkurrieren alle drei Grundelarten um Krebstiere, wengleich <i>P. kessleri</i> und <i>N. fluviatilis</i> auch Insekten fressen.</li> <li>– Ab 10 cm Körpergröße unterscheidet sich die Nahrungsniische von <i>N. melanostomus</i> von der der beiden übrigen Arten, so dass es zu einer Konkurrenzvermeidung kommt. Lediglich Krebstiere werden von allen gefressen.</li> <li>– Wegen des unterschiedlichen Habitats von <i>P. kessleri</i> und <i>N. melanostomus</i> im Vergleich zu <i>N. fluviatilis</i> wird die interspezifische Konkurrenz um gleiche Nahrungsansprüche vermindert.</li> <li>– Alle drei Grundelarten sind Laichräuber.</li> </ul> </li> <li>• Dadurch dass Jungfische unterschiedlicher Größe einer Art verschiedene Nahrungsspektren haben, wird auch die intraspezifische Konkurrenz reduziert: <ul style="list-style-type: none"> <li>– So frisst <i>N. melanostomus</i> unter 10 cm Körpergröße Krebstiere, wohingegen ab 10 cm Körpergröße Schnecken und Muscheln hinzukommen.</li> <li>– <i>P. kessleri</i> und <i>N. fluviatilis</i> fressen unter 10 cm Körpergröße Krebstiere und Insekten, wohingegen bei einer Körpergröße ab 10 cm kleine Fische und Krebstiere gefressen werden.</li> </ul> </li> </ul>	9
3	<p>erläutert auf Basis von Tabelle 1 und bekannter ökologischer Konzepte differenziert, inwiefern eine Koexistenz der drei Grundelarten im Rhein möglich ist (Material A), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eine Koexistenz der drei Grundelarten wird aber auch durch eine Nischendifferenzierung in Bezug auf die Fortpflanzung ermöglicht. So gibt es Unterschiede in den Laichzeiten, -häufigkeiten und -plätzen der drei Grundelarten: <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>N. melanostomus</i> laicht wie <i>P. kessleri</i> an Blocksteinen, so dass es zu interspezifischer Konkurrenz um Laichplätze vor allem im Mai kommt, wenn beide Arten laichen.</li> <li>– Allerdings kommt es auch zu einer Konkurrenzvermeidung in Bezug auf den Laichplatz, da <i>N. melanostomus</i> und <i>P. kessleri</i> eine unterschiedliche Fortpflanzungsstrategie verfolgen, so dass, bereits bevor und nachdem <i>P. kessleri</i> einmalig ablaicht, weitere Schlupfereignisse von <i>N. melanostomus</i> stattfinden.</li> <li>– <i>N. fluviatilis</i> laicht auch mehrmalig im Jahr, vermeidet allerdings jegliche interspezifische Konkurrenz um Laichplätze, da diese Grundelart im sandigen Boden laicht.</li> </ul> </li> </ul>	5
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>leitet wesentliche Nahrungstrends von Flussbarsch und Zander aus Abbildung 1 ab (Material B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flussbarsche und Zander ernähren sich je nach Länge von Tieren verschiedener Kategorien in unterschiedlicher Menge: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Flussbarsche bis 100 mm Körpergröße fressen vor allem Krebstiere und Insekten. Bei Flussbarschen zwischen 100 mm und 250 mm nimmt mit zunehmender Länge der Nahrungsanteil von Fischen, insbesondere von Grundeln (bis über 50 % der Nahrung), deutlich zu. Der Anteil von Krebstieren in der Nahrung sinkt deutlich.</li> <li>– Zander bis 50 mm Körpergröße fressen unterschiedliche Tiere, darunter Krebstiere, heimische Fische, tierische Kleinstlebewesen und Insekten. Ab 150 mm Körpergröße steigt der Anteil an Fischen und speziell auch an Grundeln in der Nahrung an. Krebstiere sind in allen Größenklassen Bestandteil der Nahrung.</li> </ul> </li> </ul>	6
2	<p>wertet auf dieser Grundlage und mit Hilfe von Tabelle 1 weitere ökologische Beziehungen zwischen allen aufgeführten Fischarten aus (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zum einen liegt mehrfach interspezifische Konkurrenz in Abhängigkeit von der jeweiligen Körpergröße vor: <ul style="list-style-type: none"> <li>– zwischen jungen Flussbarschen bis etwa 15 cm Körpergröße, Zandern bis etwa 20 cm Körpergröße und den drei Grundelarten um die Nahrungskategorie Krebstiere,</li> <li>– zwischen Kesslergrundel und Flussgrundel einerseits und Flussbarschen ab 10 cm Körpergröße sowie jungen Zandern andererseits um kleinere Fische,</li> <li>– zwischen den größeren Jungfischen von Flussbarschen und Zandern ab 10 cm Körpergröße aufgrund sehr ähnlicher Nahrungsansprüche.</li> </ul> </li> <li>• Zum anderen stehen Flussbarsch, Zander und die Grundeln auch in Räuber-Beute-Beziehungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Dabei nimmt bei Flussbarschen und Zandern ab 100 mm Körpergröße die Bedeutung der Grundeln als Beute stark zu, da Grundeln einen immer größeren Nahrungsanteil größerer heimischer Raubfische ausmachen.</li> <li>– Da die Kessler- und Flussgrundel ab 10 cm Körpergröße kleine Fische fressen, könnten sie auch ein Räuber für kleine Flussbarsche und Zander sein.</li> </ul> </li> </ul> <p><i>(Redundante Erläuterungen zur interspezifischen Konkurrenz der Grundelarten aus Teilaufgabe 1 führen zu keinen Punkten.)</i></p>	10
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	



## Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt an jeweils einem Beispiel den Unterschied zwischen dichteabhängigen und dichteunabhängigen Faktoren, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dichteabhängige Faktoren sind abhängig von der Größe der Population und beeinflussen dieselbige.</li> <li>• Ein dichteabhängiger Faktor ist zum Beispiel die Verfügbarkeit von Nahrung: Je mehr Nahrung es gibt, desto größer ist die Populationsdichte; infolgedessen nimmt die Verfügbarkeit von Nahrung ab.</li> <li>• Dichteunabhängige Faktoren beeinflussen die Größe von Populationen, ohne selbst abhängig von ihrer Größe zu sein.</li> <li>• Ein dichteunabhängiger Faktor sind zum Beispiel die menschlichen Verunreinigungen des Biotops: Dies nimmt unabhängig von der Populationsgröße negativen Einfluss auf die Populationsgröße.</li> </ul>	6
2	<p>begründet ausführlich die populationsökologischen Auswirkungen einer hohen Grundeldichte auf die heimischen Raubfischpopulationen auf Grundlage von Material C sowie der herrschenden Nahrungsbeziehungen (Materialien A bis C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aus Tabelle 2 geht hervor, dass frisch geschlüpfte Grundeln in Bezug auf die Nahrungsaufnahme im Vergleich zu gleichaltrigen heimischen Raubfischen deutlich konkurrenzstärker sind.</li> <li>• Somit bewirkt eine hohe Grundeldichte im Rhein eine zusätzliche Nahrungsknappheit für die jungen heimischen Raubfische im ohnehin nahrungslimitierten Ökosystem Rhein, v. a. der Krebstiere, aber auch von Insekten.</li> <li>• Dies führt zu einer erhöhten Sterblichkeit der gerade geschlüpften Raubfische auf Grund von Mangelerkrankungen.</li> <li>• Folglich entwickeln sich weniger größere heimische Raubfische (größer 5 cm), die dann als Räuber die Grundeln fressen könnten.</li> <li>• Demgegenüber führt eine hohe Grundeldichte im Rhein im weiteren Entwicklungsverlauf der Raubfische zu einer Stabilisierung der Raubfischpopulationen, da ab ca. 10 cm Körpergröße sich Flussbarsche und Zander dann zunehmend von den Grundeln ernähren.</li> <li>• Je mehr Grundeln es ab diesem Entwicklungsstadium also gibt, desto vorteilhafter ist dies für die Nahrungsgrundlage dieser Flussbarsche und Zander.</li> <li>• Somit wirken durch die Grundelenausbreitung im Rhein zwei gegenläufige, größenabhängige Effekte auf die Raubfischpopulationen.</li> </ul> <p><i>(Die Erläuterung, dass größere Grundeln kleine Flussbarsche und Zander fressen könnten bzw. Grundeln Laichräuber der einheimischen Raubfische sind und dadurch neben der Nahrungskonkurrenz um Krebstiere die Populationsgröße der einheimischen Raubfische limitieren, stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	10
3	<p>beurteilt das jeweilige ökologische Potenzial der aufgeführten Grundelarten im Rhein (Materialien A – C), sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle drei Grundelarten weisen eine ausgeprägte Anpassung an den Lebensraum Fließgewässer und eine differenzierte Einnischung im Rhein auf.</li> <li>• Da sie Laichräuber heimischer Fische sind und es zu einer möglichen Dezimierung bzw. Verdrängung von heimischen Fischen kommen kann, könnte man die Grundeln als invasive Arten bezeichnen.</li> <li>• <i>N. melanostomus</i> müsste das größte invasive Potenzial haben, da diese Grundelart am konkurrenzstärksten in Bezug auf die Nahrung ist und auch die Fortpflanzungsstrategie sowie die geringe Konkurrenz um Nahrung ab 10 cm Körpergröße diese Fische im Vergleich zu den beiden anderen Grundelarten bevorteilt.</li> </ul> <p><i>(Weitere schlüssige Argumente stellen ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

**Teilaufgabe 4**

	<b>Anforderungen</b>	maximal erreichbare Punktzahl
	<b>Der Prüfling</b>	
1	<p>fasst die Ergebnisse aus Abbildung 2 zusammen (Material D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Abbildung 2A zeigt detaillierte Fangzahlen aus den Jahren 2012 bis 2014 aus dem Rhein bei Basel für <i>P. kessleri</i> (2012: ca. 50, 2013: über 100, 2014: über 50) und für <i>N. melanostomus</i> (2012: ca. 50, 2013: ca. 600, 2014: über 400).</li> <li>Demgegenüber zeigt das Gel in Abbildung 2B für die drei Jahre jeweils die gleiche Bande bei etwas über 100 bp, die das Vorhandensein von Grundeln aus dem Schwarzmeerraum für die drei Jahre nachweist.</li> </ul>	4
2	<p>nimmt kritisch Stellung, inwiefern die Analyse von eDNA Aussagen über das Vorkommen und die Abundanz der Grundelarten in einem Fließgewässerabschnitt ermöglicht (Material D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wie das Gel in Abbildung 2B zeigt, kann das Vorkommen von Grundeln durch Analyse von eDNA nachgewiesen werden. Allerdings wurden artübergreifende Primer verwendet, so dass es sich hier nicht um eine artspezifische Bande handelt. Bei Verwendung artspezifischer Primer müsste auch der Nachweis des Vorkommens einer bestimmten Art möglich sein.</li> <li>Aussagen über die Abundanz der Grundelarten sind anhand der Banden im Gel in Abbildung 2B offensichtlich nicht möglich. So findet sich z. B. der hohe Abundanzwert im Jahr 2013 überhaupt nicht in der Stärke der entsprechenden Bande im Gel wieder.</li> <li>Fraglich ist auch, inwiefern die eDNA-Menge in der Wasserprobe tatsächliche Abundanzen widerspiegelt, unter anderem, da im Fließgewässer die eDNA mit dem Wasser weitergetragen wird.</li> </ul> <p><i>(Fachlich können bei dieser Form der klassischen PCR grundsätzlich keine Aussagen über die Quantität der eingesetzten DNA-Menge abgeleitet werden. Dies kritisch zu hinterfragen, wird jedoch von den Prüflingen nicht erwartet.)</i></p>	6
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

**b) Darstellungsleistung**

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

**7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	erläutert auf Basis ...	4			
2	erläutert auf Basis ...	9			
3	erläutert auf Basis ...	5			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 1. Teilaufgabe</b>	<b>18</b>			

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	leitet wesentliche Nahrungstrends ...	6			
2	wertet auf dieser ...	10			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 2. Teilaufgabe</b>	<b>16</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	erklärt an jeweils ...	6			
2	begründet ausführlich die ...	10			
3	beurteilt das jeweilige ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 3. Teilaufgabe</b>	<b>22</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	fasst die Ergebnisse ...	4			
2	nimmt kritisch Stellung ...	6			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 4. Teilaufgabe</b>	<b>10</b>			
	<b>Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe</b>	<b>66</b>			

**Darstellungsleistung**

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

	<b>Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)</b>	<b>75</b>			
--	---	-----------	--	--	--

**Festlegung der Gesamtnote (Bitte nach der letzten bearbeiteten Aufgabe ausfüllen.)**

	Lösungsqualität			
	maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
<b>Übertrag der Punktzahl aus der ersten bearbeiteten Aufgabe</b>	75			
<b>Übertrag der Punktzahl aus der zweiten bearbeiteten Aufgabe</b>	75			
<b>Punktzahl der gesamten Prüfungsleistung</b>	<b>150</b>			
<b>aus der Punktzahl resultierende Note gemäß nachfolgender Tabelle</b>				
<b>Note ggf. unter Absenkung um bis zu zwei Notenpunkte gemäß § 13 Abs. 2 APO-GOST</b>				
<b>Paraphe</b>				

Berechnung der Endnote nach Anlage 4 der Abiturverordnung 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:

<b>Note</b>	<b>Punkte</b>	<b>Erreichte Punktzahl</b>
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 2018

## Biologie, Leistungskurs

---

### Aufgabenstellung:

#### Thema: Regulation der Entwicklung und Funktion von pflanzlichen Schließzellen

1. Erklären Sie die Bedeutung des Gasaustauschs durch die Spaltöffnungen für die Photosynthese und begründen Sie die unterschiedlichen Wirkungen der in Tabelle 1 genannten Einflussfaktoren auf die Öffnungsweite der Spaltöffnungen bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Material A). (12 Punkte)
2. Erklären Sie die Bedeutung von Transkriptionsfaktoren für die Genregulation von Eukaryoten und deren Funktion für die Schließzellendifferenzierung (Material B). (10 Punkte)
3. Beschreiben Sie die in Abbildung 3A gezeigten Phänotypen der beiden Mutanten und leiten Sie ab, welcher Schritt der Schließzellendifferenzierung bei den Mutanten jeweils betroffen ist (Materialien B und C). Erläutern Sie anhand der Abbildungen 2 und 3B die Entstehung der unterschiedlichen Phänotypen von *speechless* und *yoda* (Materialien B und C). (18 Punkte)
4. Fassen Sie die bei Eukaryoten für die Bildung der reifen mRNA notwendigen Schritte zusammen. Erläutern Sie differenziert das Zustandekommen der unterschiedlich langen mRNA-Moleküle beim Wildtyp und bei der *mute*-Mutante und leiten Sie die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid ab (Material D). Entwickeln Sie auch auf der Grundlage der Experimente mit dem MUTE-GFP-Fusionsprotein eine Hypothese zum zu erwartenden Phänotyp der *mute*-Mutante (Materialien B und D). (26 Punkte)

### Zugelassene Hilfsmittel:

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: \_\_\_\_\_

## Material A: Aufbau und Funktion von Spaltöffnungen

Höhere Pflanzen besitzen auf ihren Blättern und Stängeln Spaltöffnungen (Abbildung 1). Dies sind Poren im Abschlussgewebe (Epidermis), die insbesondere den Gasaustausch der Pflanzen regulieren. Die Öffnungsweite der Spaltöffnung wird durch eine Volumenveränderung der Schließzellen reguliert. Eine Öffnung der Spaltöffnung erfolgt infolge des Transports von osmotisch aktiven Stoffen in die Vakuolen der Schließzellen durch den nachfolgenden Einstrom von Wasser.

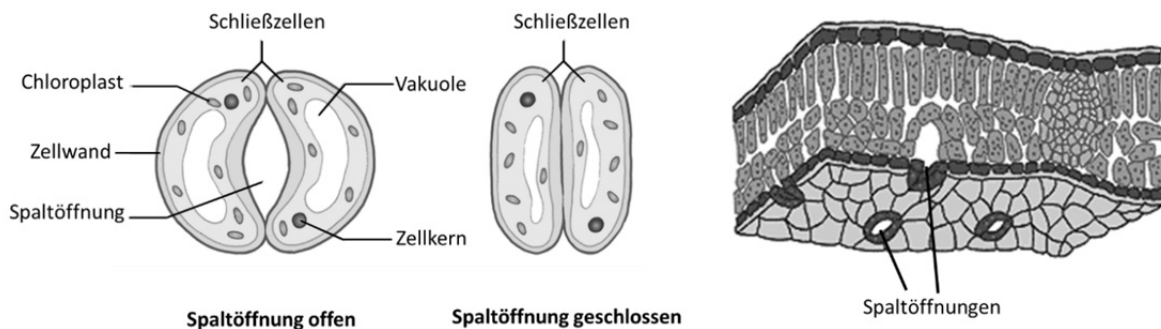


Abbildung 1: Schematischer Aufbau und Lage der Spaltöffnungen

Bezüglich der Faktoren, welche die Öffnungsweite der Spaltöffnungen beeinflussen, wurden bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Danach kommt den in Tabelle 1 aufgeführten Einflussfaktoren eine besondere Bedeutung zu.

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die Öffnungsweite der Spaltöffnungen bei *Arabidopsis thaliana*

Öffnungsweite der Spaltöffnungen erhöht sich z. B. bei	Öffnungsweite der Spaltöffnungen verringert sich z. B. bei
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringer CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Zellen</li> <li>• ausreichender Bestrahlung (insbesondere mit blauem Licht)</li> <li>• ausreichender Wasserversorgung der Zellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hoher CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Zellen</li> <li>• Dunkelheit</li> <li>• Wassermangel in den Zellen</li> </ul>





Name: \_\_\_\_\_

## Material B: Schritte der Schließzellendifferenzierung

Die Zellen des Spaltöffnungsapparats entstehen während der Blattentwicklung aus embryonalen Zellen in der Epidermis (protodermale Zellen, Abbildung 2). Die einzelnen Differenzierungsschritte ausgehend von der protodermalen Zelle werden durch verschiedene Transkriptionsfaktoren reguliert, die jeweils in unterschiedlichen Differenzierungsstadien aktiv sind. Je nachdem, welche Transkriptionsfaktoren in der protodermalen Zelle aktiv sind, erfolgt eine schrittweise Differenzierung entweder in Epidermiszellen oder in Schließzellen.

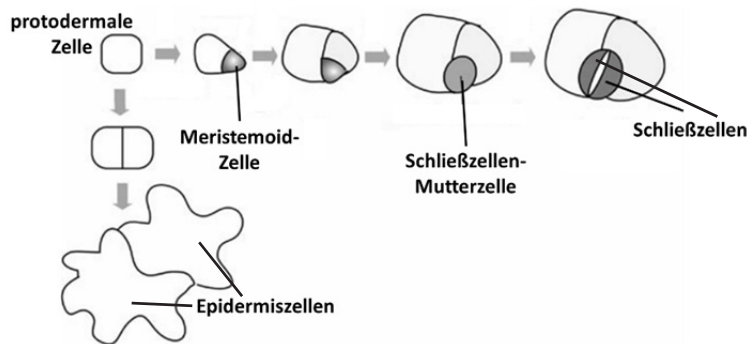


Abbildung 2:  
Schritte der Differenzierung der Schließzellen bzw. der Epidermiszellen aus einer protodermalen Zelle

## Material C: Genetische Regulation der Schließzellendifferenzierung

Viele der an der Differenzierung der Schließzellen beteiligten Gene wurden in den vergangenen Jahren bei *Arabidopsis thaliana* identifiziert. Wissenschaftler entdeckten verschiedene Mutanten mit einer veränderten Anzahl an Spaltöffnungen, darunter die Mutanten *speechless* und *yoda* (Abbildung 3A). Durch weitere Forschungen konnte man zeigen, dass das YODA-Protein und das SPEECHLESS-Protein Teile einer Signalkaskade sind, welche die Differenzierung der Schließzellen reguliert (Abbildung 3B). Das SPEECHLESS-Protein ist ein Transkriptionsfaktor.

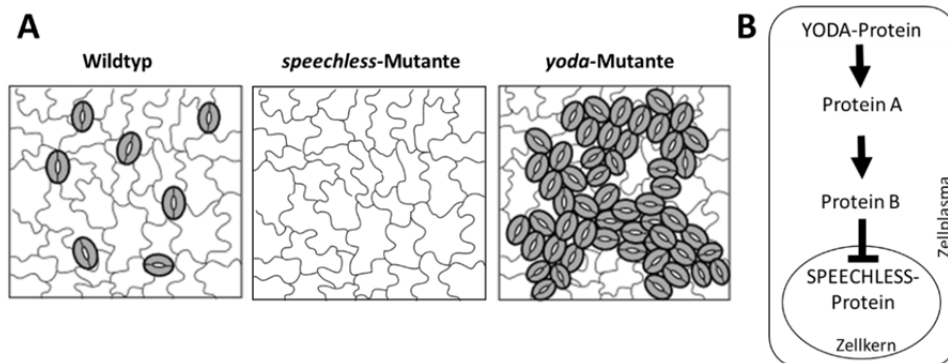


Abbildung 3: (A) schematische Darstellung der Phänotypen der *speechless*- und *yoda*-Mutanten im Vergleich zum Wildtyp  
(B) vom YODA-Protein ausgehende Signalkaskade  
(  $\rightarrow$  = Aktivierung  $\dashv$  = Hemmung)



Name: \_\_\_\_\_

## Material D: Transkriptionsfaktor MUTE

Der Transkriptionsfaktor MUTE ist ebenfalls an der Schließzellendifferenzierung beteiligt. In einem Experiment wurde das MUTE-Protein mit dem grün-fluoreszierenden Protein (GFP) fusioniert, sodass ein funktionstüchtiges MUTE-GFP-Fusionsprotein entstand. GFP kann durch UV-Licht angeregt und mit einem Fluoreszenzmikroskop sichtbar gemacht und auf diese Weise lokalisiert werden. Es zeigte sich, dass das MUTE-Protein in den Zellkernen von Meristemoid-Zellen und (schwächer) von Schließzellen-Mutterzellen und Schließzellen vorhanden ist.

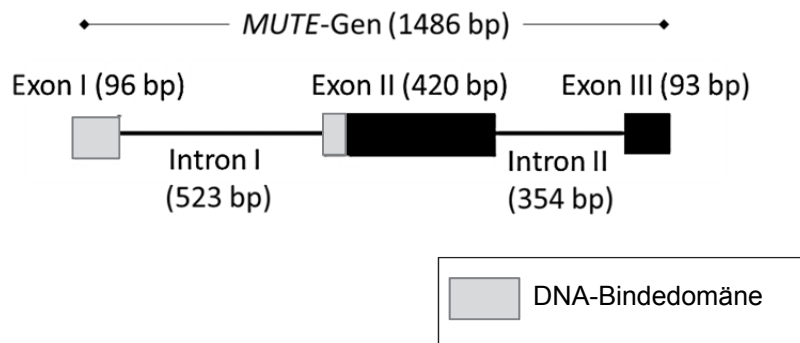


Abbildung 4: Schematische Darstellung des *MUTE*-Gens von *A. thaliana*  
(Die jeweiligen Längen der Exons und Introns sind in Basenpaaren (bp) angegeben.)

Durch eine Sequenzanalyse konnte gezeigt werden, dass in der *mute*-Mutante eine Nukleotidsubstitution ( $G \rightarrow A$ ) bei der ersten Base des Introns I stattgefunden hat. Um die Auswirkungen dieser Mutation zu untersuchen, wurde reife *MUTE*-mRNA aus Wildtyp-Pflanzen und *mute*-Mutanten isoliert und mittels Gelelektrophorese analysiert. Im Gegensatz zum Wildtyp (609 bp) konnte man bei der *mute*-Mutante eine in ihrer Länge veränderte mRNA-Bande nachweisen (1132 bp).



Abbildung 5: Schematische Darstellung der Auswirkungen der *mute*-Mutation auf den Spleißprozess  
(Die Längen der einzelnen Abschnitte entsprechen denen aus Abbildung 4.)

= herausgespleißte prä-mRNA-Abschnitte

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2018

## Biologie, Leistungskurs

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Thema: Regulation der Entwicklung und Funktion von pflanzlichen Schließzellen**

1. Erklären Sie die Bedeutung des Gasaustauschs durch die Spaltöffnungen für die Photosynthese und begründen Sie die unterschiedlichen Wirkungen der in Tabelle 1 genannten Einflussfaktoren auf die Öffnungsweite der Spaltöffnungen bei der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana* (Material A). (12 Punkte)
2. Erklären Sie die Bedeutung von Transkriptionsfaktoren für die Genregulation von Eukaryoten und deren Funktion für die Schließzellendifferenzierung (Material B). (10 Punkte)
3. Beschreiben Sie die in Abbildung 3A gezeigten Phänotypen der beiden Mutanten und leiten Sie ab, welcher Schritt der Schließzellendifferenzierung bei den Mutanten jeweils betroffen ist (Materialien B und C). Erläutern Sie anhand der Abbildungen 2 und 3B die Entstehung der unterschiedlichen Phänotypen von *speechless* und *yoda* (Materialien B und C). (18 Punkte)
4. Fassen Sie die bei Eukaryoten für die Bildung der reifen mRNA notwendigen Schritte zusammen. Erläutern Sie differenziert das Zustandekommen der unterschiedlich langen mRNA-Moleküle beim Wildtyp und bei der *mute*-Mutante und leiten Sie die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid ab (Material D). Entwickeln Sie auch auf der Grundlage der Experimente mit dem MUTE-GFP-Fusionsprotein eine Hypothese zum zu erwartenden Phänotyp der *mute*-Mutante (Materialien B und D). (26 Punkte)

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.

### 3. Materialgrundlage

- Material A:  
Abbildung 1 verändert nach: [www.everythingmaths.co.za](http://www.everythingmaths.co.za) und [www.digitalefolien.de](http://www.digitalefolien.de)  
Tabelle 1 zusammengestellt aus: Vahisalu *et al.* 2008 und Eisenach & De Angeli 2017
- Material B:  
Abbildung 2 verändert nach: Torii *et al.* 2007, Fig. 1
- Material C:  
Abbildung 3A verändert nach: Bergmann & Sack 2007, Fig. 2  
Abbildung 3B verändert nach: Lampard *et al.* 2008, Fig. 4A
- Material D:  
Abbildung 4 verändert nach: Pillitteri *et al.* 2007, Fig. 3  
Abbildung 5 verändert nach: Pillitteri *et al.* 2007, Fig. S2
- Barton, M. K. (2007). Making Holes in Leaves: Promoting Cell State Transitions in Stomatal Development. *The Plant Cell* 19, 1140–1143
- Bergmann, D. C. *et al.* (2004). Stomatal Development and Pattern Controlled by a MAPKK Kinase. *Science* 304, 1494–1497
- Bergmann, D. C. & Sack, F. D. (2007). Stomatal Development. *Annu. Rev. Plant Biol.* 58, 163–181
- Eisenach, C. & De Angeli, A. (2017). Ion Transport at the Vacuole During Stomatal Movements. *Plant Physiology* 174, 520–530
- Hetherington, A. M. & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature* 424, 901–908
- Lampard, G. R. *et al.* (2008). Arabidopsis Stomatal Initiation Is Controlled by MAPK-Mediated Regulation of the bHLH SPEECHLESS. *Science* 322, 1113–1116
- Lampard, G. R. *et al.* (2009). Novel and Expanded Roles for MAPK Signaling in Arabidopsis Stomatal Cell Fate Revealed by Cell Type-Specific Manipulations. *The Plant Cell* 21, 3506–3517
- Lampard, G. R. (2009). The missing link? Arabidopsis SPCH is a MAPK specificity factor that controls entry into the stomatal lineage. *Plant Signaling & Behavior* 4, 425–427
- Lampard, G. R. *et al.* (2014). Manipulation of Mitogen-Activated Protein Kinase Kinase Signaling in the Arabidopsis Stomatal Lineage Reveals Motifs That Contribute to Protein Localization and Signaling Specificity. *The Plant Cell* 26, 3358–3371
- Lau, O. S. *et al.* (2014). Direct roles of SPEECHLESS in the specification of stomatal self-renewing cells. *Science* 345, 1605–1609
- Pillitteri, L. J. *et al.* (2007). Termination of asymmetric cell division and differentiation of stomata. *Nature* 445, 501–505
- Torii, K. U. *et al.* (2007). Stomatal Development – Three Steps for Cell-Type Differentiation. *Plant Signaling & Behavior* 2, 311–313
- Vahisalu, T. *et al.* (2008). SLAC1 is required for plant guard cell S-type anion channel function in stomatal signalling. *Nature* 452, 487–491
- Yang, K. Z. *et al.* (2015). Phosphorylation of Serine 186 of bHLH Transcription Factor SPEECHLESS Promotes Stomatal Development in Arabidopsis. *Molecular Plant* 8, 783–795
- <http://www.everythingmaths.co.za/science/lifesciences/grade-10/05-support-and-transport-systems-in-plants/images/400ba40c937bce0d2766684aa3882c16.png> (Zugriff: 21.10.2016)
- [https://www.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.digitalefolien.de%2Fbiologie%2Fpflanzen%2Faufbau%2Ftnblattq1.gif&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2Fmuhammad2040%2Fagent-orange-10351176&docid=m65cuvyJiJWyCM&tbnid=MiSvNR0WWIbZgM%3A&vet=1&w=320&h=236&bih=659&biw=1366&ved=0ahUKEwiNiJrIjvzWAhVMWxQKHf\\_VCg8QxiAIGigF&iact=c&ictx=1](https://www.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.digitalefolien.de%2Fbiologie%2Fpflanzen%2Faufbau%2Ftnblattq1.gif&imgrefurl=https%3A%2F%2Fwww.slideshare.net%2Fmuhammad2040%2Fagent-orange-10351176&docid=m65cuvyJiJWyCM&tbnid=MiSvNR0WWIbZgM%3A&vet=1&w=320&h=236&bih=659&biw=1366&ved=0ahUKEwiNiJrIjvzWAhVMWxQKHf_VCg8QxiAIGigF&iact=c&ictx=1) (Zugriff: 19.10.2017)

#### 4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2018

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.

<p>1. <i>Inhaltsfelder und inhaltliche Schwerpunkte</i></p> <p>Genetik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteinbiosynthese</li> <li>• Genregulation</li> <li>• Gentechnologie</li> </ul> <p>Ökologie</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Umweltfaktoren und ökologische Potenz</li> <li>• Stoffkreislauf und Energiefluss</li> <li>• Fotosynthese</li> </ul> <p>2. <i>Medien/Materialien</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• entfällt</li> </ul>
--

#### 5. Zugelassene Hilfsmittel

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- 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 die Bedeutung des Gasaustauschs durch die Spaltöffnungen für die Fotosynthese, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pflanzen nehmen aus der Luft Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) auf, das sie über die Fotosynthese fixieren.</li> <li>• Der bei der Fotosynthese als Nebenprodukt gebildete Sauerstoff wird über die Spaltöffnungen an die Umgebung abgegeben.</li> </ul> <p><i>(Überlegungen zu photorespiratorischen Prozessen werden nicht erwartet und stellen ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	4

2	<p>begründet die unterschiedlichen Wirkungen der in Tabelle 1 genannten Einflussfaktoren auf die Öffnungsweite der Spaltöffnungen bei der Modellpflanze <i>Arabidopsis thaliana</i> (Material A), sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration in den fotosynthetisch aktiven Blatt- oder Stängelzellen niedrig, führt dies zur Öffnung der Spaltöffnungen, so dass CO<sub>2</sub> aus der Luft aufgenommen werden kann. Bei einem hohen CO<sub>2</sub>-Gehalt können hingegen die Spaltöffnungen geschlossen werden, um den Wasserverlust zu minimieren.</li> <li>• Bei hoher Intensität von (blauem) Licht ist die Fotosyntheserate hoch, es kann viel CO<sub>2</sub> fixiert werden. Daher führt dies zu einer Öffnung der Spaltöffnungen. Bei Dunkelheit erfolgt bei <i>Arabidopsis thaliana</i> keine CO<sub>2</sub>-Fixierung, die Spaltöffnungen werden somit geschlossen und der Wasserverlust wird verringert.</li> <li>• Ist wenig Wasser vorhanden und der Turgordruck in den Zellen entsprechend gering, werden die Spaltöffnungen ebenfalls geschlossen, um einem weiteren Wasserverlust und einem möglichen Vertrocknen der Pflanze entgegenzuwirken. Bei ausreichender Wasserversorgung findet sich der entgegengesetzte Effekt.</li> </ul> <p><i>(Die Nennung des Fachbegriffs „Turgordruck“ wird nicht erwartet. Eine sachlogisch schlüssige vernetzte Darstellung ist entsprechend zu werten.)</i></p>	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 2

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>erklärt die Bedeutung von Transkriptionsfaktoren für die Genregulation von Eukaryoten, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Transkriptionsfaktoren sind DNA-bindende Proteine, welche die Transkriptionsrate von Genen positiv oder negativ regulieren.</li> <li>• Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Initiation der Transkription, indem sie an den Promotor binden und so die Bindung der RNA-Polymerase an den Promotor induzieren.</li> <li>• Spezifische Transkriptionsfaktoren erhöhen oder hemmen die Transkriptionsrate von Genen um ein Vielfaches, indem sie z. B. an <i>enhancer</i>- oder <i>silencer</i>-Regionen der DNA binden.</li> <li>• Durch die Anwesenheit von Spezifischen Transkriptionsfaktoren wird erreicht, dass in jeder Zelle nur ein spezifisches Set an Genen aktiv ist, das für die jeweilige Zellfunktion und den physiologischen Zustand benötigt wird.</li> </ul> <p><i>(Die explizite Nennung der Fachtermini Allgemeine und Spezifische Transkriptionsfaktoren wird nicht erwartet, wohl aber eine sinngemäße Erklärung.)</i></p>	6
2	<p>erklärt deren Funktion für die Schließzellendifferenzierung (Material B), sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Differenzierung der Schließzellen aus embryonalen, undifferenzierten protodermalen Zellen wird durch spezifische Transkriptionsfaktoren gesteuert.</li> <li>• Ohne die Aktivität dieser Faktoren im entsprechenden Differenzierungsstadium ist eine korrekte Entwicklung der Schließzellen nicht möglich.</li> </ul>	4
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 3

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>beschreibt die in Abbildung 3A gezeigten Phänotypen der beiden Mutanten, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die <i>speechless</i>-Mutante besitzt keine Spaltöffnungen, sämtliche Zellen sind zu Epidermiszellen ausdifferenziert.</li> <li>Die <i>yoda</i>-Mutante weist im Vergleich zum Wildtyp wenige Epidermiszellen auf. Der überwiegende Teil besteht aus Schließzellen.</li> </ul>	4
2	<p>leitet ab, welcher Schritt der Schließzellendifferenzierung bei den Mutanten jeweils betroffen ist (Materialien B und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Wildtyp-Proteine YODA und SPEECHLESS sind Teile einer Signalkaskade, die (mindestens) einen der Differenzierungsschritte reguliert.</li> <li>Da bei der <i>speechless</i>-Mutante weder Schließzellen noch deren Vorläuferzellen vorhanden sind, muss ein früher Differenzierungsschritt betroffen sein.</li> <li>In der <i>yoda</i>-Mutante sind deutlich mehr Zellen zu Schließzellen differenziert. Auch dies deutet darauf hin, dass ein früher Differenzierungsschritt betroffen ist. (Alternative sachlogische Lösungen sind entsprechend zu werten.)</li> </ul>	4
3	<p>leitet ab, welcher Schritt der Schließzellendifferenzierung bei den Mutanten jeweils betroffen ist (Materialien B und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Differenzierung der protodermalen Zelle in eine Meristemoid-Zelle bzw. in die Vorläuferzelle einer Epidermiszelle ist gestört. Daher entwickeln sich in der <i>speechless</i>-Mutante alle protodermalen Zellen zu Epidermiszellen und in der <i>yoda</i>-Mutante die meisten protodermalen Zellen zu Schließzellen. (Alternative sachlogische Lösungen sind entsprechend zu werten.)</li> </ul>	2
4	<p>erläutert anhand der Abbildungen 2 und 3B die Entstehung der unterschiedlichen Phänotypen von <i>speechless</i> und <i>yoda</i> (Materialien B und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die gegensätzlichen Phänotypen der beiden Mutanten lassen sich durch die Funktion der jeweils betroffenen Proteine in der Signalkaskade erklären.</li> <li>Die Aktivität des SPEECHLESS-Proteins ist für einen frühen Differenzierungsschritt entscheidend. Fehlt das Protein oder ist es durch eine Mutation funktionslos, so kann die Differenzierung in Meristemoid-Zellen nicht erfolgen. Stattdessen entwickeln sich alle protodermalen Zellen zu Epidermiszellen.</li> </ul>	4
5	<p>erläutert anhand der Abbildungen 2 und 3B die Entstehung der unterschiedlichen Phänotypen von <i>speechless</i> und <i>yoda</i> (Materialien B und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Das YODA-Protein steht am Anfang der Signalkette aus Proteinen, welche die Aktivität des SPEECHLESS-Transkriptionsfaktors letztendlich hemmen.</li> <li>Fehlt YODA, so entfällt die hemmende Wirkung auf SPEECHLESS und die Differenzierung der protodermalen Zelle in eine Meristemoid-Zelle und die anschließende weitere Differenzierung zur Schließzelle können (verstärkt) erfolgen.</li> </ul>	4
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>fasst die bei Eukaryoten für die Bildung der reifen mRNA notwendigen Schritte zusammen, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der Transkription wird komplementär zum codogenen Strang eine mRNA-Kopie gebildet, die neben den codierenden Sequenzen (Exons) auch nicht-codierende Bereiche (Introns) enthält.</li> <li>• Im Zuge der RNA-Prozessierung werden die Introns durch das Spleißosom herausgeschnitten (Spleißen) und die Exons zusammengeführt.</li> <li>• Zusätzlich wird am 5'-Ende der mRNA eine Kappe aus einem methylierten Guanosylrest aufgesetzt und am 3'-Ende ein Poly-A-Schwanz angehängt.</li> </ul>	6
2	<p>erläutert differenziert das Zustandekommen der unterschiedlich langen mRNA-Moleküle beim Wildtyp und bei der <i>mute</i>-Mutante, z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Länge der reifen <i>MUTE</i>-mRNA beim Wildtyp (609 bp) ergibt sich aus den Längen der drei Exons (96 bp, 420 bp und 93 bp).</li> <li>• Bei der <i>mute</i>-Mutante ist der Spleißprozess durch eine Mutation in einer für diesen Prozess wichtigen Sequenz an der ersten Exon/Intron-Grenze gestört und das erste Intron wird im Verlaufe des Spleißprozesses nicht entfernt.</li> <li>• Dadurch verlängert sich die reife mRNA um 523 bp.</li> </ul>	8
3	<p>leitet die Auswirkungen der Mutation auf das gebildete Polypeptid ab (Material D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• In der <i>mute</i>-Mutante entsteht durch die zusätzliche Translation des ersten Introns ein (aufgrund der Leserasterverschiebung) verändertes und ggf. längeres Polypeptid.</li> <li>• Die Veränderung betrifft auch die für die Funktion des Transkriptionsfaktors wichtige DNA-Bindedomäne. Der Transkriptionsfaktor ist somit nicht mehr in der Lage, an den spezifischen DNA-Abschnitt im Promotor der Zielgene zu binden und deren Transkription zu ermöglichen.</li> </ul> <p><i>(Sollte der Prüfling argumentieren, dass in der Intron-Sequenz ein Stopp-Codon vorhanden sein könnte und dadurch ein frühzeitiger Abbruch der Translation zu einem kürzeren Polypeptid führt, so ist dies ebenfalls zu werten.)</i></p>	6
4	<p>entwickelt auch auf der Grundlage der Experimente mit dem MUTE-GFP-Fusionsprotein eine Hypothese zum zu erwartenden Phänotyp der <i>mute</i>-Mutante (Materialien B und D), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Experimente mit dem MUTE-GFP-Fusionsprotein haben gezeigt, dass das MUTE-Protein erst in Meristemoid-Zellen aktiv ist.</li> <li>• Es ist somit wahrscheinlich für einen der Differenzierungsschritte von der Meristemoid-Zelle zur Schließzelle verantwortlich.</li> <li>• Bei einem Fehlen des MUTE-Proteins verbleiben die Meristemoid-Zellen möglicherweise in ihrem Differenzierungsstadium und entwickeln sich nicht weiter.</li> <li>• Die <i>mute</i>-Mutante müsste demnach Meristemoid-Zellen, aber keine ausdifferenzierten Schließzellen aufweisen.</li> </ul> <p><i>(Alternative sachlogische Hypothesen sind entsprechend zu werten.)</i></p>	6
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## b) Darstellungsleistung

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



**7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
1	erklärt die Bedeutung ...	4			
2	begründet die unterschiedlichen ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
<b>Summe 1. Teilaufgabe</b>		<b>12</b>			

**Teilaufgabe 2**

Anforderungen		Lösungsqualität			
Der Prüfling		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
1	erklärt die Bedeutung ...	6			
2	erklärt deren Funktion ...	4			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
<b>Summe 2. Teilaufgabe</b>		<b>10</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	beschreibt die in ...	4			
2	leitet ab, welcher ...	4			
3	leitet ab, welcher ...	2			
4	erläutert anhand der ...	4			
5	erläutert anhand der ...	4			
6	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 3. Teilaufgabe</b>	<b>18</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	fasst die bei ...	6			
2	erläutert differenziert das ...	8			
3	leitet die Auswirkungen ...	6			
4	entwickelt auch auf ...	6			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 4. Teilaufgabe</b>	<b>26</b>			
	<b>Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe</b>	<b>66</b>			

**Darstellungsleistung**

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

	<b>Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)</b>	<b>75</b>			
--	---	-----------	--	--	--

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



Name: \_\_\_\_\_

# Abiturprüfung 2018

## Biologie, Leistungskurs

---

### Aufgabenstellung:

#### Thema: Der Giftapparat der Hundertfüßer

1. Stellen Sie die Homologiekriterien dar und prüfen Sie auf dieser Basis, ob die in Abbildung 2 gezeigten Strukturen homolog sind (Materialien A und B). Entwickeln Sie unter Berücksichtigung von Abbildung 3 eine Hypothese zur Evolution des Giftapparates der Hundertfüßer (Materialien A und B). *(18 Punkte)*
2. Beschreiben Sie die Ergebnisse der Patch-Clamp-Messungen in Abbildung 4 und erläutern Sie die Wirkungsweise des Toxins ST2 bei Ratten (Materialien A und C). Skizzieren Sie den zu erwartenden zeitlichen Verlauf des Membranpotenzials am Axon bei überschwelliger Reizung allgemein und mit hoher ST2-Toxinwirkung (Material C). *(20 Punkte)*
3. Erklären Sie die Rolle von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen bei der synaptischen Signalübertragung und erläutern Sie anhand von Abbildung 5 die Wirkungsweise des Toxins ST5 bei Ratten (Materialien A und C). *(14 Punkte)*
4. Fassen Sie die in Abbildung 6 gezeigten Ergebnisse zusammen (Material C). Werten Sie Material C im Hinblick auf die jeweilige Funktion aller drei untersuchten Toxine für den Chinesischen Rotkopfhundertfüßer aus und erklären Sie deren Vorteile aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A und C). *(14 Punkte)*

### Zugelassene Hilfsmittel:

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung



Name: \_\_\_\_\_

### Material A: Hundertfüßer und ihre Gifte

Die Klasse der Hundertfüßer (Chilopoda) umfasst über 3000 Arten und gehört wie die Insekten zum Stamm der Gliederfüßer (Arthropoda), die sich u. a. durch einen in Segmente gegliederten Körperbau und ein Außenskelett aus Chitin auszeichnen. Hundertfüßer sind überwiegend bodenbewohnende und nachtaktive Räuber. Dazu zählen auch die Skolopender. Die größte Art, *Scolopendra gigantea*, kann eine Länge von bis zu 30 cm erreichen. Zur Beute der Skolopender gehören neben Schnecken, Regenwürmern, Insekten und weiteren Gliederfüßern auch Wirbeltiere wie z. B. Frösche, Schlangen, Mäuse oder Fledermäuse. Skolopender verfügen über ein breites Spektrum verschiedener Toxine, die unter anderem neurotoxisch wirken. Sie werden mithilfe zweier seitlich am Kopf sitzender Giftklauen in den Körper der Beute injiziert und lähmen bzw. töten diese. Manche der Neurotoxine binden an spannungsgesteuerte Ionenkanäle. Neben der Jagd werden die Toxine auch zur Verteidigung gegen Fressfeinde (insbesondere Vögel und Schlangen) eingesetzt. Für den Menschen ist ein Biss normalerweise nicht lebensbedrohlich, wird jedoch als brennend und äußerst schmerzhaft beschrieben.

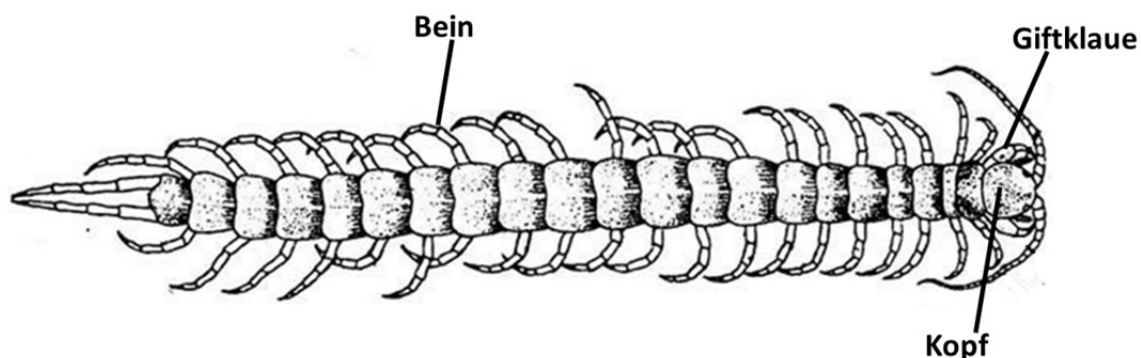


Abbildung 1: Aufsicht auf den Körperbau eines Skolopenders (*Scolopendra spec.*)

Name: \_\_\_\_\_

## Material B: Evolution des Giftapparates

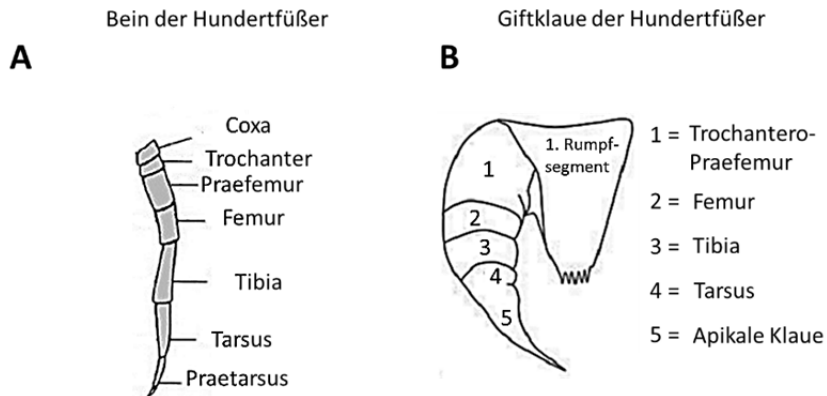


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der Extremitäten (Bein und Giftklaue) von Hundertfüßern  
(Die angeführten Fachbegriffe benennen die einzelnen Segmente der Extremitäten, von denen einige auch verwachsen sein können.)

Die Giftdrüse im Inneren der Giftklaue wird von einem Gift produzierenden Gewebe gebildet, das einen Sammel- und Ausführungskanal umschließt, durch den das von der Drüse abgesonderte Gift bis in die Spitze der Giftklaue gepumpt wird (Abbildung 3).

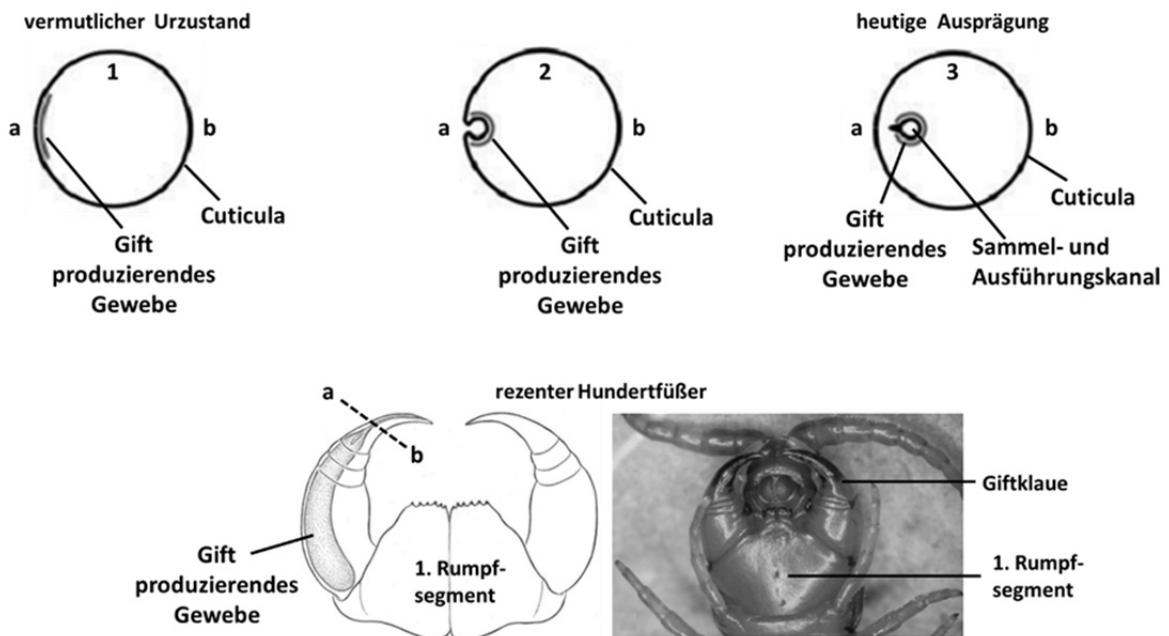


Abbildung 3: Mögliche evolutive Entwicklung des Giftapparates bei Hundertfüßern  
(Die Schemata 1 bis 3 zeigen mögliche Schritte vom vermutlichen Urzustand bis hin zur heutigen Ausprägung. Dargestellt ist jeweils ein Querschnitt durch das vordere Segment der Giftklaue. Die Buchstaben a und b kennzeichnen in allen Abbildungen die beiden Seiten der Giftklaue. Das Schema und das Foto eines rezenten Hundertfüßers zeigen jeweils die Körperunterseite.)



Name: \_\_\_\_\_

### Material C: Untersuchungen zur Wirkungsweise von Toxinen des Chinesischen Rotkopfhundertfüßers

Wissenschaftler untersuchten die Wirkung der drei Toxine  $\kappa$ -SLPTX-Ssm1a (ST2),  $\omega$ -SLPTX-Ssm1a (ST5) und RhTx des Chinesischen Rotkopfhundertfüßers (*Scolopendra subspinipes mutilans*).

Die Wissenschaftler ermittelten mithilfe der Patch-Clamp-Technik den  $K^+$ -Strom ( $I_{K^+}$ ) durch spannungsabhängige  $K^+$ -Kanäle der Axonmembran von Ratten (*Rattus spec.*) während eines künstlichen Reizes nach der Zugabe unterschiedlicher Konzentrationen des Toxins ST2. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

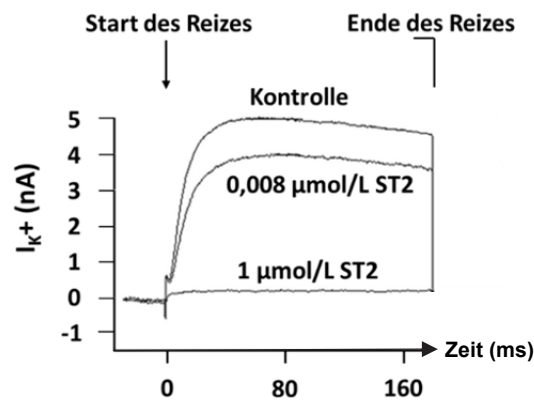


Abbildung 4: Patch-Clamp-Messungen an spannungsabhängigen  $K^+$ -Kanälen an Neuronen von Ratten nach Einwirkung des Toxins ST2  
(Die Kurven zeigen die Stärke des  $K^+$ -Stroms ( $I_{K^+}$ ) während eines künstlichen Reizes bei zwei unterschiedlichen Toxinkonzentrationen (untere Kurven). Die obere Kurve zeigt die Kontrollmessung ohne Toxin. Der Ionenfluss durch die  $K^+$ -Kanäle wurde in nA (Nanoampere) gemessen.)

In einem weiteren Experiment ermittelten die Forscher die Auswirkungen des Toxins ST5 auf spannungsabhängige  $Ca^{2+}$ -Ionenkanäle an Synapsen. Auch hier wurden Patch-Clamp-Messungen an Neuronen von Ratten durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

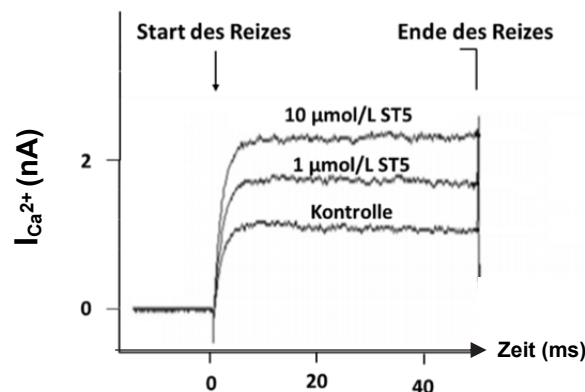


Abbildung 5: Patch-Clamp-Messungen an spannungsabhängigen  $Ca^{2+}$ -Kanälen an Neuronen von Ratten nach Einwirkung des Toxins ST5  
(Die Kurven zeigen die Stärke des  $Ca^{2+}$ -Stroms ( $I_{Ca^{2+}}$ ) während eines künstlichen Reizes bei zwei unterschiedlichen Toxinkonzentrationen (obere Kurven). Die untere Kurve zeigt die Kontrollmessung ohne Toxin. Der Ionenfluss durch die  $Ca^{2+}$ -Kanäle wurde in nA (Nanoampere) gemessen.)



Name: \_\_\_\_\_

Um zu überprüfen, ob die Toxine ST2 bzw. ST5 auf mögliche Beuteinsekten der Hundertfüßer eine entsprechende Wirkung haben, injizierten die Forscher beide Toxine in unterschiedlichen Dosen verschiedenen Insektenarten. In Abbildung 6 sind beispielhaft die Ergebnisse der Experimente mit Amerikanischen Großschaben (*Periplaneta americana*) gezeigt, die Experimente mit anderen Insektenarten ergaben vergleichbare Ergebnisse.

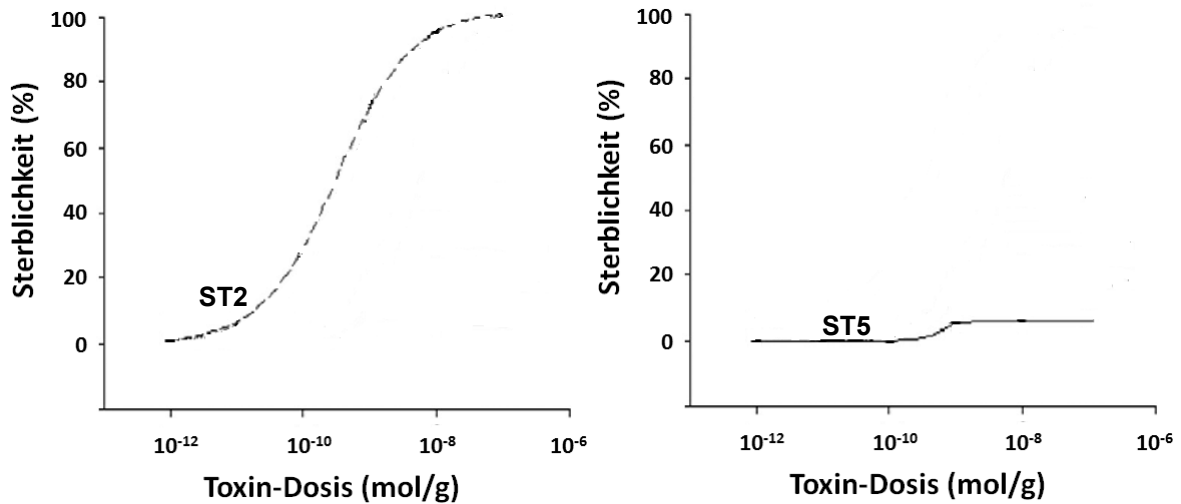


Abbildung 6: Sterblichkeit von Amerikanischen Großschaben in Abhängigkeit der Konzentration der Toxine ST2 bzw. ST5  
(Berechnet wurde die Toxin-Dosis in Mol pro Gramm Körpergewicht.)

Zusätzlich untersuchten die Forscher die Wirkungsweise des Toxins RhTx. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Toxin bei Mäusen den Schmerzrezeptor TRPV1 aktiviert. Menschen, Vögel und Reptilien verfügen ebenfalls über einen TRPV1-Rezeptor.

Die Forscher gehen davon aus, dass alle drei untersuchten Toxine ST2, ST5 und RhTx auch bei anderen Wirbeltieren wirken.

## Unterlagen für die Lehrkraft

# Abiturprüfung 2018

## Biologie, Leistungskurs

### 1. Aufgabenart

Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält

### 2. Aufgabenstellung<sup>1</sup>

**Thema: Der Giftapparat der Hundertfüßer**

1. Stellen Sie die Homologiekriterien dar und prüfen Sie auf dieser Basis, ob die in Abbildung 2 gezeigten Strukturen homolog sind (Materialien A und B). Entwickeln Sie unter Berücksichtigung von Abbildung 3 eine Hypothese zur Evolution des Giftapparates der Hundertfüßer (Materialien A und B). *(18 Punkte)*
2. Beschreiben Sie die Ergebnisse der Patch-Clamp-Messungen in Abbildung 4 und erläutern Sie die Wirkungsweise des Toxins ST2 bei Ratten (Materialien A und C). Skizzieren Sie den zu erwartenden zeitlichen Verlauf des Membranpotenzials am Axon bei überschwelliger Reizung allgemein und mit hoher ST2-Toxinwirkung (Material C). *(20 Punkte)*
3. Erklären Sie die Rolle von  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen bei der synaptischen Signalübertragung und erläutern Sie anhand von Abbildung 5 die Wirkungsweise des Toxins ST5 bei Ratten (Materialien A und C). *(14 Punkte)*
4. Fassen Sie die in Abbildung 6 gezeigten Ergebnisse zusammen (Material C). Werten Sie Material C im Hinblick auf die jeweilige Funktion aller drei untersuchten Toxine für den Chinesischen Rotkopfhundertfüßer aus und erklären Sie deren Vorteile aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A und C). *(14 Punkte)*

<sup>1</sup> Die Aufgabenstellung deckt inhaltlich alle drei Anforderungsbereiche ab.



### 3. Materialgrundlage

- Material A:  
Abbildung 1 verändert nach: Jain und Wehner & Gehring 1995, Abb. 12.43 D
- Material B:  
Abbildung 2A verändert nach: spektrum.de  
Abbildung 2B verändert nach: Dugon & Arthur 2012, Fig. 1  
Abbildung 3 verändert nach: Knoflach 2010, Fig. 9 und 11, Dugon & Arthur 2012, Fig. 9
- Material C:  
Abbildungen 4, 5 und 6 verändert nach: Yang *et al.* 2012, Fig. 3, 5 und 8
- Dugon, M. M. & Arthur, W. (2012). Comparative studies on the structure and development of the venom-delivery system of the centipedes, and a hypothesis on the origin of this evolutionary novelty. *Evolution & Development* 14, 128–137
- Dugon, M. M. *et al.* (2012). Development of the venom ducts in the centipede *Scolopendra*: an example of recapitulation. *Evolution & Development* 14, 515–521
- Dugon, M. M. (2015). Evolution, Morphology and Development of the Centipede Venom System. In: *Evolution of Venomous Animals and Their Toxins*. Springer Science + Business Media, Dordrecht
- Edgecombe, G. D. & Giribet, G. (2007). Evolutionary Biology of Centipedes (Myriapoda: Chilopoda). *Annu. Rev. Entomol.* 52, 151–170
- Frias, B. & Merighi, A. (2016). Capsaicin, Nociception and Pain. *Molecules* 21, 1–33
- Hakim, M. A. *et al.* (2015). Centipede Venoms and Their Components: Resources for Potential Therapeutic Applications. *Toxins* 7, 4832–4851
- Jain, K. (o. J.). Study Notes on Scolopendra. Verfügbar unter:  
<http://www.biologydiscussion.com/invertebrate-zoology/phylum-arthropoda/study-notes-on-scolopendra/33365> (Zugriff: 06.05.2017)
- Knoflach, B. (2010). Hundert- und Tausendfüßer und ihre humanmedizinische Bedeutung. *Denisia* 30, 365–380
- Undheim, E. A. B. & King, G. F. (2011). On the venom system of centipedes (Chilopoda), a neglected group of venomous animals. *Toxicon* 57, 512–524
- Undheim, E. A. B. *et al.* (2014). Clawing through Evolution: Toxin Diversification and Convergence in the Ancient Lineage Chilopoda (Centipedes). *Mol. Biol. Evol.* 31, 2124–2148
- Undheim, E. A. B. *et al.* (2015). Centipede Venom: Recent Discoveries and Current State of Knowledge. *Toxins* 7, 679–704
- Wehner, R. & Gehring, W. (1995). *Zoologie* (23. Aufl.). Thieme Verlag: Stuttgart, New York
- Yang, S. *et al.* (2012). Chemical Punch Packed in Venoms Makes Centipedes Excellent Predators. *Molecular & Cellular Proteomics* 11, 640–650
- Yang, S. *et al.* (2015). A pain-inducing centipede toxin targets the heat activation machinery of nociceptor TRPV1. *Nature Communications* 6, 8297
- [www.spektrum.de/lexika/images/biok/fff424\\_w.jpg](http://www.spektrum.de/lexika/images/biok/fff424_w.jpg) (Zugriff: 04.02.2017)

#### **4. Bezüge zum Kernlehrplan und zu den Vorgaben 2018**

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
- Methoden der Neurobiologie

###### Evolution

- Entwicklung der Evolutionstheorie
- Grundlagen evolutiver Veränderung

###### Ökologie

- Umweltfaktoren und ökologische Potenz

##### *2. Medien/Materialien*

- entfällt

#### **5. Zugelassene Hilfsmittel**

- Taschenrechner (graphikfähiger Taschenrechner / CAS-Taschenrechner)
- Wörterbuch zur deutschen Rechtschreibung

## 6. Vorgaben für die Bewertung der Schülerleistungen

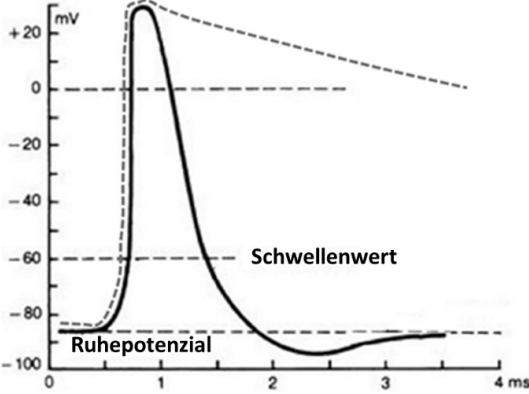
### Teilleistungen – Kriterien

#### a) inhaltliche Leistung

#### Teilaufgabe 1

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>stellt die Homologiekriterien dar, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kriterium der Lage: Strukturen sind dann homolog, wenn Anzahl und relative Verknüpfung ihrer Teilstrukturen übereinstimmen.</li> <li>• Kriterium der Stetigkeit: Kann durch Zwischenformen ein stetiger Übergang bei zwei stark veränderten Strukturen aufgezeigt werden, so sind die Strukturen homolog.</li> <li>• Kriterium der spezifischen Qualität: Findet man bei äußerlich wenig ähnlichen Strukturen gemeinsame charakteristische Merkmale (z. B. im Aufbau oder den Bestandteilen), so kann man ebenfalls von einem gemeinsamen Ursprung der Strukturen ausgehen.</li> </ul>	6
2	<p>prüft auf dieser Basis, ob die in Abbildung 2 gezeigten Strukturen homolog sind (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Beine und die Giftklaue der Hundertfüßer sind jeweils aus mehreren weitgehend gleichen Segmenten aufgebaut, die alle seitlich am Körper ansetzen. Die Strukturen lassen sich demnach auf einen gemeinsamen Grundbauplan der Gliederfüßer-Extremitäten zurückführen. Das Kriterium der Lage ist somit erfüllt.</li> <li>• Der Feinbau der Strukturen, d. h. das seitliche Ansetzen und die Übereinstimmung in der Segmentierung bis hin zum gemeinsamen Aufbau des Außenskeletts aus Chitin, ist gegeben. Das Kriterium der spezifischen Qualität ist ebenfalls erfüllt.</li> <li>• Ob das Kriterium der Stetigkeit zutrifft, lässt sich auf der Grundlage des Materials nicht ermitteln.</li> <li>• Da jedoch zwei von drei Kriterien erfüllt sind, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass alle Extremitäten als homolog anzusehen sind.</li> </ul>	6
3	<p>entwickelt unter Berücksichtigung von Abbildung 3 eine Hypothese zur Evolution des Giftapparates der Hundertfüßer (Materialien A und B), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Der Sammel- und Ausführungskanal ist vermutlich durch eine Einstülpung eines Teils der Cuticula entstanden.</li> <li>• Das Gift produzierende Gewebe ist mit dem Kanal ins Innere der Giftklaue gewandert und umschließt in seiner heutigen Ausprägung den Kanal.</li> <li>• Für die Träger entsprechender Allele stellte dies einen Selektionsvorteil dar, da das dort gebildete Gift direkt in den Giftkanal strömen und in die Beute bzw. den Angreifer gepumpt werden konnte.</li> <li>• Dieser Fitnessvorteil führte allmählich zu einer Anreicherung der entsprechenden Allele im Genpool.</li> </ul> <p><i>(Ausführungen zum Konzept der Präadaptation werden nicht erwartet und stellen ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	6
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
<b>Der Prüfling</b>		
1	beschreibt die Ergebnisse der Patch-Clamp-Messungen in Abbildung 4, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch den künstlichen Reiz erhöht sich der Wert des K<sup>+</sup>-Ionenstroms bei der Kontrollmessung von 0 nA auf etwa 5 nA. Nach Beendigung des Reizes fällt er auf 0 nA.</li> <li>• Bei Zugabe von 0,008 µM ST2 steigt der Wert des K<sup>+</sup>-Ionenstroms nach Reizbeginn ebenfalls an, jedoch schwächer als bei der Kontrolle, bis etwa 4 nA. Nach Beendigung des Reizes fällt der Messwert ebenfalls auf 0 nA.</li> <li>• Bei Zugabe von 1 µM ST2 ist kein K<sup>+</sup>-Ionenstrom messbar.</li> </ul>	4
2	erläutert die Wirkungsweise des Toxins ST2 bei Ratten (Materialien A und C), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ST2 hemmt den K<sup>+</sup>-Ionenstrom durch spannungsabhängige K<sup>+</sup>-Ionenkanäle bei Ratten.</li> <li>• Dies hat zur Folge, dass die Repolarisierung der Membran nach erfolgtem Na<sup>+</sup>-Ionen-Einstrom (Depolarisation) verzögert wird.</li> </ul>	4
3	erläutert die Wirkungsweise des Toxins ST2 bei Ratten (Materialien A und C), z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch die anhaltende Depolarisation ist die Zellmembran nicht erregbar.</li> <li>• Die spannungsabhängigen Na<sup>+</sup>-Ionenkanäle bleiben geschlossen, und es können somit keine neuen Aktionspotenziale gebildet werden.</li> <li>• Dementsprechend wird auch die nachfolgende synaptische Signalübertragung gestört.</li> <li>• Dies kann so zu Lähmungserscheinungen der Muskulatur (z. B. Bewegung, Atmung) führen.</li> </ul>	6
4	skizziert den zu erwartenden zeitlichen Verlauf des Membranpotenzials am Axon bei überschwelliger Reizung allgemein und mit hoher ST2-Toxinwirkung (Material C), z. B.: <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>(Die gestrichelte Linie zeigt den zu erwartenden Kurvenverlauf bei Zugabe von ST2. Präzise Werte zum Verlauf der Kurve unter ST2-Einwirkung müssen nicht angegeben werden.)</p>	6
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 3

Anforderungen		maximal erreichbare Punktzahl
Der Prüfling		
1	<p>erklärt die Rolle von <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionen bei der synaptischen Signalübertragung, sinngemäß:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Als Folge eines ankommenden Aktionspotenzials gelangen <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionen durch geöffnete spannungsabhängige <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionenkanäle in das Endknöpfchen.</li> <li>• Der Einstrom der <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionen sorgt dafür, dass die mit Neurotransmittern gefüllten Vesikel mit der präsynaptischen Membran verschmelzen.</li> <li>• Die Transmitter (z. B. Acetylcholin) werden in den synaptischen Spalt ausgeschüttet und bewirken eine Veränderung des postsynaptischen Membranpotenzials.</li> </ul> <p><i>(Eine vertiefte Erklärung der Synapsenvorgänge wird nicht erwartet und stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	6
2	<p>erläutert anhand von Abbildung 5 die Wirkungsweise des Toxins ST5 bei Ratten (Materialien A und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Toxin erhöht den Ionenfluss durch spannungsabhängige <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionenkanäle in der präsynaptischen Membran bei Ratten und bewirkt somit einen verstärkten Einstrom von <math>\text{Ca}^{2+}</math>-Ionen in das Endknöpfchen.</li> <li>• Es kommt demzufolge zu einer erhöhten Ausschüttung von Neurotransmittern.</li> <li>• In der Postsynapse entsteht ein stärkeres exzitatorisches postsynaptisches Potenzial (EPSP), wodurch sich die Wahrscheinlichkeit der Generierung eines Aktionspotenzials in der Postsynapse erhöht.</li> <li>• Werden auf diese Weise verstärkt Aktionspotenziale gebildet, kommt es zu einer Dauererregung der Nerven.</li> <li>• Dies kann zu einem Verkrampfen der Muskulatur und damit zur Lähmung führen.</li> </ul> <p><i>(Eine zusätzliche Berücksichtigung der Prozesse an hemmenden chemischen Synapsen wird nicht erwartet und stellt ggf. ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium dar.)</i></p>	8
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## Teilaufgabe 4

	Anforderungen	maximal erreichbare Punktzahl
	Der Prüfling	
1	<p>fasst die in Abbildung 6 gezeigten Ergebnisse zusammen (Material C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Abbildung zeigt die prozentuale Sterblichkeit von Amerikanischen Großschabern in Abhängigkeit der Dosis der beiden Toxine ST2 und ST5.</li> <li>Die Sterblichkeit der Insekten erhöht sich, je höher die Konzentration des Toxins ST2 ist.</li> <li>Ab einer Konzentration von etwa <math>10^{-7}</math> mol/g Körpergewicht beträgt die Sterblichkeit 100 %.</li> <li>Eine Verabreichung höherer Dosen des Toxins ST5 hat kaum Auswirkungen auf die Sterblichkeit. Sie liegt bei etwa 0 – 5 %.</li> </ul>	4
2	<p>wertet Material C im Hinblick auf die jeweilige Funktion aller drei untersuchten Toxine für den Chinesischen Rotkopfhundertfüßer aus (Materialien A und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die beiden Toxine ST2 und ST5 führen bei Wirbeltieren zu einer Lähmung bzw. zur Verkrampfung und können somit sowohl bei der Jagd auf kleinere Säugetiere wie Fledermäuse oder Mäuse nützlich sein als auch bei der Verteidigung gegen größere Räuber.</li> <li>ST2 hat im Gegensatz zu ST5 auch eine (in hoher Dosis) tödliche Wirkung auf Insekten. Es ist daher für den Chinesischen Rotkopfhundertfüßer auch für die Jagd auf diese Tiere von Nutzen.</li> <li>Das Toxin RhTx aktiviert den Schmerzrezeptor TRPV1 bei Wirbeltieren. Es ist somit für die Verteidigung der Skolopender von Nutzen und dient wahrscheinlich in erster Linie nicht der Jagd.</li> </ul>	6
3	<p>erklärt deren Vorteile aus evolutionsbiologischer Sicht (Materialien A und C), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Der erhöhte Jagd- oder Verteidigungserfolg bringt für die Hundertfüßer einen Fitnessgewinn mit sich und besitzt somit einen hohen Selektionsvorteil gegenüber solchen Individuen, die kein oder nur ein abgeschwächtes Gift besitzen.</li> <li>Eine Vielzahl an unterschiedlichen Giften erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Räuber und Beutetiere erfolgreich abgewehrt bzw. gelähmt und gefressen werden können.</li> </ul> <p><i>(Alternative sachlogisch richtige Erläuterungen sind entsprechend zu werten.)</i></p>	4
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium. (2)	

## b) Darstellungsleistung

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

**7. Bewertungsbogen zur Prüfungsarbeit**

Name des Prüflings: \_\_\_\_\_ Kursbezeichnung: \_\_\_\_\_

Schule: \_\_\_\_\_

**Teilaufgabe 1**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK <sup>2</sup>	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	stellt die Homologiekriterien ...	6			
2	prüft auf dieser ...	6			
3	entwickelt unter Berücksichtigung ...	6			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 1. Teilaufgabe</b>	<b>18</b>			

**Teilaufgabe 2**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	beschreibt die Ergebnisse ...	4			
2	erläutert die Wirkungsweise ...	4			
3	erläutert die Wirkungsweise ...	6			
4	skizziert den zu ...	6			
5	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 2. Teilaufgabe</b>	<b>20</b>			

<sup>2</sup> EK = Erstkorrektur; ZK = Zweitkorrektur; DK = Drittkorrektur

**Teilaufgabe 3**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	erklärt die Rolle ...	6			
2	erläutert anhand von ...	8			
3	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 3. Teilaufgabe</b>	<b>14</b>			

**Teilaufgabe 4**

	Anforderungen	Lösungsqualität			
		maximal erreichbare Punktzahl	EK	ZK	DK
	<b>Der Prüfling</b>				
1	fasst die in ...	4			
2	wertet Material C ...	6			
3	erklärt deren Vorteile ...	4			
4	erfüllt ein weiteres aufgabenbezogenes Kriterium: (2) ..... .....				
	<b>Summe 4. Teilaufgabe</b>	<b>14</b>			
	<b>Summe der 1., 2., 3. und 4. Teilaufgabe</b>	<b>66</b>			

**Darstellungsleistung**

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

	<b>Summe insgesamt (inhaltliche und Darstellungsleistung)</b>	<b>75</b>			
--	---	-----------	--	--	--

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