

**Vorgesehene Bearbeitungsdauer für diese Aufgabe:**

**90 Minuten**

Gesamtdauer der Klausur gemäß VV zu § 14 Absatz 1 APO-GOST: 225 Minuten (Q2.1)

300 Minuten (Q2.2)

inclusive 30 Minuten Auswahlzeit

## **Thema: Evolution bei Schaben**

Küchenschaben werden in Wohnungen mit Insektiziden bekämpft. Wirkt das eingesetzte Mittel nicht mehr tödlich auf die Schaben, so sind sie gegen den betreffenden Wirkstoff resistent.

### **Aufgabenstellung:**

1. Leiten Sie Selektionsvorteile für *Blattella germanica* ab, die sich aus ihrer Lebensweise ergeben (M 1). (5 BE)
2. Skizzieren Sie Kurvendiagramme, die den Einfluss der drei Selektionstypen auf die Merkmalsverteilung in Populationen zeigen. (6 BE)
3. Beschreiben Sie die in Abbildung 1 gezeigten Zusammenhänge und leiten Sie jeweils den Selektionstyp ab (M 1 und M 2). (8 BE)
4. Stellen Sie eine Hypothese zur Resistenzentwicklung bei *B. germanica* PR-712 auf Basis der Synthetischen Evolutionstheorie auf (M 1 und M 2). (6 BE)
5. Leiten Sie aus den in M 3 dargestellten Untersuchungen Entwicklungstrends ab (M 3). (5 BE)
6. Analysieren Sie die in M 3 gezeigten Ergebnisse unter Berücksichtigung einer Kosten-Nutzen-Analyse (M 1 bis M 3). Stellen Sie eine evolutionsbiologisch begründete Hypothese zur weiteren Entwicklung des Stammes PR-712-Indoxacarb bei optimaler Laborhaltung ohne Insektizid auf (M 1 bis M 3). (10 BE)

### M 1 Lebensweise der Deutschen Schabe

Die ursprünglich aus den Tropen stammende Deutsche Schabe (*Blattella germanica*) kommt als Vorratsschädling und Kulturfolger weltweit unter anderem in Wohnungen, Gaststätten, Großküchen und Krankenhäusern vor. Die nachtaktiven Tiere bevorzugen Habitate mit Temperaturen über 20 °C. Durch den flachen Körperbau der etwa 15 Millimeter großen *B. germanica* reichen Spalten von fünf Millimetern Breite als Versteck aus. Als Nahrung dienen diesem Allesfresser alle organischen Reste menschlicher Nahrungsmittel wie Brotkrümel, Gemüsereste und Ähnliches, die zufällig in die Nähe der Verstecke gelangen. Die Tiere können etwa 40 Tage ohne Nahrung bei Zufuhr von Wasser überleben.

Ein ausgewachsenes, gut genährtes Weibchen hat eine Lebenserwartung von etwa sechs Monaten und kann in dieser Zeit rund 200 Eier ablegen. Die Entwicklung vom Ei über Larvenstadien bis zum adulten Insekt benötigt bei guter Versorgung mit Nahrung und Wasser etwa zwei Monate. Die adulten Insekten sind bereits wenige Tage nach der Häutung geschlechtsreif. Daher können in einem Jahr ausgehend von einem geschlechtsreifen Weibchen Tausende Nachkommen erzeugt werden.

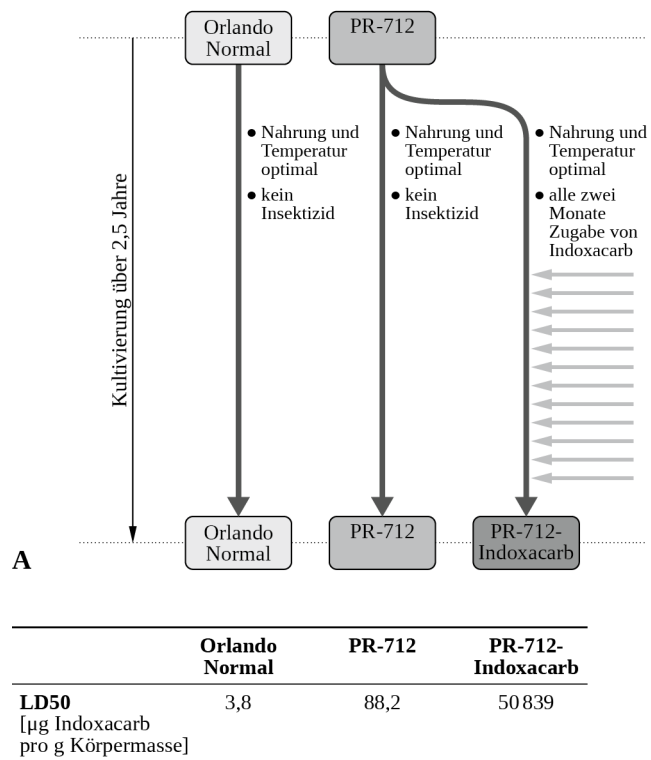
Der Aktionsradius der Larven und auch der Weibchen ist gering. Meist erfolgt die Verbreitung in andere Habitate etwa über Verpackungen von Lebensmitteln.

### M 2 Resistenz gegen Insektizide bei *B. germanica*

Im Haus vorkommende Populationen von *B. germanica* werden oft mit Insektiziden bekämpft. Wie bei vielen anderen Insekten kommen auch bei *B. germanica* Resistenzen gegen Insektizide vor.

Der Laborstamm „Orlando Normal“ ist ein seit 60 Jahren im Labor kultivierter Stamm, der unter optimalen Bedingungen ohne Einwirkung von Giften gehalten wird. Der Stamm PR-712 wurde in Puerto Rico gesammelt und besitzt Resistenzen gegen viele der handelsüblichen Insektizide, die dort zur Bekämpfung von *B. germanica* eingesetzt werden. Die Behandlung und weitere Entwicklung der *B. germanica*-Stämme zeigt Abbildung 1A.

Die Stämme wurden nach 2,5 Jahren Kultivierung im Labor hinsichtlich ihrer Resistenz gegen das Insektizid Indoxacarb untersucht (Abbildung 1B). Man ermittelte die Indoxacarb-Dosis, bei der 50 % der Tiere getötet wurden (LD50).

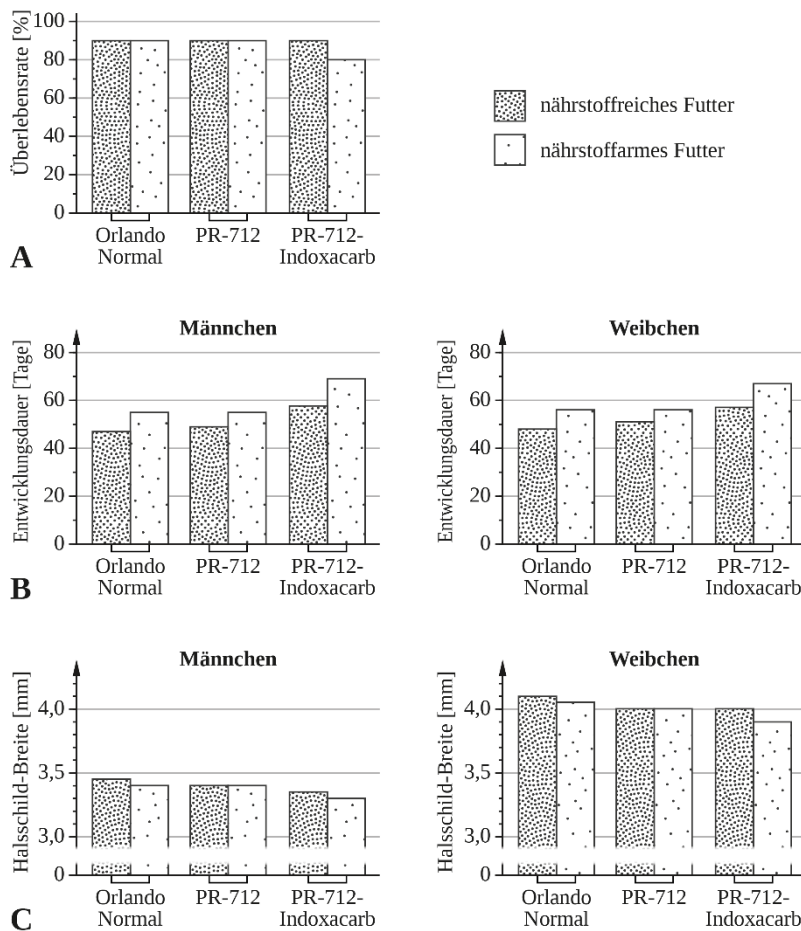


**Abbildung 1** Stämme von *B. germanica*. **A** Kulturbedingungen; **B** Resistenz gegen Indoxacarb

### M 3 Einflüsse von Nahrung und Indoxacarb-Resistenz auf die Entwicklung von *Bla-tella germanica*

Die Auswirkungen der Indoxacarb-Resistenz auf die individuelle Entwicklung von *B. germanica* wurden genauer untersucht. Dazu wurden die in Material B beschriebenen, unterschiedlichen Stämme von *B. germanica* in einer Versuchsreihe mit nährstoffreichem Futter, in der anderen Versuchsreihe mit nährstoffarmem Futter jeweils ohne Giftzugabe versorgt (Abbildung 2).

Die Breite des Halsschildes wird bei *B. germanica* als Maß für die erreichte Körpergröße genutzt. Größere Weibchen können in der Regel mehr Nährstoffe speichern als kleinere Weibchen. *B. germanica*-Weibchen bevorzugen bei der Partnerwahl größere Männchen als Paarungspartner.



**Abbildung 2 Versuchsergebnisse.** A Überlebensrate ausgehend vom ersten Larvenstadium; B Entwicklungsdauer vom ersten Larvenstadium bis zum adulten Insekt; C Breite des Halsschildes bei adulten Insekten

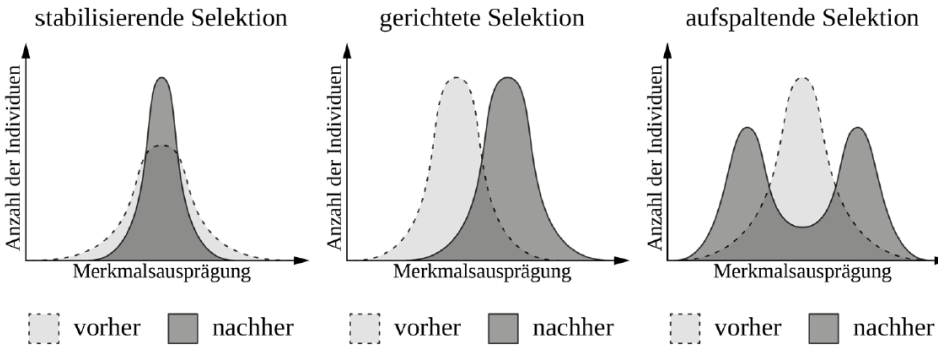
**Vorgesehene Bearbeitungsdauer für diese Aufgabe:**

**90 Minuten**

Gesamtdauer der Klausur gemäß VV zu § 14 Absatz 1 APO-GOST: 225 Minuten (Q2.1)

300 Minuten (Q2.2)

inclusive 30 Minuten Auswahlzeit

<b>Thema: Evolution bei Schaben</b> <i>Lösungsvorschlag</i>	<b>BE (AFB)</b>	<b>Erreichte BE</b>
<b>1</b>		
<b>Ableiten</b> Der flache Körperbau ermöglicht das Verstecken in schmalen Spalten, die etwa in menschlichen Behausungen häufig zu finden sind. Geeignete Nahrung gelangt häufig versehentlich durch den Menschen in die Nähe der Verstecke der Schaben. Auch ohne Nahrung können die Schaben rund 40 Tage überdauern, sodass eine Verknappung der Ressourcen überlebt wird. Aufgrund der Nachtaktivität und des geringen Aktionsradius der Tiere bleiben sie tagsüber meist unbemerkt. Diese Angepasstheiten bieten Selektionsvorteile in menschlichen Behausungen. Die schnelle Generationenfolge von rund zwei Monaten ermöglicht einem ausgewachsenen Weibchen, in einem Jahr tausende Nachkommen zu haben. Trotz des geringen Aktionsradius der Larven und Weibchen können die Tiere durch Verpackungen in neue Habitate gelangen, sodass bei geeigneten Bedingungen schnell eine Ausbreitung der Population erfolgen kann.	5 (II)	
<b>2</b>		
<b>Skizzieren</b>   <p>(Zur Vergabe der vollen Punktzahl müssen die Achsen sachrichtig beschriftet sein.)</p>	6 (I)	
<b>3</b>		
<b>Beschreiben</b> Der Laborstamm „Orlando Normal“ wurde über 2,5 Jahre unter optimalen Bedingungen kultiviert und blieb empfindlich gegenüber Indoxacarb, da seine LD50 3,8 µg/g betrug. Der Stamm PR-712 wurde ohne Zugabe von Indoxacarb über 2,5 Jahre vermehrt, anschließend betrug seine LD50 88,2 µg/g. Dieser Wert ist rund 20fach höher als bei „Orlando Normal“, daher liegt eine Resistenz vor. Der Stamm PR-712-Indoxacarb entwickelte sich aus PR-712 bei regelmäßiger Zugabe von Indoxacarb über 2,5 Jahre und seine LD50 betrug nach diesem Zeitraum 50 839 µg/g. Dieser Wert ist etwa 13 000fach höher als bei „Orlando Normal“. Die Resistenz gegen Indoxacarb stieg bei PR-712-Indoxacarb in einem Zeitraum von 2,5 Jahren bei regelmäßiger Zugabe des Giftes extrem stark an.	4 (I)	
<b>Ableiten</b> Bei „Orlando Normal“ und PR-712 lag jeweils eine stabilisierende Selektion vor, da über 2,5 Jahre die Kultivierungsbedingungen ohne Insektizid beibehalten wurden. Es handelte sich bei der Kultivierung von PR-712, die zur Entwicklung des Stamms PR-712-Indoxacarb führte, um eine gerichtete (transformierende) Selektion, da sich durch die regelmäßige Gabe des Fraßgiftes Indoxacarb die Merkmalsverteilung in der Population einseitig verschoben hat.	4 (II)	
<b>4</b>		
<b>Hypothese aufstellen</b> Die individuelle Variabilität in Bezug auf die Empfindlichkeit gegenüber Indoxacarb zeigte sich bei allen drei Stämmen darin, dass bei Einsatz der LD-50 jeweils 50 % der Individuen starben, also die anderen 50 % überlebten. In der Population von <i>B. germanica</i> PR-712 in Puerto Rico müssen vor Anwendung der Insektizide im Labor bereits mutierte Allele vorhanden gewesen sein, die eine Resistenz gegen das betreffende Insek-	3 (II) 3 (III)	

<b>Thema: Evolution bei Schaben</b>	<b>BE (AFB)</b>	<b>Erreichte BE</b>
<p><i>Lösungsvorschlag</i></p> <p>tizid bewirken können. Bei Zugabe von Indoxacarb besteht eine künstliche Selektion, bei der die resistenten Individuen ihre Allele in den Genpool der folgenden Generation einbringen können. Sie haben eine deutlich größere reproduktive Fitness als die nicht-resistenten Individuen.</p> <p>Die künstliche Selektion erzeugte immer wieder ein Absterben von Individuen in der Population von PR-712-Indoxacarb. Daher setzte ein rasches Populationswachstum resistenter Schaben ein und die zur Resistenz führenden Allele breiteten sich schnell in der Population aus.</p>		
<b>5</b>		
<p><b>Ableiten</b></p> <p>Die Überlebensrate der Larven bei nährstoffarmem Futter fällt bei PR-712-Indoxacarb etwas geringer aus als bei nährstoffreichem Futter.</p> <p>Die Entwicklungsdauer von Larven bis zum ausgewachsenen Insekt nimmt bei nährstoffreichem Futter mit zunehmender Resistenz der Stämme gegen Indoxacarb zu. Dieser Effekt ist stärker ausgeprägt, wenn nährstoffarmes Futter verwendet wird. Bei Männchen und Weibchen zeigen sich ähnliche Entwicklungszeiten und die gleichen Trends in Bezug auf die Entwicklungsdauer.</p> <p>Mit zunehmender Resistenz der Stämme gegen Indoxacarb nimmt die Breite des Halsschildes, hier ein Maß für die Körpergröße der ausgewachsenen Tiere, ab. Bei Männchen und Weibchen zeigt sich der gleiche Trend. Dieser Effekt ist bei der Verwendung von nährstoffarmem Futter ausgeprägter.</p>	2 (I) 3 (II)	
<b>6</b>		
<p><b>Analysieren</b></p> <p>Bei einer Kosten-Nutzen-Analyse wird der erhöhte Aufwand, meist energetische Kosten, im Verhältnis zum Nutzen des betreffenden Merkmals betrachtet. Die erhöhte Resistenz gegen Indoxacarb bedingt vermutlich einen erhöhten Stoffwechsellaufwand, erzeugt also energetische Kosten. Dieser Effekt scheint auch ohne Einwirkung des Giftes aufzutreten und bildet einen Nachteil.</p> <p>Die Entwicklungsdauer von der Larve zum ausgewachsenen und geschlechtsreifen Insekt ist unter Mangelbedingungen bei PR-712-Indoxacarb länger als bei den anderen beiden Stämmen, sodass auch hier eine geringere reproduktive Fitness zu erwarten ist. Kleinere Weibchen können weniger Energiereserven speichern als größere Weibchen und daher könnte die Gesamtzahl der Eier, die kleinere Weibchen produzieren, geringer sein als bei größeren Weibchen. Auch dieser Faktor führt zu einer Reduktion der reproduktiven Fitness der Weibchen, insbesondere bei schlechten Nahrungsbedingungen. Der Fortpflanzungserfolg von <i>B. germanica</i>-Männchen ist abhängig von der Partnerwahl durch das Weibchen und dieses bevorzugt größere Männchen als Paarungspartner. Daher haben die kleineren Männchen des Stammes PR-712-Indoxacarb insbesondere bei schlechten Nahrungsbedingungen eine geringere reproduktive Fitness.</p> <p>Die Kosten der erhöhten Indoxacarb-Resistenz vermindern daher insbesondere bei Mangelbedingungen die reproduktive Fitness der resistenten Schaben. Nur unter Einfluss von Indoxacarb überwiegen die Vorteile der erhöhten Resistenz, also der Nutzen dieses Merkmals.</p>	3 (II) 4 (III)	
<p><b>Hypothese aufstellen</b></p> <p>Unter optimalen Bedingungen, ausreichend Nahrung und keinem Einsatz von Indoxacarb, bewirkt die erhöhte Indoxacarb-Resistenz des Stammes PR-712-Indoxacarb nur Kosten, aber keinen Nutzen. Daher ist zu erwarten, dass den Individuen mit einer geringeren Indoxacarb-Resistenz mehr Ressourcen für die Vermehrung zur Verfügung stehen. Sie sollten eine größere reproduktive Fitness aufweisen und so ihre Allele vermehrt in den Genpool der Folgegeneration einbringen. Zukünftig würde daher die Resistenz gegen Indoxacarb bei dem so kultivierten Stamm PR-712-Indoxacarb wieder abnehmen.</p>	2 (II) 1 (III)	
	<b>40</b>	

**KLP-Bezüge**

Inhaltliche Schwerpunkte und Aspekte	Synthetische Evolutionstheorie: Mutation, Rekombination, Selektion, Variation, Gendrift, Kosten-Nutzen-Analyse, reproduktive Fitness
Konkretisierte Kompetenzerwartung	begründen die Veränderungen im Genpool einer Population mit der Wirkung der Evolutionsfaktoren erläutern die Anpasstheit von Lebewesen auf Basis der reproduktiven Fitness auch unter dem Aspekt einer Kosten-Nutzen-Analyse erklären Prozesse des Artwandels und der Artbildung mithilfe der Synthetischen Evolutionstheorie
Übergeordnete Kompetenzerwartung	S2 strukturieren und erschließen biologische Phänomene sowie Anwendungen der Biologie auch mithilfe von Basiskonzepten S5 strukturieren und erschließen die Eigenschaften lebender Systeme auch mithilfe von Basiskonzepten und erläutern die Eigenschaften unter qualitativen und quantitativen Aspekten S6 stellen Vernetzungen zwischen Systemebenen (Molekular- bis Biosphärenebene) dar E9 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen K5 strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab K7 erklären Sachverhalte aus ultimer und proximer Sicht, ohne dabei unangemessene finale Begründungen zu nutzen

**Literatur**

Jensen, K., Ko, A. E., Schal, C. & Silverman, J. (2016). Insecticide resistance and nutrition interactively shape life-history parameters in German cockroaches. *Scientific Reports*, 6, 28731. <https://doi.org/10.1038/srep28731>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche\\_Schabe](https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Schabe)