

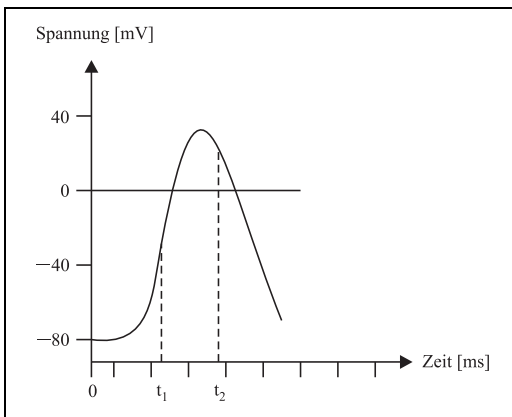
Grundkurs Biologie (Bayern): Abiturprüfung 2000 – Aufgabe I

BE

- 1 Eine Grundlage für die Funktionsfähigkeit des Nervensystems sind elektrische Vorgänge an Nervenzellmembranen. An unerregten Nervenzellen lässt sich mithilfe von Mikroelektroden das so genannte Ruhepotenzial messen.
- 1.1 Fertigen Sie eine beschriftete Schemazeichnung zum Bauplan eines Wirbeltierneurons, das zu saltatorischer Erregungsleitung befähigt ist!
- 1.2 Beschreiben Sie das mit dem Begriff „Ruhepotenzial“ bezeichnete Phänomen und nennen Sie die Voraussetzungen für sein Zustandekommen!
- 1.3 Ein Wirbeltierneuron wird an einer bestimmten Stelle erregt. An dieser Stelle können die in der Grafik dargestellten charakteristischen Spannungsänderungen gemessen werden.

5

6



Ordnen Sie die zu t_1 und t_2 gehörenden Kurvenpunkte charakteristischen Phasen eines Aktionspotenzials zu und erklären Sie die zu diesen Zeitpunkten am gegebenen Neuronabschnitt ablaufenden Vorgänge!

6

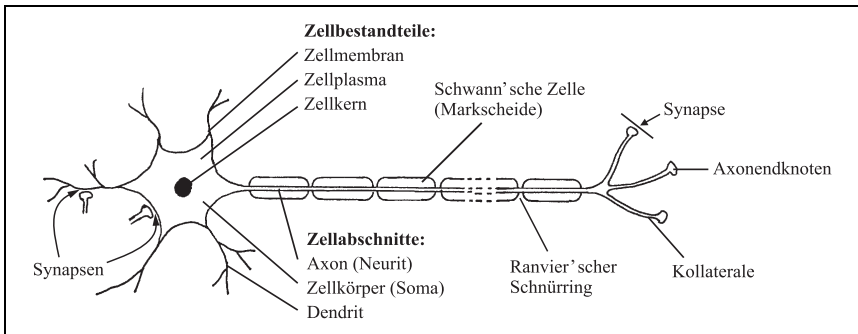
- 2 Die Vogelgattung *Pitohui* ist mit sieben Arten nur auf Neuguinea beheimatet. Bei drei Arten wurde u. a. in den Federn, der Haut und der Muskulatur das hochtoxische und schnell wirksame Homobatrachotoxin gefunden. *Pitohui dichrous* ist die giftigste der drei untersuchten Arten. Wodurch die *Pitohuis* selbst vor der Wirkung ihres Neurotoxins geschützt sind, ist ungeklärt.
- 2.1 Giftige Extrakte aus *Pitohui*-Federn wurden zur Prüfung ihrer Wirksamkeit in Mäuse injiziert. Bei bestimmter Dosierung kam es zum raschen Tod durch Herzstillstand. Man weiß mittlerweile, dass Homobatrachotoxin eine irreversible Durchlässigkeit der Axonmembran für Natriumionen bewirkt, ohne den Kaliumionen-Transport zu stören. Stellen Sie mögliche Folgen der toxinbedingten Permeabilitätsänderung dar, die das am Versuchstier beobachtete Resultat erklären könnten!

6

- 2.2 *Pitohui dichrous* zeigt eine auffallende orange-schwarze Gefiederfärbung und verströmt einen markanten säuerlichen Geruch. Beurteilen Sie, ob sich aus der Merkmalskombination „Giftgehalt – Geruch – Farbe“ ein Selektionsvorteil für die Individuen der betreffenden Art ergibt! Gehen Sie dabei im Fall a von der Situation aus, dass das Homobatrachotoxin bei Fressfeinden zum Tod führt, und nehmen Sie im Fall b an, dass die Giftstoffdosis für den Fressfeind zwar sehr unangenehme Folgen hat, aber nicht tödlich wirkt! 5
- 2.3 Eine ungiftige *Pitohui*-Art gleicht in Gefiederfarbe und Geruch der giftigsten Art in auffälliger Weise. Geben Sie eine mögliche biologische Bedeutung dieses Phänomens an und gehen Sie auf zwei Bedingungen ein, unter denen diese Bedeutung zum Tragen kommt! 5
- 2.4 Das Gift Homobatrachotoxin war bis vor wenigen Jahren allein bei einer Gattung der nur in Südamerika heimischen Pfeilgiftfrösche bekannt. Geben Sie eine Möglichkeit an, die das Vorkommen dieses Toxins in den beiden Tierklassen aus der Sicht der Evolutionsbiologie erklärt! 5
- 3 Nahrungsketten liefern Informationen über den Stofffluss in einem Ökosystem. Zu den Gliedern einer Nahrungskette können z. B. der Wanderfalke, der Siebenpunktmarientkäfer, die Sommerlinde, die Stubenfliege, das Rotkehlchen und die Rauchschnalbe, der Grasfrosch und auch die Blattlaus gehören.
- 3.1 Stellen Sie aus diesem Organismenspektrum eine realistische, viergliedrige Nahrungskette zusammen und ordnen Sie die einzelnen Glieder der Nahrungskette den verschiedenen Trophieebenen zu! 4
- 3.2 Erweitern Sie die von Ihnen vorgeschlagene Nahrungsbeziehung durch die vier anderen in Nr. 3 gegebenen Arten zu einem einfachen Nahrungsnetz! Die Nahrungskette aus Nr. 3.1 darf dabei nicht verlängert werden. 2
- 4 Die weltweit als Versuchstier in Labors gezüchtete Stabheuschreckenart *Carausius morosus* pflanzt sich fast ausschließlich ungeschlechtlich fort. Bei anderen Stabheuschreckenarten hat die geschlechtliche Fortpflanzung eine größere Bedeutung. Bewerten Sie die beiden bei Stabheuschrecken auftretenden Fortpflanzungsweisen aus evolutionsbiologischer Sicht! $\frac{6}{50}$

(erweiterter) Erwartungshorizont

1.1



1.2 Das Phänomen Ruhepotenzial beruht auf einer speziellen Ionenverteilung im wässrigen Milieu außerhalb und innerhalb der Zellmembran eines Neurons. Die typische Verteilung dieser Ladungsträger führt zu einer Potenzialdifferenz zwischen Intra- und Extrazellulärraum, die bei Neuronen in der Größenordnung von etwa -70 Millivolt liegt. Die Membraninnenseite ist dabei negativ geladen, die Membranaußenseite positiv.

Nach der Ionentheorie sind an der Zellmembran eines Neurons folgende Verhältnisse Voraussetzung für das Zustandekommen des Ruhepotenzials (Membranpotenzial):

– Die **Ionen** kommen **auf beiden Seiten der Membranen in unterschiedlichen Konzentrationen** vor:

An der Außenseite, in der Gewebsflüssigkeit (extrazellulär), findet man eine hohe Konzentration an Natrium- (Na^+) und Chlorid- (Cl^-) Ionen. Auf der Innenseite der Nervenfaser, im Zellplasma (intrazellulär), lassen sich mehr Kalium-Ionen (K^+) , sowie große organische Anionen (A^-) nachweisen.

– **Selektiv permeable Membranen trennen die extra- und intrazellulären Reaktionsräume:**

In Ruhe besitzen Membranen eine selektive Permeabilität für K^+ -Ionen: \Rightarrow Kalium-Ionen diffundieren aufgrund des Konzentrationsgefälles von innen nach außen. Da den großen negativen Anionen ein Membrandurchtritt nicht möglich ist, bleiben sie innen an der Membran zurück und wirken dem Austritt weiterer K^+ -Ionen und damit deren Konzentrationsausgleich entgegen. Durch diese Ladungstrennung kommt es zum Aufbau einer elektrischen Potenzialdifferenz, dem Ruhepotenzial.

1.3 Wird ein Wirbeltierneuron an einer bestimmten Stelle erregt (ein überschwelliger Reiz gesetzt), dann tritt nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip kurzzeitig eine reversible Änderung des Membranpotenzials in bestimmter Höhe ein, die als **Aktionspotenzial** bezeichnet wird.

– Der in der Grafik zu t_1 gehörende Kurvenpunkt liegt in der **Depolarisationsphase**: Sie ist gekennzeichnet durch einen raschen Potenzialanstieg. Verantwortlich ist eine plötzliche selektive Permeabilitätsänderung der Membran für Na^+ -Ionen. Diese strömen vom extrazellulären Milieu ins Zellinnere und führen zu einer Ladungsumkehr an der Membran. Das Aktionspotenzial ist somit ein Na^+ -Diffusionspotenzial von außen nach innen. Das vorher ca. 80 mV negative Faserinnere wird ca. 40 mV positiv gegenüber der Außenseite. Die Amplitude eines Aktionspotenzials beträgt demnach etwa 120 mV.

- t_2 liegt in der **Repolarisationsphase**: Typisch ist der schnelle Rückgang der Potenzialänderung. Zwei Faktoren sind dafür verantwortlich: Zum einen das Abstoppen des Na^+ -Einstroms, da die Na^+ -Permeabilität der Membran bereits vor Erreichen der Aktionspotenzialspitze sehr schnell wieder abgenommen hat. Zum anderen die etwas später einsetzende Zunahme der K^+ -Permeabilität der Membran (Kalium-Ausstrom), was einen dem Aktionspotenzial entgegengesetzten Effekt zur Folge hat. Diese Permeabilitätszunahme für K^+ trat ebenfalls als Folge der überschwelligten Reizung ein, allerdings phasenverschoben nach ca. 1 msec.

2.1 Die Injektion von Homobatrachotoxin hat an den Axonmembranen eine Permeabilitätssteigerung für Natrium-Ionen zur Folge. Aufgrund des bestehenden Konzentrationsgefälles führt dies zu einem Einstrom von Na^+ ins Zellinnere, was zu einer raschen Depolarisation der Membran führt. Wegen der irreversiblen Wirkung dieses Giftes kann eine Repolarisation der Membran nicht mehr erfolgen, d. h. an der Axonmembran kann die Potenzialdifferenz des Ruhepotenzials nicht mehr aufgebaut werden. Damit bleibt die Membran für weitere Informationsübertragungen unerregbar. Eine Erregungsleitung zum Herzen ist nicht mehr möglich.

2.2 **Fall a:** Der Selektionsvorteil ergibt sich allein aus der Giftwirkung, da der Kontakt mit Homobatrachotoxin zum raschen Tod führt und dadurch die Anzahl der Fressfeinde dieser Vogelart dezimiert wird.

Fall b: Wenn die Giftstoffdosis für den Fressfeind zwar unangenehme Folgen hat, aber nicht tödlich wirkt, ergibt sich ein Selektionsvorteil für die Vogelart nur dann, wenn der Kontakt mit der Merkmalskombination „Giftgehalt – Geruch – Farbe“ beim Fressfeind eine Verhaltensänderung bewirkt. Die Verhaltensänderung müsste in einem (erfahrungs-) bedingten Meideverhalten bestehen, erworben durch ein Lernen aus unangenehmer Erfahrung (**bedingte Aversion**). Die ursprünglich neutralen Reize „Geruch“ und „Farbe“ werden wegen des engen zeitlichen Zusammenhanges (Kontinguität) mit der nicht tödlichen Giftwirkung (unangenehme Reizsituation) zu **bedingten Reizen**, die künftig den Fressfeind diese Vogelart meiden lassen.

2.3 Die biologische Bedeutung liegt für die ungiftige *Pitohui*-Art darin, dass sie fälschlich von Fressfeinden ebenfalls gemieden wird. Die Biologie bezeichnet dieses Phänomen als **Mimikry** oder Scheinwartracht: Die äußerliche Nachahmung einer wehrhaften oder ungenießbaren Tierart durch eine ungeschützte Tierart verschafft dieser einen Selektionsvorteil.

Als erste Bedingung muss bei den Fressfeinden die Fähigkeit gegeben sein, aus Erfahrungen zu lernen.

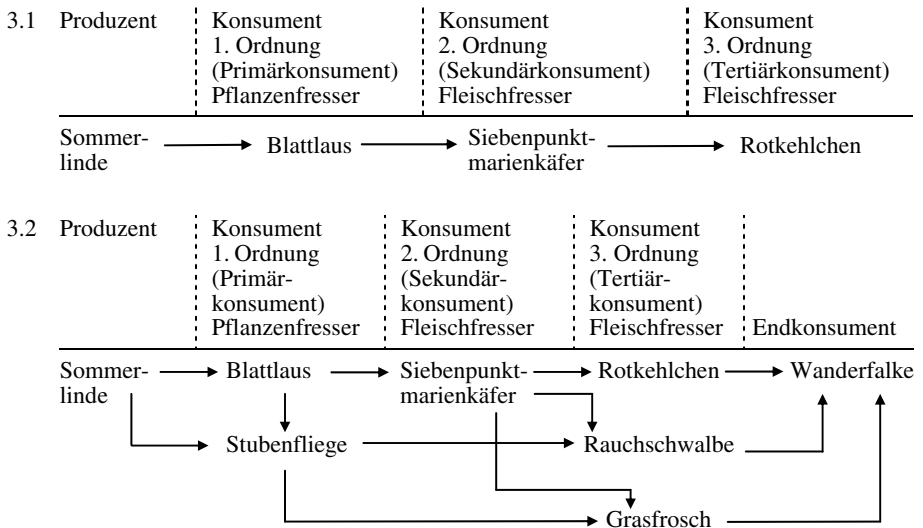
Der Erfolg derartiger Schutzrichtungen hängt jedoch auch davon ab, dass die Anzahl der wehrhaften Tiere deutlich größer ist als die der wehrlosen Nachahmer im Verbreitungsgebiet. Nur dann kann ein Räuber vermehrt die unangenehme Erfahrung machen bzw. können genügend Räuber das Vermeide-Verhalten lernen.

2.4 Das Auftreten von giftigen Arten innerhalb bestimmter Tiergattungen lässt sich mit der Darwin'schen Selektionstheorie erklären:

Bei den Vorfahren der rezenten Vogelgattung *Pitohui* und der Gattung der Pfeilgiftfrösche traten durch Mutationen und Rekombination Varianten auf, die eine Giftwirkung besaßen (**ungerichtete genetische Variabilität**). Tiere mit Toxinen konnten sich gegenüber Fressfeinden (interspezifischen Konkurrenten) behaupten, und hatten im „**Kampf ums Dasein**“ einen Vorteil. Diese besser angepassten Individuen überlebten durch die natürliche Auslese (**Selektion**). Sie kamen häufiger zur Fortpflanzung und konnten, da

ihre vorteilhafte Anpassung genetisch bedingt war, dieses **selektionspositive Erbgut** an die **Nachkommen** weitergeben. Über viele Generationen hinweg kam es durch diese Mechanismen bei den im Text angesprochenen Arten zu einer immer deutlicheren Steigerung der Giftwirkung bis hin zum heute hochtoxischen und schnell wirksamen Homobatrachotoxin.

Da das Gift Homobatrachotoxin in verschiedenen Tierklassen gefunden wurde, die zudem in unterschiedlichen Kontinenten beheimatet sind, muss sich diese Angepasstheit im Laufe der Evolution **unabhängig** voneinander entwickelt haben, stellt also eine **konvergente Entwicklung** dar.



- 4 Bei der **ungeschlechtlichen**, asexuellen oder vegetativen **Fortpflanzung** ist ein einziges Individuum der Elter. Nur dieses ein Individuum gibt seine Erbinformationen an seine Nachkommen weiter (z. B. die Vermehrung von Einzellern durch mitotische Teilungen). Bei der Stabheuschreckenart *Carausius morosus* geschieht dies durch Eizellen, die unbefruchtet zu Stabheuschrecken heranwachsen. Die Abkömmlinge sind mit dem Eltertier genetisch völlig identisch. Derartig erzeugte Individuen bezeichnet man als Klon. Eine geringe Variabilität, d. h. geringe genetische Unterschiede, kommen lediglich durch relativ seltene Veränderungen (Mutationen) der DNA zustande. Aus evolutionsbiologischer Sicht ist dieser Weg der Fortpflanzung wenig erfolgreich, da eine Art nur dann Überlebenschancen hat, wenn sie aufgrund einer genetischen Variabilität ihrer Individuen auf veränderte Umweltbedingungen flexibel reagieren kann. Im Gegensatz dazu unterscheidet sich die Nachkommenschaft einer **sexuellen** (geschlechtlichen) **Fortpflanzung** erheblich, sowohl untereinander als auch von ihren Eltern. Folgende Mechanismen führen zu dieser evolutionsbiologisch wichtigen **genetischen Variabilität**:

- **Interchromosomale Rekombination:** Während der Metaphase I der 1. Reifeteilung kommt es zur zufälligen Anordnung der homologen Chromosomen in der Äquatorialebene und anschließend zu ihrer zufälligen Verteilung. Dadurch sind 2^n verschiedene Chromosomenkombinationen (und damit auch ebenso viele Keimzelltypen) möglich (n = Zahl der Chromosomen des haploiden (einfachen) Chromosomensatzes).
- **Intrachromosomale Rekombination:** Während der Prophase I (der 1. Reifeteilung) kommt es zudem während der Paarung der homologen Chromosomen zum sog. Crossing over, bei dem Gene homologer Abschnitte zweier Nicht-Schwesterchromatiden ausgetauscht werden. Dadurch werden Gene mütterlichen und väterlichen Ursprungs neu kombiniert.
- **Spiel des Zufalls bei der Befruchtung:** Die während der Meiose gebildeten genetisch unterschiedlichen Gameten werden bei der Befruchtung frei kombiniert. Ohne Berücksichtigung des Crossing over stellt die bei der Befruchtung entstehende Zygote eine von 2^n mal 2^n Möglichkeiten dar.

Diese Vorgänge bei einer geschlechtliche Fortpflanzung führen innerhalb einer Art zu einer großen genetischen Variabilität. Dadurch erreicht diese Art eine Flexibilität und kann sich auf ändernde Umweltbedingungen einstellen. Die Selektion als richtender Evolutionsfaktor setzt an diesen Varianten an.