

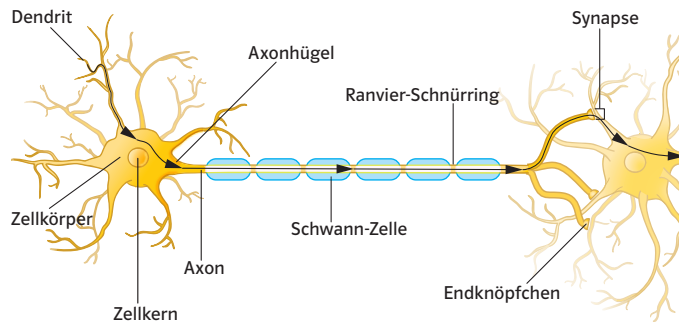
Neurobiologie

28

Reizaufnahme und Erregungsleitung

28.1 Das Aussehen von Nervenzellen gibt Aufschluss über ihre Funktion

A1 Beschriften Sie das Neuron in Abb. 1 und geben Sie die Richtung der Erregungsleitung durch Pfeile an.



A2 Ein Neuron lässt sich in Funktionsbereiche unterteilen, die man als Bildungs-, Leitungs- und Übertragungsbereich bezeichnet. Erklären Sie, welche Bestandteile des Neurons die jeweilige Funktion übernehmen.
Der Bildungsbereich umfasst die Dendriten, den Zellkörper und den Axonhügel. In diesem Bereich werden die ankommenden Potenziale verrechnet. Der Leitungsbereich entspricht dem Axon, der Übertragungsbereich der Synapse.

A3 Neurone können je nach Lage im Nervensystem verschiedene Funktionen haben und sich auch im Aufbau unterscheiden. Trotzdem zeigen sie charakteristische Gemeinsamkeiten. Benennen Sie diese für die in Abb. 2 dargestellten Neurone.
Allen Zellen gemein sind ihre Grundbausteine: Dendriten, Zellkörper mit Zellkern (an jeweils unterschiedlichen Stellen), Axon mit Schwann'schen Zellen, Synapsenbereiche.

28.3 Ionenverteilung und Membranpermeabilität bestimmen das Ruhepotenzial

A1 Beschreiben Sie den molekularen Aufbau der Zellmembran eines Neurons (→ 3.1 auf S. 52 im Schülerbuch).

Die Zellmembran besteht aus einer Lipiddoppelschicht. Grundbausteine sind Phospholipid-Moleküle, die aus einer hydrophilen Kopfgruppe und einem hydrophoben Fettsäure-„Schwanz“ bestehen. In der Membran ordnen sich die Phospholipid-Moleküle so zu einer Doppelschicht an, dass die hydrophilen Köpfe nebeneinander liegen und nach außen in Richtung des wässrigen Bereichs weisen. Die hydrophoben „Schwänze“ liegen im Innern dieser Doppelschicht.

A2 Erklären Sie, warum die Zellmembran ohne Kanalproteine nicht permeabel (durchlässig) für Ionen ist.

Ionen sind geladene Teilchen, die in wässrigem Medium von Wasser umgeben (hydratisiert) sind. Da der innere Bereich der Lipiddoppelschicht hydrophob ist, können Wasserteilchen und damit auch von Wasser umgebene Ionen diesen Bereich nicht durchdringen.

A3 Erläutern Sie, was man unter einem passiven Transport versteht.

Ionen strömen entlang ihres Konzentrationsgefälles von der Seite höherer Konzentration zur Seite niedrigerer Konzentration.

A4 Abb. 2 a zeigt einen hypothetischen Ausgangszustand. Zeichnen Sie in Abb. 2 b die Ionenverteilung bei geöffneten K^+ -Hintergrundkanälen ein. Beschreiben Sie die Vorgänge.

Die Membran ist selektiv permeabel für K^+ -Ionen. Diese wandern entlang ihres Konzentrationsgefälles von innen nach außen. Jedes ausströmende K^+ -Ion bewirkt einen positiven Ladungsüberschuss außen und einen negativen Ladungsüberschuss innen. Dies führt zu einer Polarisierung der Membran, die als Potentialdifferenz (innen negativ bzw. außen positiv) messbar ist. K^+ -Ionen strömen nicht bis zum Konzentrationsausgleich, da elektromotorische Kräfte (bedingt durch entstandene Potentialdifferenz; innen negativ geladen) den weiteren K^+ -Ionen-ausstrom bremsen. So wird nicht das K^+ -Gleichgewichtspotenzial erreicht, sondern es stellt sich das Ruhepotenzial ein.

A5 Erörtern Sie, welche Auswirkungen zu beobachten sind, wenn weitere K^+ -Ionen in die Nervenzelle injiziert werden.

Das Membranpotenzial ändert sich nicht, bzw. nur kurzfristig, da sich der Gleichgewichtszustand nach kurzer Zeit durch Ausstrom weiterer K^+ -Ionen erneut einstellt.

28.3 K^+ -Konzentrationsänderungen beeinflussen die Funktion von Nerven- und Muskelzellen

A1 Erklären Sie mithilfe des Schülerbuchs (→ 28.3), warum das Ruhepotenzial einer Nervenzelle negativ ist. Konzentrieren Sie sich hierbei auf die K^+ -Ionen und die organischen Anionen.

Im Innern der Nervenzelle befinden sich negativ geladene organische Moleküle (Anionen), die die Zellmembran nicht passieren können. Für die K^+ -Ionen, die im Zellinnern in größerer Zahl vorhanden sind als außerhalb, ist die Zellmembran hingegen durchlässig. Durch die offenen K^+ -Ionenkanäle strömen die K^+ -Ionen entlang ihres Konzentrationsgefälles aus der Zelle heraus. Damit verlassen positive Ladungsträger das Zellinnere, wodurch sich dort die negative Ladung erhöht. Durch diese negative Ladung werden nach einiger Zeit weitere K^+ -Ionen angezogen und so daran gehindert, die Nervenzelle zu verlassen. Es stellt sich ein K^+ -Ionen-Gleichgewichtspotenzial ein, das im Bereich einer negativen Membranspannung liegt.

A2 Beschreiben und begründen Sie den Kurvenverlauf in Abb. 1 und bringen Sie diesen mit den Darstellungen im Romanausschnitt in Abb. 2 in Zusammenhang.

In der Abb. 1 ist die Veränderung des Ruhepotenzials in Abhängigkeit von der extrazellulären K^+ -Ionenkonzentration dargestellt. Im Ruhepotenzial liegt das in Aufgabe 1 dargestellte negative K^+ -Gleichgewichtspotenzial vor. Wird die K^+ -Ionenkonzentration im Außenmedium unter die Konzentration im Ruhepotenzial erniedrigt, sinkt das Membranpotenzial unter -70 mV. Das Konzentrationsgefälle für K^+ -Ionen zwischen der Außen- und Innenseite der Membran wird erhöht, woraufhin mehr K^+ -Ionen nach außen strömen, sodass die Membran innen (das Ruhepotenzial) negativer wird.

Wird die extrazelluläre K^+ -Konzentration über die Konzentration im Ruhepotenzial erhöht, wird das Konzentrationsgefälle zwischen innen und außen erniedrigt, was den K^+ -Ausstrom vermindert. Der Wert des Ruhepotenzials wird positiver.

Im Roman wird der Person eine KCl-Lösung injiziert. Die darin enthaltenen K^+ -Ionen werden über das Blut im ganzen Körper verteilt und gelangen so auch zu den Nervenzellen in den unterschiedlichen Geweben. Dort erhöhen sie die Außenkonzentration, was zu einem Anstieg des Ruhepotenzials führt.

A3 Leiten Sie ab, inwieweit ein stabiles Ruhepotenzial für die Funktionsweise von Neuronen notwendig ist.

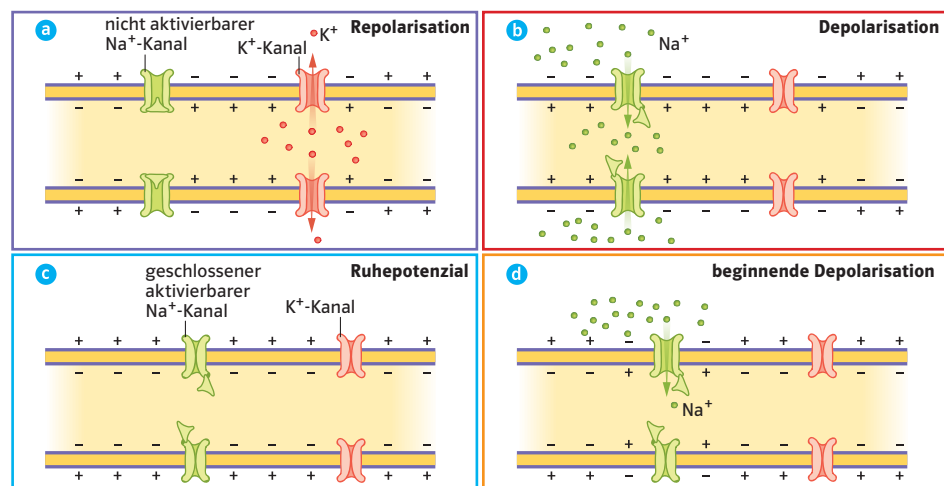
Wenn das Membranpotenzial im Ruhezustand zu positiv wird, funktioniert die Informationsweiterleitung über Nervenzellen nicht mehr. Je positiver das Außenmedium ist, umso positiver ist das Ruhepotenzial, was mit einer Erniedrigung der Nervenleistung zusammenhängt.

28.4 Aktionspotenziale zeigen einen charakteristischen Verlauf des Membranpotenzials

A1 Beschreiben Sie anhand von Abb. 1 den Verlauf eines Aktionspotenzials und benennen Sie die farblich markierten Phasen.

Ausgehend vom Ruhepotenzial (blau), das hier bei -70 mV liegt, steigt das Membranpotenzial in der beginnenden Depolarisation (orange) nach Eintreffen eines Impulses / Reizes langsam an, wird also weniger negativ. Nach Überschreitung des Schwellenwertes, der bei etwa -50 mV liegt, folgt eine rapide Depolarisation (rot). Das Membranpotenzial steigt sehr schnell bis auf ca. 35 mV an. Ist dieser Wert erreicht, kommt es zu einem Abfall des Membranpotenzials. In kurzer Zeit fällt es im Rahmen der Repolarisation (lila) auf -70 mV und unter den Wert des Ruhepotenzials ab. Diesen Bereich bis zum Anstieg des Membranpotenzials und dem Erreichen des Ruhepotenzials nennt man Hyperpolarisation (blau).

A2 Bringen Sie die in Abb. 2 dargestellten Öffnungszustände der Ionenkanäle in eine sinnvolle Reihenfolge für den Ablauf eines Aktionspotenzials. Ordnen Sie die Bilder a – d der Abb. 2 den Phasen des Aktionspotenzials in Abb. 1 zu. Rahmen Sie dazu die abgebildeten Phasen mit den entsprechenden Farben ein.



A3 Beschreiben Sie anhand der Abbildungen 2a – b die molekularen Abläufe beim Aktionspotenzial.

An einer Axonmembran, in der ein Ruhepotenzial von etwa -80 mV anliegt, öffnet ein (elektrischer) Reiz spannungsgesteuerte Na⁺-Ionenkanäle, wodurch die Membranspannung durch einen Einstrom von Na⁺-Ionen in die Nervenzelle entlang ihres Konzentrationsgradienten steigt. Es kommt zu einer Depolarisation, da der Anteil positiv geladener Ionen außerhalb des Axons geringer, innerhalb dagegen größer wird. Diese Veränderung des Membranpotenzials führt zur Öffnung weiterer spannungsgesteuerter Na⁺-Ionenkanäle, bei Überschreitung des Schwellenpotenzials zu einer Öffnung aller Na⁺-Ionenkanäle entsprechend des „Alles-oder-Nichts-Prinzips“. Die Folge ist eine weitere Depolarisation bis zum Höhepunkt des Aktionspotenzials. Nach wenigen Millisekunden schließen sich die Na⁺-Ionenkanäle wieder und sind anschließend für eine kurze Zeit nicht mehr zu öffnen.

Sie werden erst nach dem Eintreten des Ruhepotenzials und einer anschließenden Refraktärzeit wieder aktiv. Während die Na^+ -Ionenkanäle inaktiviert werden, öffnen sich die spannungsgesteuerten K^+ -Ionenkanäle, verbunden mit dem Ausstrom von K^+ -Ionen aus dem Axon, was zu einer raschen Repolarisation führt. Dieser K^+ -Ionen-ausstrom kann so groß sein, dass kurzzeitig das Ruhepotenzial unterschritten wird und es zu einer Hyperpolarisation kommt. Die spannungsgesteuerten K^+ -Ionenkanäle schließen sich wieder. Einige Millisekunden später ist das Ruhepotenzial durch die Tätigkeit der Natrium-Kaliumpumpe (hier nicht eingezeichnet) wieder erreicht.

28.4 Auch einige Pflanzenzellen zeigen Aktionspotenziale

A1 Skizzieren Sie den Verlauf eines Aktionspotenzials an einer tierischen Nervenzelle und erläutern Sie die jeweiligen Vorgänge an der Axonmembran. An einer Axonmembran, an der ein Ruhepotenzial von etwa -80 mV anliegt, werden ausgelöst durch einen elektrischen Reiz, spannungsgesteuerten Na^+ -Ionenkanäle geöffnet, was zu einem schnellen Einstrom von Na^+ -Ionen in die Nervenzelle entlang ihres Konzentrationsgradienten führt. Es kommt zu einer Depolarisation, da der Anteil positiv geladener Ionen außerhalb des Axons geringer, innerhalb dagegen größer wird. Diese Veränderung des Membranpotenzials führt zur Öffnung weiterer spannungsgesteuerter Na^+ -Ionenkanäle, bei Überschreitung des Schwellenpotenzials zu einer Öffnung aller Na^+ -Ionenkanäle entsprechend des „Alles-oder-Nichts-Prinzips“. Die Folge ist eine weitere Depolarisation bis zum Höhepunkt des Aktionspotenzials. Die Na^+ -Ionenkanäle schließen sich nach wenigen Millisekunden wieder und sind anschließend für eine kurze Zeit nicht mehr zu öffnen. Sie werden erst nach dem Eintreten des Ruhepotenzials und einer anschließenden Refraktärzeit wieder aktiv. Während die Na^+ -Ionenkanäle inaktiviert sind, öffnen sich die spannungsgesteuerten K^+ -Ionenkanäle. K^+ -Ionen strömen aus dem Axon, was zu einer raschen Repolarisation führt. Dieser K^+ -Ionen-ausstrom kann so groß sein, dass kurzzeitig das Ruhepotenzial unterschritten wird und es somit zu einer Hyperpolarisation kommt. Die spannungsgesteuerten K^+ -Ionenkanäle schließen sich wieder. Einige Millisekunden später ist das Ruhepotenzial durch die Tätigkeit der Natrium-Kaliumpumpe wieder erreicht.

A2 Beschreiben und erklären Sie unter Zuhilfenahme von Abb. 1 und 2 den Verlauf und das Zustandekommen des Aktionspotenzials bei der Armleuchteralge *Chara sp.*

Bei *Chara sp.* misst man gegenüber dem Außenmedium Süßwasser ein Ruhepotenzial von -190 mV . Durch die Membran fließen in der Ruhephase K^+ -Ionen und Cl^- -Ionen in geringerem Maße aus der Zelle nach außen. Dieser „Leckstrom“ wird dadurch kompensiert, dass K^+ -Ionen und Cl^- -Ionen aktiv ins Zellinnere gepumpt werden.

Durch den elektrischen Impuls an einer *Chara sp.*-Zelle wird ein Aktionspotenzial ausgelöst: Bei Reizung steigt die Durchlässigkeit der Membran für Cl^- stark an und aufgrund des Konzentrationsgefälles strömen Cl^- -Ionen aus. Daraus resultiert eine Depolarisierung der Membran; das Zellinnere wird gegenüber dem Zelläußeren vorübergehend positiv. Nach ein, zwei Sekunden verschwindet die hohe Cl^- -Permeabilität wieder. Die Depolarisierung der Membran zieht einen Ausstrom von K^+ -Ionen nach sich, wodurch es zu einer Repolarisation der Membran kommt.

A3 Vergleichen Sie tierische und pflanzliche Aktionspotenziale.

Zunächst lässt sich eine prinzipielle Gleichartigkeit der Erregungsvorgänge feststellen. Allerdings liegt das Ruhepotenzial bei der pflanzlichen Zelle weit unter dem der typischen tierischen Zelle. Während die Depolarisierung der Armleuchteralge bei Nervenzellen durch einen Einstrom von Kationen (Na^+) bedingt ist, geht die Depolarisierung einer pflanzlichen Membran auf den Ausstrom von

Anionen (Cl^-) zurück. Bei der Repolarisation spielt in beiden Fällen der K^+ -Ionen-ausstrom die wesentliche Rolle. Die Dauer des pflanzlichen Aktionspotenzials liegt im Sekundenbereich und ist viel länger als das tierische Aktionspotenzial, das nur Millisekunden dauert.

28.6 Multiple Sklerose wird durch Schädigung der Myelinscheide verursacht

A1 Benennen Sie die Funktion der Myelinscheiden an einem markhaltigen Axon und beschreiben Sie auf molekularer Ebene die saltatorische Erregungsleitung.

Eine Myelinscheide schützt das Axon vor mechanischer Einwirkung und isoliert es elektrisch vom umgebenden Milieu. Die Informationsweiterleitung entlang eines Axons funktioniert durch die Weiterleitung — genauer: Neuauslösung — von Aktionspotenzialen. Aktionspotenziale können nur an nicht isolierten Schnürringen ausgelöst werden, da sich hier spannungsgesteuerte Na^+ - und K^+ -Ionenkanäle befinden. Ausgleichsströme bewirken, dass die Axonmembran auch am entlang der Leitrichtung benachbarten Schnürring überschwellig depolarisiert und dadurch dort ein neues Aktionspotenzial ausgelöst wird. Unter der Myelinschicht ist der Einstrom der K^+ - und Na^+ -Ionen verhindert, sodass hier keine Aktionspotenziale ausgelöst werden. Die Erregung „springt“ bei der saltatorischen Erregungsleitung also von einem Schnürring zum nächsten. Somit müssen entlang des zu überbrückenden Axons weniger Aktionspotenziale ausgelöst werden, was zu einer schnelleren Erregungsleitung führt.

A2 Beschreiben Sie den Unterschied zwischen einer gesunden und einer durch Multiple Sklerose geschädigten Nervenzelle.

Die in Abb. 2 a dargestellte saltatorische Erregungsleitung an einem gesunden Axon erfolgt sprunghaft und gleichmäßig von Schnürring zu Schnürring. Die Erregungsleitung geht schnell vonstatten. Am Axon einer durch Multiple Sklerose beeinträchtigten Zelle (→ Abb. 2 b) gibt es Bereiche mit beschädigten und solche mit unbeschädigten Myelinscheiden. Im Bereich beschädigter Myelinscheiden stockt die Weiterleitung, sodass diese insgesamt stark verlangsamt ist.

A3 Erklären Sie die Entstehung der Koordinationsstörungen bei Multipler Sklerose unter Berücksichtigung der neurophysiologischen Veränderungen (→ Abb. 1 und 2).

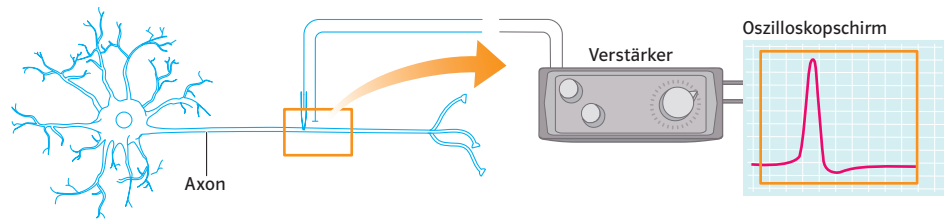
Koordinationsstörungen treten auf, wenn an einzelnen Axonen die Myelinscheide (teilweise) zerstört bzw. abgebaut ist. Hier findet die Informationsweiterleitung mit unterschiedlicher Geschwindigkeit statt. Es entstehen Verzögerungen im Vergleich zur „normalen“ Erregungsleitung. Neben den durch Multiple Sklerose veränderten Nervenzellen sind andere Nervenbahnen unbeschädigt. Da sich die Bewegungssteuerung aus dem Zusammenspiel vieler Nervenbahnen ergibt und dieses Zusammenspiel nicht mehr funktioniert, kommt es zu Ausfallerscheinungen.

28.7 Charakteristika des Reizes werden in Aktionspotenziale übersetzt

A1 Für die Informationsleitung im Nervensystem müssen die Reizstärke und -dauer in Form von Aktionspotenzialen übertragen werden. Beschreiben Sie, wie dies geschieht.

Die Reizdauer wird in der Dauer der Aktionspotenzialfolge codiert, die Reizstärke in der Aktionspotenzialfrequenz.

A2 Skizzieren Sie den Versuchsaufbau, mit dessen Hilfe die in Abb. 2 dargestellten Daten erfasst werden konnten.



A3 Stellen Sie anhand von Abb. 2 den Zusammenhang von Reizstärke und der Auslösung von Aktionspotentialen sowie deren Frequenz dar.

(1) Wird die Axonmembran nicht gereizt, bleibt das Ruhepotential erhalten. (2–4) Bei Reizungen unterhalb des Schwellenwertes ist die Stärke der Depolarisation (im Fall 2 Hyperpolarisation) proportional zur Reizspannung. Ein Aktionspotential entsteht erst dann, wenn das Axon bis zum Schwellenwert depolarisiert wird. Bei oberhalb des Schwellenwertes liegenden Depolarisationen verändern sich die Amplituden der Aktionspotenziale nicht (Alles-oder-nichts-Prinzip). Der Unterschied in der Reizstärke wird hier durch die Aktionspotential-Frequenz codiert (5–8). Ab einer bestimmten Reizstärke kann sich die Frequenz der Aktionspotenziale nicht mehr verringern (Refraktärzeit).

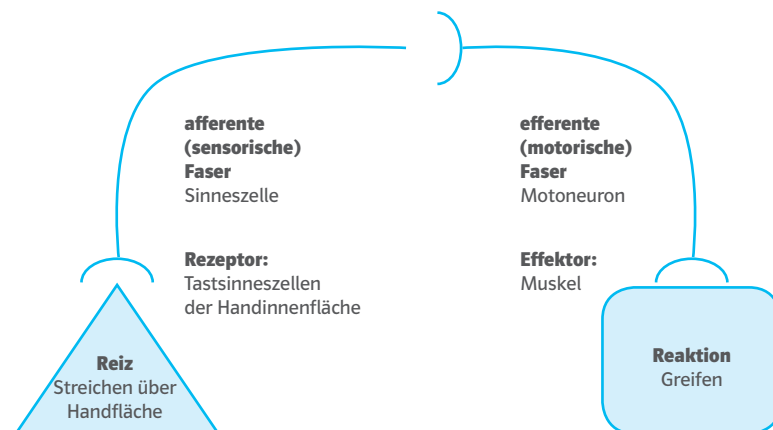
A4 Entwickeln Sie eine Versuchsanordnung, mit der Sie die Codierung der Reizdauer in Form von Aktionspotentialen überprüfen können.

Es kann die gleiche Versuchsanordnung wie unter Aufgabe 2 verwendet werden. Es wird jedoch nun bei konstanter überschwelliger Reizstärke die Reizdauer variiert.

29.1 Frühkindliche Reflexe bleiben nicht ein Leben lang erhalten

A1 Beschreiben Sie, was man unter einem Reflex versteht.

Ein Reflex ist eine unbewusst (d.h. nicht willentlich steuerbar) ablaufende immer gleiche Reaktion auf einen Sinnesreiz. Durch eine direkte Verschaltung von afferenten und efferenten Nervenzellen erfolgt die Reaktion auf den Reiz schon kurz nach dem auslösenden Reiz.

A2 Zeichnen Sie das Schema eines Reflexbogens, der den Greifreflex (→ Abb. 1) darstellt. Beschriften Sie Ihre Zeichnung.**A3** Erläutern Sie den Sinn von frühkindlichen Reflexen anhand eines selbst gewählten Beispiels.

Frühkindliche Reflexe dienen dem Selbstschutz sowie der Nahrungssuche und -aufnahme des Neugeborenen. Beispielhafte Erläuterung für ausgewählte Primitivreflexe:

Suchreflex: Bei der Berührung eines Mundwinkels des Säuglings dreht dieser den Kopf in Richtung des Berührens. Dies dient der Zuwendung zur Brust der Mutter und damit der Nahrungssuche.

Saug-Schluck-Reflex: Dieser Reflex sichert die Nahrungsaufnahme. Bei der Berührung des Gaumens des Säuglings beginnt dieser mit Saugbewegungen. Fängt er an zu saugen, stellt der Schluckreflex sicher, dass die Nahrung in die Speiseröhre gelangt.

Greifreflex: Das Neugeborene kann sich an der Mutter festklammern. Dies gibt einerseits dem Kind Halt und Sicherheit, andererseits der Mutter auch die Möglichkeit, die Hände frei zu haben, um das Kind zu versorgen bzw. andere Tätigkeiten auszuführen.

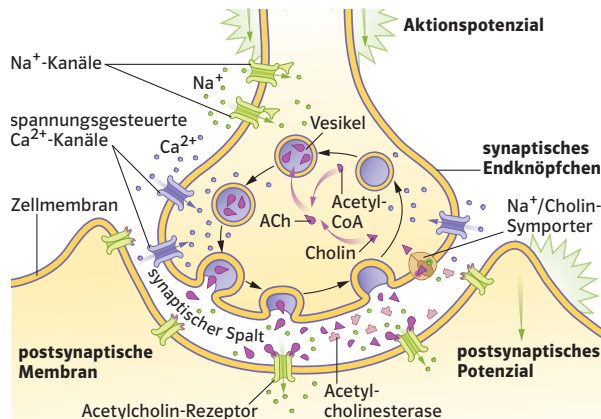
Atemschutzreflex: Kommen Mund oder Nase mit Wasser in Berührung, kommt es zu einer reflexorischen Blockade der Atmung, sodass das Neugeborene kein Wasser verschlucken kann.

A4 Primitivreflexe gehen im Laufe der ersten Lebensmonate verloren. Erklären Sie dies unter Einbezug des Textes und der Abb. 2.

In den ersten Lebensmonaten werden die Primitivreflexe nach und nach durch bewusste motorische Handlungen überspielt und ersetzt. Die Reifung des Neocortex führt zu einer besseren und immer intensiveren Verarbeitung der einlaufenden Sinnesinformationen. Gleichzeitig gelangen durch Myelinisierung der afferenten Nervenfasern die sensorischen Meldungen schneller an das Gehirn, als das über Meldungen der Reflexbögen möglich ist. Die zunehmende Myelinisierung der Neuronen im Gehirn beschleunigt die Informationsweiterleitung.

29.2 Neurone kommunizieren miteinander über Synapsen

A1 Zeichnen Sie in Abb. 1 fehlende Ionen und Moleküle für eine Synapse mit dem Transmitter Acetylcholin ein. Beschriften Sie die Strukturen. Verwenden Sie dabei die folgenden Begriffe: Vesikel, Acetylcholin-Rezeptor, synaptisches Endknöpfchen, Acetylcholinesterase, spannungsgesteuerte Ca^{2+} -Kanäle, Postsynapse, synaptischer Spalt, Acetylcholin (Transmitter), Na^+ -Kanäle, postsynaptische Membran, Aktionspotenzial, postsynaptisches Potenzial.



A2 Teilen Sie den Ablauf der Erregungsleitung an der Synapse in für Sie sinnvolle Phasen ein. Geben Sie diesen jeweils eine Überschrift und beschreiben Sie unter Verwendung der Begriffe aus Aufgabe 1, was in den Phasen passiert.

- Phase 1: Einstrom von Ca^{2+} -Ionen durch eintreffendes Aktionspotenzial: Im **synaptischen Endknöpfchen** eintreffende **Aktionspotenziale** führen zu einer Depolarisation der Membran des Endknöpfchens. Es kommt zur Öffnung **spannungsgesteuerter Ca^{2+} -Kanäle** und zu einem Ca^{2+} -Ioneneinstrom ins Endknöpfchen.
- Phase 2: Fusion der synaptischen Vesikel mit der präsynaptischen Membran: Durch den Anstieg der Ca^{2+} -Ionenkonzentration in der Präsynapse fusionieren **Vesikel** mit der präsynaptischen Membran und setzen den **Transmitter Acetylcholin** in den **synaptischen Spalt** frei.
- Phase 3: Transmitter diffundieren zur postsynaptischen Membran: Acetylcholin diffundiert zur **postsynaptischen Membran** und bindet dort an Acetylcholin-Rezeptor an transmittergesteuerten **Na^+ -Kanälen**.
- Phase 4: Öffnung der Ionenkanäle in der postsynaptischen Membran: Durch gleichzeitige Bindung zweier Transmitter öffnet sich der Na^+ -Ionenkanal.
- Phase 5: Na^+ -Ionen diffundieren in die Postsynapse: Na^+ -Ionen diffundieren nun entlang ihres Konzentrationsgradienten in die **Postsynapse**. Durch Depolarisation der postsynaptischen Membran entsteht ein erregendes **postsynaptisches Potenzial**.
- Phase 6: Freie Transmitter werden abgebaut und recycelt: Transmitter lösen sich wieder vom Rezeptor. Das Enzym **Acetylcholinesterase** spaltet freies Acetylcholin in Acetat und Cholin. Beides wird wieder in die präsynaptische Zelle aufgenommen.

A3 Die Geschwindigkeit, mit der ein elektrischer Impuls den synaptischen Spalt überwindet, beträgt 0,00 002 m/s. Vergleichen Sie diese mit der Geschwindigkeit der Erregungsübertragung am Axon ($\rightarrow$ Abb. 2 im Schülerbuch S. 440) und erklären Sie die Unterschiede.

Die Übertragungsgeschwindigkeit ist im Vergleich zu der an Axonen selbst primitiver Tiere (Schabe: 7 m/s) sehr viel geringer. Dies liegt daran, dass an einer Synapse die Informationen auf chemischem Weg über einen Transmitter an die postsynaptische Zelle weitergeleitet werden muss. Im Axon läuft die Weiterleitung elektrisch weiter.

29.3 Unterschiedliche Stoffe regulieren die Öffnung von Rezeptorkanälen

A1 Vergleichen Sie Aufbau und Funktion der in Abb. 1 dargestellten GABA führenden Synapse mit einer erregenden, Acetylcholin (ACh) führenden Synapse. Ein ins Endknöpfchen einlaufendes Aktionspotenzial verursacht dort die Öffnung spannungsgesteuerter Ca^{2+} -Kanäle und damit den Einstrom von Ca^{2+} -Ionen in die Präsynapse. Die Ca^{2+} -Ionen initiieren die Verschmelzung von transmittergefüllten Vesikeln mit der präsynaptischen Membran und die Transmitterfreisetzung in den synaptischen Spalt. In der Acetylcholin führenden Synapse handelt es sich beim Transmitter um Acetylcholin, in der GABA führenden Synapse um GABA. Der ausgeschüttete Transmitter diffundiert zur postsynaptischen Membran und besetzt dort spezifische Rezeptoren. Dieser Rezeptor-Transmitter-Komplex führt dazu, dass sich Ionenkanäle öffnen, die im Falle der GABA führenden Synapse Cl^- -Ionen in die postsynaptische Zelle einströmen lassen. In Acetylcholin führenden Synapsen werden Na^+ -Ionenkanäle geöffnet. Der Transmitter-Rezeptor-Komplex zerfällt und der Transmitter GABA wird wieder in die präsynaptische Zelle aufgenommen, wo er in Vesikel verpackt wird. Acetylcholin hingegen wird erst im synaptischen Spalt durch das Enzym Acetylcholinesterase in Acetyl und Cholin gespalten, wird dann in die Präsynapse transportiert und dort neu zusammengebaut.

A2 Erläutern Sie die zu erwartende Veränderung des postsynaptischen Potentials nach dem Andocken von GABA an die GABA-Rezeptoren. Stellen Sie in diesem Zusammenhang eine Vermutung über die den Schlaf auslösende bzw. erhaltende Wirkung im Thalamus auf.

Da Cl^- -Ionen negativ geladen sind, führt ihr Einstrom in die Postsynapse zu einem Abfall des Membranpotenzials unter das Ruhepotenzial. Die postsynaptische Zelle wird hyperpolarisiert. (Es entsteht ein sogenanntes inhibitorisches postsynaptisches Potenzial IPSP.) Dies führt dazu, dass am Axonhügel der postsynaptischen Zelle aufgrund der unterschwelligen Impulse keine Aktionspotenziale ausgelöst werden. GABA hat also eine beruhigende Wirkung auf die Synapsen im Gehirn, da es Stresssignale daran hindert, zu den motorischen Zentren des Gehirns zu gelangen.

A3 Beschreiben Sie die Wirkung einer Barbiturat-Gabe an einer GABA führenden Synapse. Erläutern Sie die molekulare Wirkungsweise von Barbituraten an dieser Synapse.

Die Medikamentengabe führt an der Postsynapse zu einer starken Hyperpolarisation, ohne dass GABA ausgeschüttet wird. Da sich die Barbiturate an eine Bindungsstelle des GABA-Rezeptors anlagern und die Membran durchlässig für Cl^- -Ionen wird, lässt sich z.B. folgende Hypothese formulieren: Barbiturate verändern nach Besetzen der Bindungsstelle für längere Zeit die Durchlässigkeit für Cl^- -Ionen oder können zusätzlich in gewissem Maße auch GABA-Bindungsstellen besetzen und deren Wirkung auslösen, sie wirken also wie Agonisten.

29.5 In jedem Neuron werden eingehende Signale verrechnet

A1 In dem in Abb. 1 dargestellten Ausschnitt findet ein Codewechsel statt. Ordnen Sie die Begriffe „Amplitudencode“ und „Frequenzcode“ einzelnen Bereichen zu und nennen Sie die Charakteristika und Vorzüge der jeweiligen Codierung. Ein Frequenzcode liegt beim Aktionspotenzial entlang des Axons vor. Das hat den Vorteil, dass die Informationsleitung hier schnell und verlustfrei, damit unveränderbar und sicher über längere Strecken laufen kann. Ein Amplitudencode wird langsam weitergeleitet und ist veränderbar. Er liegt deshalb als chemischer Amplitudencode im Bereich der chemischen Synapse und als elektrischer Amplitudencode im Bereich der Dendriten und im Zellkörper vor.

Von Vorteil ist die Veränderbarkeit des Amplitudencodes, die eine Verrechnung (Summation / Integration) vieler einkommender Informationen möglich macht.

A2 Stellen Sie die Vorgänge an den Synapsen a, b und c mithilfe der in Abb. 2 dargestellten Messergebnisse gegenüber und erläutern Sie die gemessenen Werte.

In Abb. 2 werden die Potenzialveränderungen an Synapsen unterschiedlicher Position dargestellt. Aus den Messungen lässt sich ableiten, dass es sich bei Synapse a und b jeweils um eine erregende und bei c um eine hemmende Synapse handelt: An den Synapsen a und b laufen zu unterschiedlichen Zeiten Aktionspotenziale ein. Betrachtet man die Messung am Zellkörper kurz vor dem Axonhügel, ist festzustellen, dass es zu einer Erhöhung der Potenzialdifferenz, also zu einem erregenden postsynaptischen Potenzial (EPSP) in der Nervenzelle kommt, kurz nachdem ein Aktionspotenzial Synapse a oder b erreicht. Trifft dagegen ein Aktionspotenzial an Synapse c ein, kommt es zu einer Erniedrigung des Membranpotenzials in der nachgeschalteten Nervenzelle. Die Synapse c löst ein IPSP an der Nervenzelle aus. Es handelt sich also um eine hemmende Synapse.

A3 Erläutern Sie unter Verwendung der entsprechenden Fachbegriffe die Ergebnisse der Messungen am Zellkörper und am Axon der Nervenzelle.

Erreicht ein Aktionspotenzial eine erregende Synapse (a oder b), ist kurz vor dem Axonhügel ein EPSP zu messen. Erreicht die hemmende Synapse c ein Aktionspotenzial, so ist kurz vor dem Axonhügel ein IPSP zu messen, in dessen Folge es zu einer Abnahme der Potenzialdifferenz am Zellkörper der Nervenzelle kommt. Beim Zusammenwirken aller drei Synapsen (Verrechnung der Potenziale) zeigt sich nach dem Alles-oder-Nichts-Prinzip, ob am Axonhügel der Nervenzelle ein Aktionspotenzial ausgelöst wird. Nur durch zwei kurz hintereinander folgende Aktionspotenziale von Synapse a wird am Axon durch zeitliche Summation ein Aktionspotenzial ausgelöst: Es kommt zur Summierung mehrerer kurz aufeinanderfolgenden EPSPs am Axon. Folgen in kurzer Zeit ein Aktionspotenzial an Synapse a und b, werden diese EPSP auch aufsummiert und es wird durch räumliche Summation ein Aktionspotenzial am Axon ausgelöst. Beim aufeinanderfolgenden Eintreffen von zwei Aktionspotenzialen an Synapse b und gleichzeitigem Eintreffen eines Aktionspotenzials an Synapse c kommt es nicht zur Ausbildung eines Aktionspotenzials am Axonhügel, da durch die hemmende Synapse c und das dadurch ausgelöste IPSP das aufsummierte Potenzial nicht den Schwellenwert überschreitet.

29.5 Die Renshaw-Hemmung reguliert die Erregungsübertragung am Muskel

A1 Beschreiben Sie die in Abb. 1 dargestellten neuronalen Verschaltungen von α -Motoneuron und Renshaw-Zelle. Gehen Sie dabei auf die beteiligten Transmitter ein.

Dargestellt ist ein α -Motoneuron, das erregend innerviert ist. Die Informationen kommen hier vom Gehirn. Eine Acetylcholin führende Synapse verbindet das α -Motoneuron mit einer Skelettmuskelfaser. Über eine Kollaterale und eine Acetylcholin führende Synapse ist das α -Motoneuron im Rückenmark mit einer benachbarten Renshaw-Zelle verbunden. Diese wiederum beeinflusst über eine Glycin führende Synapse den Zellkörper des α -Motoneurons.

A2 Erläutern Sie, wie die Renshaw-Zelle die Erregungsübertragung auf die Muskelfaser reguliert.

Aus dem Gehirn einlaufende Erregungen aktivieren über eine Acetylcholin führende Synapse das α -Motoneuron, das diese Erregung über eine erregende Synapse auf die folgende Skelettmuskelfaser überträgt, sodass diese kontrahiert werden kann. Die über die Kollaterale des α -Motoneurons erregte Renshaw-Zelle wirkt mit inhibitorischen Synapsen auf das α -Motoneuron ein. Durch sie wird eine rückläufige Hemmung möglich: Bei starker Aktivität der α -Motoneurone werden sie entsprechend stark gebremst, sodass eine überschießende Reizantwort verhindert wird. Bei schwacher Aktivität wird auch die Hemmung reduziert. Die negative Rückkopplung verhindert eine Überlastung und reguliert die Aktivität des α -Motoneurons.

A3 Häufig spricht man im dargestellten Zusammenhang von einer „Renshaw-Hemmung“. Erläutern Sie, warum man besser von einem modulierenden Einfluss der Renshaw-Zelle auf die motorische Aktivität sprechen sollte.

Die Renshaw-Zelle übt zwar eine hemmende Wirkung auf das α -Motoneuron aus, die Stärke der Hemmung ist jedoch abhängig von der Erregungsstärke des α -Motoneurons selbst: Eine starke Erregung des α -Motoneurons führt zu einer starken Hemmung selbiger durch die Renshaw-Zelle. Ist das α -Motoneuron geringfügig erregt, fällt auch die Hemmung schwach aus bzw. findet gar nicht erst statt. Die Renshaw-Zelle moduliert also die Aktivität des α -Motoneurons durch das Ausbleiben oder Vorhandensein einer Hemmung.

29.6 Ritalin® bekämpft die Symptome von ADHS, nicht die Erkrankung selbst

A1 Beschreiben Sie anhand von Abb. 1 die Abläufe an einer Synapse mit dem Transmitter Dopamin.

Ein im Endknöpfchen ankommendes Aktionspotenzial verursacht an der präsynaptischen Seite die Öffnung potenzialgesteuerter Ca^{2+} -Ionenkanäle und den Einstrom von Ca^{2+} -Ionen in die Präsynapse. Die Ca^{2+} -Ionen veranlassen Dopamin haltige Vesikel, mit der präsynaptischen Membran zu verschmelzen und Dopamin in den synaptischen Spalt auszuschütten. Dopamin diffundiert zur postsynaptischen Membran und besetzt dort Dopamin-Rezeptoren. Die Rezeptor-Transmitter-Komplexe bewirken die Synthese von GTP, welches dann zusammen mit dem G-Protein die membrangebundene Adenylatcyclase stimuliert. Diese stellt aus dem ATP des Cytoplasmas cAMP her. Das cAMP aktiviert eine nachgeschaltete Proteinkinase A, welche das Öffnen von Na^{+} -Ionenkanälen und damit den Einstrom von Na^{+} -Ionen in die Postsynapse bewirkt. Es entsteht ein erregendes postsynaptisches Potenzial (EPSP). Dopamin wird mithilfe von Dopamin-Transportern durch die präsynaptische Membran hindurch in die Präsynapse transportiert und in Vesikel eingeschlossen.

A2 Erläutern Sie die Unterschiede zu einer Acetylcholin führenden Synapse. Acetylcholin führende Synapsen führen Acetylcholin statt Dopamin als Neurotransmitter und besitzen dementsprechend Acetylcholin-Rezeptoren statt Dopamin-Rezeptoren. Es gibt hier kein sich ablösendes G-Protein, keine Adenylatcyclase und keine Proteinkinase A, die ein Öffnen der Na^+ -Ionenkanäle bewirkt. Stattdessen führt der Rezeptor-Transmitter-Komplex dazu, dass sich Membranproteine öffnen und Na^+ -Ionen einströmen. Es liegt kein Dopamin-Transporter vor, dafür eine Acetylcholinesterase, die Acetylcholin in Acetat und Cholin spaltet. Darauf folgt eine Aufnahme von Cholin in die Präsynapse und eine Resynthese von Acetylcholin.

A3 Erläutern Sie die molekulare Wirkung von Ritalin® an der Dopamin führenden Synapse und dessen gewünschte Wirkungen auf das Verhalten von Personen mit ADHS.

Ritalin hemmt den Dopamin-Transporter, sodass der Rücktransport von Dopamin aus dem synaptischen Spalt in die Präsynapse verhindert wird. Dadurch wird die Dopamin-Konzentration im synaptischen Spalt künstlich erhöht und der bei ADHS-Patienten vorhandene Mangel ausgeglichen. Es kommt zu einer Normalisierung der Erregungsweiterleitung in Dopamin führenden Synapsen und damit zur gewünschten Normalisierung von Antrieb, Motivation und Aufmerksamkeit.

A4 Unter Schülern und Studenten wird Ritalin® als Mittel zur Leistungssteigerung in Prüfungsphasen gehandelt. Bewerten Sie diese Maßnahme.

Durch Steigerung der Konzentrationsfähigkeit und Ausdauer hat Ritalin® bei nicht an ADHS erkrankten Personen bestimmt eine unterstützende Wirkung, was die Verminderung der Ablenkbarkeit und auch vielleicht der Ermüdung beim Lernen angeht. Zumindest kurzfristig sind hier sicherlich Effekte zu erwarten, die jedoch eher den Bereich der Ausdauer als den Leistungsbereich betreffen: Inhalte werden durch Ritalin® sicherlich nicht besser und dauerhafter gelernt. Hinzu kommt, dass das Medikament verschreibungspflichtig ist und nicht zu diesem Zwecke verschrieben wird. Ohne ärztliche Kontrolle eingenommenes Ritalin® kann auch überdosiert werden, was dann zu den im Text genannten Nebenwirkungen führen kann. Einige der genannten Effekte einer Überdosierung sind dem Lernen nicht zuträglich bzw. sind gravierende Gesundheitsgefahren.

29.7 Lernen findet durch Veränderungen an den Synapsen statt

A1 Beschreiben Sie mithilfe des im Text beschriebenen Analogbeispiels die Ausbildung von „Gedächtnisspuren“ im Gehirn. Gehen Sie hierbei noch nicht auf die dabei ablaufenden molekularen Prozesse ein.

Wir werden mit viel Kleinkram konfrontiert, der nicht gelernt werden muss, da wir ihn später nicht mehr verwenden. Gelernt werden müssen aber Regeln und wichtige Abläufe, die unser alltägliches Leben ermöglichen und leiten. Wenn wir bestimmte Bewegungen machen, werden Impulse durch Nervenzellen geleitet. Jedes Mal bleiben kleine Spuren. Diese sind bei einem einzigen Mal klein — wie die Spuren der herumlaufenden Menschen im Park, die man zunächst nicht wahrnimmt. Wenn aber immer wieder die Impulse über gleiche Nervenbahnen laufen, so z. B., wenn wir Gegenstände greifen und dies in unterschiedlichen Situationen immer wieder tun, entstehen Gedankenspuren, die erhalten bleiben — genau wie der häufig gebrauchte Weg zwischen Getränkebude und Toilette im Park. Wie das Netz der ausgetretenen Wege im Park bildet sich im Gehirn eine gebrauchtsabhängige Karte von viel begangenen Spuren aus.

A2 Beschreiben Sie die in Abb. 1a dargestellte Synapse, indem Sie die beteiligten Komponenten in ihrer Funktion benennen.

Die Synapse besitzt in der postsynaptischen Membran zusätzlich zu transmitter-gesteuerten Na^+ -Ionenkanälen, die hier AMPA-Rezeptorkanäle heißen, besondere

Ca^{2+} -Ionenkanäle, die NMDA-Rezeptorkanäle. Wie von Synapsen bekannt, befinden sich in der Membran des Endknöpfchens spannungsgesteuerte Ca^{2+} -Ionenkanäle, die sich bei eintreffendem Aktionspotenzial öffnen und Ca^{2+} -Ionen ins Endknöpfchen diffundieren lassen. Dies führt zur Ausschüttung des Transmitters, in diesem Fall Glutamat. Das Glutamat bindet postsynaptisch sowohl an AMPA- als auch an NMDA-Rezeptoren. Infolgedessen öffnen sich die AMPA-Kanäle, sodass Na^+ -Ionen in die Postsynapse einströmen können. Auch die NMDA-Kanäle öffnen sich, der Durchtritt von Na^+ -Ionen wird jedoch von einem im Kanal sitzenden Mg^{2+} -Ion verhindert.

A3 Der Ablauf der Potenzierung lässt sich in zwei Phasen unterteilen, die Kurzzeit- und die Langzeitpotenzierung, wobei die Langzeitpotenzierung zu einer andauernden Veränderung der Synapse führt. Beschreiben Sie diese beiden Phasen in ihren Abläufen unter Einbezug der Abb. 1.

In der ersten Phase werden bei Eintreffen von Aktionspotenzialen an der Präsynapse durch die Glutamat-Ausschüttung in den synaptischen Spalt in der Postsynapse AMPA-Ionenkanäle geöffnet. Durch sie strömen Na^+ -Ionen in die Postsynapse ein, sorgen für ein EPSP und damit für eine geringe Aktivität des postsynaptischen Neurons. Wenn genug Na^+ -Ionen durch AMPA-Kanäle eingeströmt sind und die postsynaptische Membran entsprechend stark depolarisiert ist, lösen sich die Mg^{2+} -Ionen aus den NMDA-Kanälen, sodass auch hier Na^+ -Ionen und zusätzlich noch Ca^{2+} -Ionen einströmen können. Letztere aktivieren Ca^{2+} -abhängige Enzyme in der Postsynapse, die die AMPA-Kanäle durch Phosphorylierung länger offenhalten. All dies führt bereits kurzfristig und umkehrbar zu einer Potenzierung, also der Verstärkung der weiterzuleitenden Impulse.

In der zweiten Phase lösen die in die Postsynapse einströmenden Ca^{2+} -Ionen eine Signalkaskade über sekundäre Botenstoffe aus. Daraufhin werden im Zellkern bestimmte Gene aktiviert, durch deren Expression neue Rezeptorkanäle gebildet und in die neue Membran eingebaut werden können. Weiterhin sorgen die Ca^{2+} -Ionen dafür, dass die Synapse als Ganzes wächst (Ausbildung sog. dendritischer Spines), was die synaptische Kontaktfläche vergrößert.

A4 Im Gehirn sorgen Spuren für ihre eigene Verfestigung. Das Gehirn verfestigt somit die Regeln des eigenen Gebrauchs. Erklären Sie dies mithilfe Ihrer Darstellungen aus Aufgabe 3.

Einerseits führen immer wieder eintreffende Aktionspotenziale zu einer synaptischen Verstärkung ihres eigenen Signals, indem postsynaptisch die Empfindlichkeit der AMPA- und NMDA-Rezeptoren erhöht wird. Die gleiche Menge eintreffender Transmitter hat somit eine erhöhte Wirkung. Andererseits führen zytologische Veränderungen (Oberflächenvergrößerung und Neusynthese von AMPA-Rezeptormolekülen) zu einer verstärkten bzw. beschleunigten Übertragung der Signale.

30.1 Drehbewegungen erregen Haarsinneszellen im Innenohr

A1 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 2 die Funktionsweise der Haarsinneszellen.

Werden die Sinneshärchen der Haarsinneszellen nach rechts ausgelenkt, kommt es zu einer Depolarisation der Membran der Haarsinneszelle. Das Signal wird über die nachgeschaltete Nervenzelle weitergeleitet, indem an deren Axon die Frequenz der Aktionspotenziale erhöht wird. Werden die Sinneshärchen der Haarsinneszellen nach links ausgelenkt, verhält es sich genau umgekehrt. Die Membran der Haarsinneszelle wird hyperpolarisiert, woraufhin am Axon der nachgeschalteten Nervenzelle weniger Aktionspotenziale gebildet werden.

A2 Gesetzt den Fall, dass Sie sich um die eigene Achse drehen. Erläutern Sie ausgehend von der Reizung der Sinneszellen in den Drehsinnesorganen, wie es in Ihrem Körper zur Wahrnehmung der Drehbewegung kommt. Nutzen Sie dazu auch die Informationen aus den beiden Abbildungen.

Durch die Drehbewegung um die eigene Achse kommt es in den Bogengängen des Innenohrs zu einem Flüssigkeitsstrom entgegen der Drehbewegung. Die in einer Gallertmasse eingebetteten Cilien der Haarsinneszellen werden in Richtung des Flüssigkeitsstroms ausgelenkt und die Membran der Haarsinneszellen wird (je nach Drehrichtung) de- oder hyperpolarisiert. Die nachgeschalteten Nervenzellen leiten das Signal jeweils entlang ihres Axons weiter, indem mehr bzw. weniger Aktionspotenziale pro Zeit gebildet werden. Die veränderte Frequenz der Aktionspotenziale führt letztlich im Gehirn zur Wahrnehmung der Drehbewegung.

A3 Stellen Sie eine begründete Vermutung an, warum Sie auch kurz nach dem Ende einer Karussellfahrt immer noch eine Drehbewegung wahrnehmen.

Durch die Trägheit der Flüssigkeit in den Bogengängen fließt diese auch noch nach Ende der Drehbewegung eine gewisse Zeit weiter entgegen der Drehrichtung. Die Cilien der Haarsinneszellen werden weiter ausgelenkt und die Signalweiterleitung zum Gehirn wird fortgesetzt. Im Gehirn kommt es daraufhin zur Wahrnehmung einer eigentlich nicht mehr existenten Drehbewegung.

30.2 Fragestellungen zum Geschmackssinn lassen sich experimentell untersuchen

A1 Formulieren Sie eine mögliche Fragestellung, die durch das Experiment in Abb. 1 untersucht werden sollte.

Mögliche Lösung: Kann jede Geschmackssinneszelle durch die Geschmacksqualitäten salzig, sauer, bitter und süß in gleichem Maße erregt werden?

A2 Beschreiben Sie die Versuchsergebnisse und werten Sie diese hinsichtlich Ihrer in Aufgabe 1 formulierten Fragestellung aus.

Zelle 1 reagiert mit einer starken Depolarisation auf NaCl (salzig) und einer schwachen Depolarisation auf HCl (sauer). Auf Chinin (bitter) und Saccharose (süß) reagiert sie nicht.

Zelle 2 reagiert jeweils mit einer starken Depolarisation auf die Geschmacksqualitäten salzig und sauer sowie mit einer schwachen Depolarisation auf bitter. Auf die Geschmacksqualität süß reagiert sie nicht.

Zelle 3 reagiert nur auf die Geschmacksqualität süß mit einer starken Depolarisation. Auf die anderen Geschmacksqualitäten reagiert sie nicht.

→ Die Geschmacksqualitäten erregen die einzelnen Zellen in unterschiedlichem Maße. Dabei sind auch zwischen den Zellen unterschiedliche Erregungsmuster zu erkennen.

A3 Erläutern Sie das Zustandekommen der Messwerte an der Membran von Sinneszelle 3 bei Zugabe von Saccharose auf molekularer Ebene. Nutzen Sie dazu auch die Informationen auf S. 456 im Schülerbuch.

Das Saccharosemolekül bindet nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip auf der Außenseite der Membran von Zelle 3 an ein Rezeptorprotein. Dadurch wird am G-Protein auf der Innenseite der Membran GDP gegen GTP ausgetauscht. Das G-Protein wird daraufhin aktiviert und bindet an das Enzym Phospholipase C, wodurch dieses ebenfalls aktiviert wird.

Die aktivierte Phospholipase C bildet nun aus einer Vorstufe den sekundären Botenstoff IP₃. IP₃ bindet an Ca²⁺-Kanäle in der Membran des endoplasmatischen Retikulums und öffnet diese dadurch. Ca²⁺-Ionen diffundieren aus dem ER ins Cytoplasma und binden an Na⁺-Kanäle in der Zellmembran. Diese werden geöffnet, wodurch es zum Na⁺-Einstrom in die Geschmackssinneszelle kommt. Der Na⁺-Einstrom führt zu einer Depolarisation der Membran, welche als Messwert aus dem Diagramm in Abb. 1 abgelesen werden kann.

A4 Der durch Bitterstoffe ausgelöste Signaltransduktionsprozess in den Geschmackssinneszellen erfolgt wie bei den Süßstoffen über einen sekundären Botenstoff.

a. Viele Giftstoffe schmecken bitter. Erklären Sie, warum die Signaltransduktion über einen sekundären Botenstoff speziell für das Aufspüren von Giftstoffen vorteilhaft ist.

b. Es gibt verschiedene mögliche Erklärungen, warum die Sinneszellen 1 und 3 keine Reaktion auf den Bitterstoff Chinin zeigen. Geben Sie eine davon an.

a. Die Signaltransduktion über sekundäre Botenstoffe ist durch die intrazelluläre Verstärkung deutlich empfindlicher; dadurch kann bereits eine geringe Menge an Bitterstoffen wahrgenommen werden. Dies erleichtert folglich das Aufspüren von Giftstoffen.

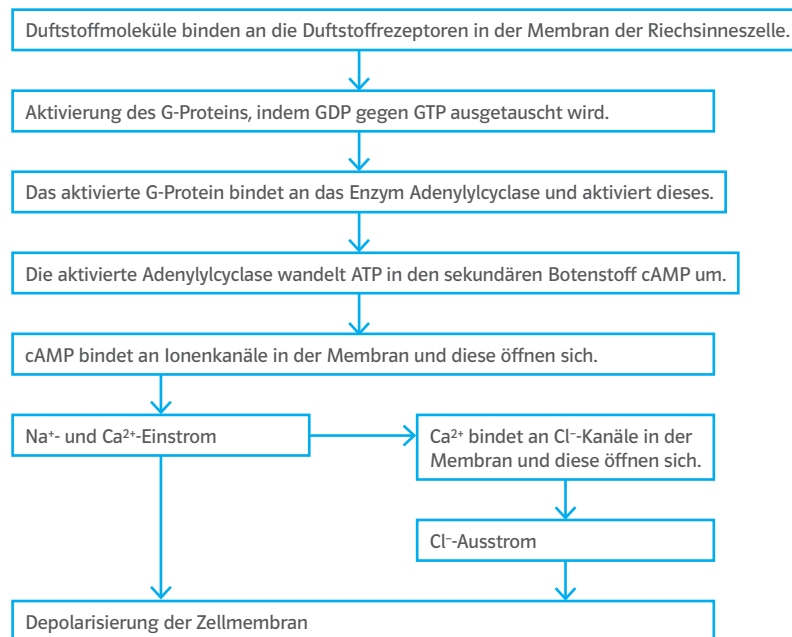
b. Mögliche Lösungen:

In der Zellmembran der Zellen 1 und 3 gibt es keine Rezeptorproteine, an die Bitterstoffe binden können.

Bitterstoffe binden zwar an die Rezeptoren in der Zellmembran der Zellen 1 und 3, lösen dort aber keine Signalübertragung aus.

30.2 Riechsinneszellen setzen Duftmoleküle in Rezeptorpotenziale um

A1 Stellen Sie die Vorgänge bei der Umsetzung von Duftmolekülen zu Rezeptorpotenzialen (→ Abb. 1) in einem Flussdiagramm dar.



A2 Vergleichen Sie die Reizrezeption beim Geruch und bei der Geschmacksrichtung süß (→ Abb. 1 auf S. 456 im Schülerbuch).

Gemeinsamkeiten:

- In beiden Fällen handelt es sich um eine Signaltransduktion über sekundäre Botenstoffe.
- In beiden Fällen ist ein G-Protein beteiligt.
- In beiden Fällen kommt es zu einer Depolarisation der Sinneszelle.

Unterschiede:

	Geruch	Geschmack (süß)
Enzym zur Bildung des sekundären Botenstoffs	Adenylylcyclase	Phospholipase C
sekundärer Botenstoff	cAMP	IP3
an der Ausbildung des Rezeptorpotenzials beteiligte Ionen	Na ⁺ , Ca ²⁺ , Cl ⁻	Na ⁺ , Ca ²⁺

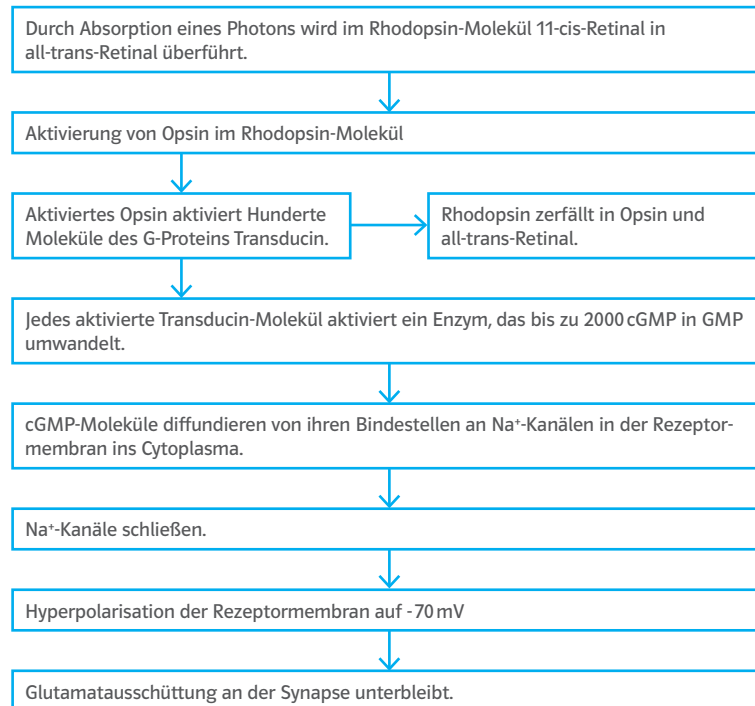
A3 Verdorbene Lebensmittel haben häufig einen unangenehmen Geruch.

Erläutern Sie, welche Vorteile die in Abb. 1 dargestellte Form der Signaltransduktion gegenüber dem einfachen Weg (wie man ihn z.B. bei der Geschmacksrichtung salzig findet) in diesem Zusammenhang hat.

Es handelt sich hierbei um eine Signaltransduktion über sekundäre Botenstoffe. Diese ist durch die intrazelluläre Verstärkung deutlich empfindlicher, das heißt, bereits eine geringe Menge an Duftmolekülen kann über den Signaltransduktionsprozess wahrgenommen werden. Dadurch kann der Verzehr verdorbenen Fleisches (und eine dadurch resultierende Lebensmittelvergiftung) verhindert werden.

30.4 Aktiviertes Rhodopsin wird in der Netzhaut regeneriert

A1 Stellen Sie mithilfe des Textes und der Abb. 1 auf S. 460 im Schülerbuch die Abläufe der Fototransduktion im menschlichen Auge in einem Flussdiagramm dar.



A2 Beschreiben Sie die in Abb. 1 dargestellten Abläufe bei der Regeneration des Rhodopsins.

Durch Absorption eines Photons zerfällt Rhodopsin in Opsin und all-trans-Retinal. All-trans-Retinal wird durch das Enzym all-trans-Retinal-Dehydrogenase in all-trans-Retinol umgewandelt. Dieses wiederum wird durch das Enzym Lecithin-Retino-Acetyltransferase zu all-trans-Retinylolester. Aus all-trans-Retinylolester wird durch das Enzym Isomerohydrolase 11-cis-Retinol, welches wiederum durch 11-cis-Retinoldehydrogenase in 11-cis-Retinal umgewandelt wird. Gleichzeitig werden all-trans-Retinylolester, 11-cis-Retinol und 11-cis-Retinal aus der Nahrung über die Leber dem Stoffwechselweg zugeführt. 11-cis-Retinal und Opsin verbinden sich zu Rhodopsin.

A3 Erläutern Sie, wie eine Mutation im Gen des Enzyms 11-cis-Retinoldehydrogenase zu den beschriebenen Symptomen einer Nachtblindheit führt.

Durch eine Mutation im Gen für 11-cis-Retinoldehydrogenase ändert sich die Aminosäuresequenz (Primärstruktur des Enzyms). Dies hat zur Folge, dass sich nichtkovalente Wechselwirkungen zwischen den Resten der Aminosäuren nicht mehr ausbilden können und es aufgrund der veränderten Tertiärstruktur zu einer Veränderung des aktiven Zentrums des Enzyms kommt. Dadurch kann 11-cis-Retinol nicht mehr an die 11-cis-Retinoldehydrogenase binden und eine Regeneration des 11-cis Retinals unterbleibt. Es entsteht ein Rhodopsin-Mangel in den betroffenen Stäbchen, wodurch diese keine Lichtreize mehr empfangen können. Dies ist erst wieder möglich, wenn ausreichend 11-cis-Retinal aus der Nahrung über die Leber zugeführt wurde.

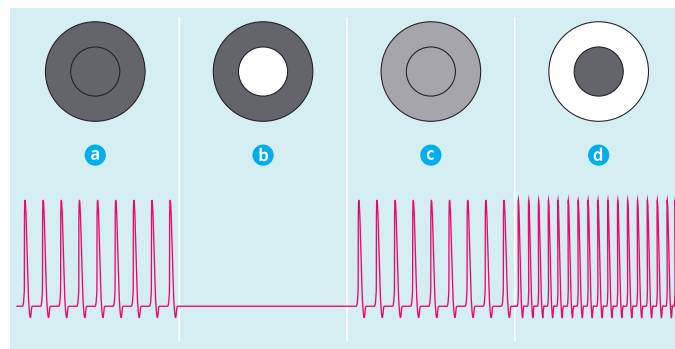
30.5 Rezeptive Felder verrechnen Informationen der Fotorezeptoren

A1 Beschreiben Sie den Aufbau des rezeptiven Feldes einer AN-Ganglienzelle. Das rezeptive Feld einer AN-Ganglienzelle wird in ein erregend wirkendes Zentrum und eine hemmend wirkende Peripherie unterteilt. Im Zentrum des rezeptiven Feldes befinden sich Sehsinneszellen, deren Erregung addiert wird und zu einer Erregung der AN-Ganglienzelle führt. Die Erregung der Sehsinneszellen in der Peripherie des rezeptiven Feldes wird ebenfalls addiert. Allerdings wirkt sich ihre Erregung hemmend auf die AN-Ganglienzelle aus.

A2 In einem Experiment wurde die Spannung am Axon einer AN-Ganglienzelle in Phasen unterschiedlicher Beleuchtung (a – d) gemessen. Beschreiben Sie die in Abb. 2 dargestellten Messergebnisse.

Werden weder Zentrum noch Umfeld beleuchtet (Phase a) reagiert die AN-Ganglienzelle ebenso mit einer mittleren Frequenz an Aktionspotenzialen, wie wenn Zentrum und Umfeld nur schwach beleuchtet werden (Phase c). Wird das Zentrum beleuchtet, das Umfeld jedoch nicht, reagiert die AN-Ganglienzelle mit einer hohen Frequenz an Aktionspotenzialen (Phase b). Wird umgekehrt das Umfeld beleuchtet, das Zentrum jedoch nicht, zeigt die AN-Ganglienzelle keine Aktivität mehr (Phase d).

A3 Zeichnen Sie ein der Abb. 2 entsprechendes Diagramm für eine AUS-Ganglienzelle.



A4 Abb. 1b zeigt die Erregungsmuster von vier AN-Ganglienzellen bei Abbildung der dargestellten Bereiche auf ihre rezeptiven Felder. Erläutern Sie das Zustandekommen der Mach'schen Bänder.

Durch die Verrechnungsprozesse in den rezeptiven Feldern kommt es zur Wahrnehmung der Mach'schen Bänder. Wird der hellere Graustreifen im Zentrum des rezeptiven Felds abgebildet, der dunkle Graustreifen jedoch bereits in Teilen der Peripherie (2), zeigt die nachgeschaltete AN-Ganglienzelle eine höhere Aktivität als die benachbarten Ganglienzellen. Dieses Signal wird an das Gehirn weitergeleitet, wodurch es zur Wahrnehmung des hellen Mach'schen Bandes kommt. Umgekehrt verhält es sich, wenn der dunklere Graustreifen komplett im Zentrum des rezeptiven Felds abgebildet wird, der hellere Graustreifen jedoch noch in Teilen der Peripherie (3). Die nachgeschaltete AN-Ganglienzelle zeigt dadurch eine geringere Aktivität als die benachbarten Ganglienzellen, wodurch es im Gehirn zur Wahrnehmung des dunklen Mach'schen Bandes kommt.

30.6 Die Farbwahrnehmung beruht auf Rechenprozessen der Netzhaut

A1 Der Farbwahrnehmung liegt das Prinzip der additiven Farbmischung zugrunde. Erläutern Sie wesentliche Eigenschaften dieses Farbsystems.

Bei der additiven Farbmischung unterscheidet man die drei Primärfarben Rot, Blau und Grün. Überlagert sich Licht aller drei Primärfarben, ergibt sich weißes

Licht. Durch Mischung von jeweils zwei Primärfarben ergeben sich Sekundärfarben: Aus Grün und Blau ergibt sich Cyan, aus Rot und Grün ergibt sich Gelb und aus Rot und Blau ergibt sich Magenta.

A2 Erklären Sie auf Ebene der Zapfen, wie es zur Farbwahrnehmung gelb kommt, wenn Sie Abb. 1 betrachten.

Durch gelbes Licht werden die drei Zapfentypen unterschiedlich stark gereizt: Der Blauzapfen wird nicht gereizt, während der Rotzapfen ein klein wenig stärker gereizt wird als der Grünzapfen. Durch Vergleich der drei Erregungsmuster entsteht im Gehirn die Farbwahrnehmung gelb.

A3 Fixieren Sie für ca. eine halbe Minute den roten Punkt in der Mitte der abgebildeten Flagge (→ Abb. 1). Richten Sie anschließend Ihren Blick auf den roten Punkt in der Mitte der weißen Fläche darunter. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen. Man nimmt auf der weißen Fläche die USA-Flagge in den richtigen Farben (weiße Sterne auf blauem Grund, rote und weiße Horizontalstreifen) wahr.

A4 Die bei Betrachten von Abb. 1 entstandene optische Täuschung ist ein sogenanntes negatives Nachbild. Diese Sinnestäuschung beruht darauf, dass beim Fixieren der Fahne an den entsprechenden Stellen der Netzhaut das Sehpigment der Zapfen verbraucht wird und deren Lichtempfindlichkeit dadurch sinkt. Begründen Sie, warum negative Nachbilder sich nicht allein durch die unterschiedliche Erregbarkeit der Zapfen erklären lassen, sondern vielmehr ein Beleg für die Verrechnung der Farbinformation in Gegenfarbenkanälen sind.

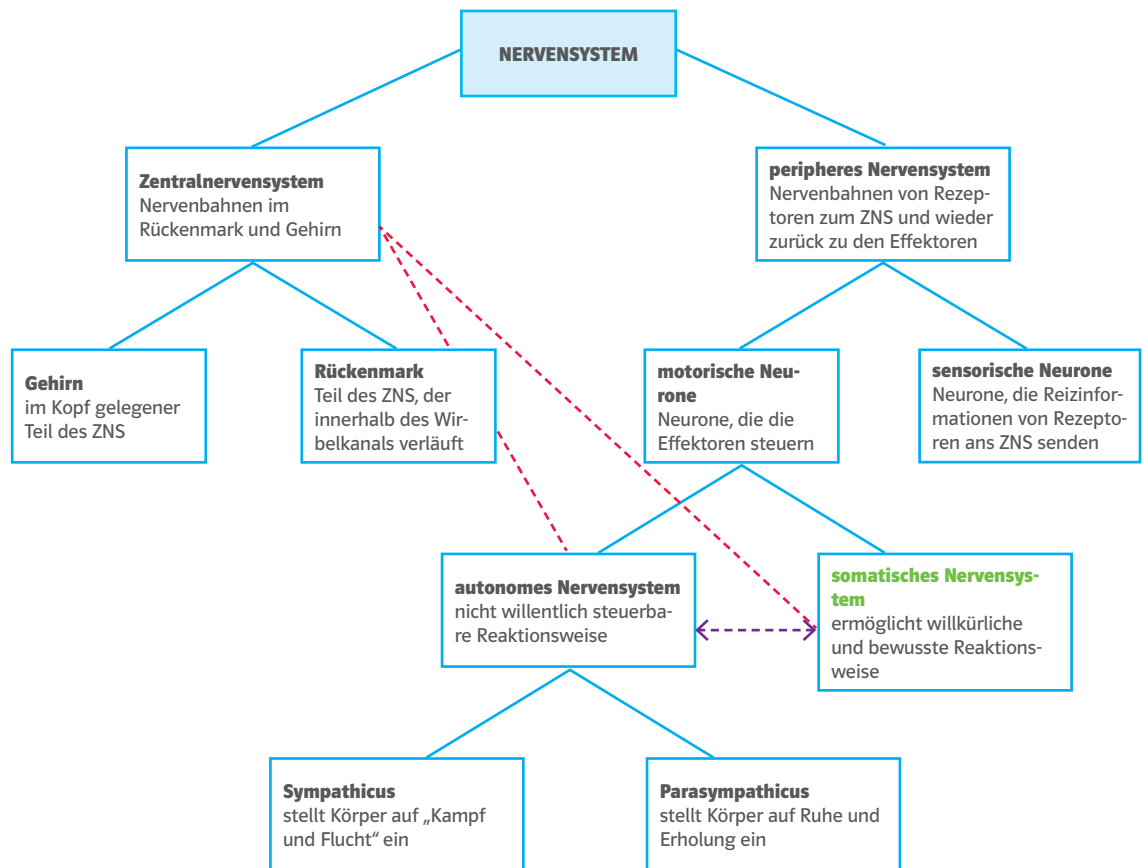
Durch die cyanfarbenen Streifen in der Abbildung werden die Rotzapfen stärker erregt als die Blauzapfen (→ Abb. 30.6.2, S. 464 im Schülerbuch). Würde das Nachbild allein aufgrund der unterschiedlichen Zapfenaktivität entstehen, dürften im Nachbild keine roten Streifen wahrgenommen werden. Diese sind erst durch nachgeschaltete Verrechnungsprozesse in rezeptiven Feldern zu erklären. Dass im negativen Nachbild jeweils die Komplementärfarben wahrgenommen werden, spricht für eine Verrechnung in Gegenfarbenkanälen.

31.2 Das Nervensystem kann anatomisch und funktional beschrieben werden

A1 Stellen Sie entsprechend der Vorlage in Abb. 1 Zettel mit Begriffen zum Nervensystem her und schreiben Sie jeweils eine entsprechende kurze Definition dazu.

A2 Legen Sie mit den Zetteln eine Übersicht über das Nervensystem. Schreiben Sie dazu den Begriff „Nervensystem“ auf ein Blatt Papier und ordnen Sie darunter die Begriffe hierarchisch an: Oberbegriffe weiter oben, Unterbegriffe weiter unten. Legen Sie die Begriffszettel jeweils zu Begriffspaaren zusammen (falls dies möglich ist). Verbindungsstriche oder Pfeile können ergänzt werden.

A3 Fügen Sie den Ihnen bisher unbekannten Begriff „somatisches Nervensystem“ in Ihr Schaubild ein und begründen Sie Ihre Anordnung.



Sowohl autonomes als auch somatisches Nervensystem „reagieren“ über motorische Nervenfasern. Das sensorische System wird beiden nicht zugerechnet. Aus diesem Grund sind beide eine Untergruppe der „motorischen Neurone“. Manche Organe, wie z. B. die Lunge (Atmung und Sprache), werden sowohl vom autonomen wie vom somatischen Nervensystem gesteuert. Somit stehen beide in gewisser Weise in einer Wechselbeziehung (gestrichelter Doppelpfeil). Bei beiden Systemen liegt ein Großteil im peripheren Nervensystem, sodass sie hier zugeordnet wurden. Ein Teil liegt jedoch bei beiden auch im ZNS (angedeutet durch gestrichelte Linien).

31.2 Sympathicus und Parasympathicus sind reale Nervenstränge

A1 Sympathicus und Parasympathicus werden häufig als Antagonisten bezeichnet. Erklären Sie dies an einem selbst gewählten Beispiel.

Unter Antagonisten versteht man Gegenspieler. Sympathicus und Parasympathicus sind bezogen auf die Organsysteme, die sie innervieren, Gegenspieler. So steigert z. B. am Herzen der Sympathicus die Herzfrequenz und weitet die Herzkranzgefäße; ist hingegen der Parasympathicus aktiv, wird die Herzfrequenz gesenkt und die Herzkranzgefäße verengen sich.

A2 Beschreiben Sie anhand von Abb. 1 und der Informationen aus dem Schülerbuch (→ S. 471) den anatomischen Aufbau des vegetativen Nervensystems. Geben Sie auch an, welche Transmitter die beteiligten Synapsen führen.

Im vegetativen Nervensystem werden der Parasympathicus-Nerv und der Sympathicus-Nerv mit all ihren Verästelungen zusammengefasst. Ausgehend vom Hirnstamm oder dem Rückenmark arbeiten beide Systeme präganglionär mit Acetylcholin als Neurotransmitter. Die Ganglien liegen im sympathischen Nervensystem beidseitig in der Nähe des Rückenmarks, während die Ganglien des parasympathischen Systems in der Nähe oder direkt an den Zielorganen liegen. Ausgehend von den Ganglien innervieren postganglionäre Neurone die Zielorgane. Postganglionär verwendet das parasympathische System ebenfalls Acetylcholin als Transmitter. Im sympathischen System ist hier Noradrenalin der Neurotransmitter.

A3 Erläutern Sie die Wirkung von Muscarin und Atropin auf das vegetative Nervensystem.

Muscarin und Atropin docken aufgrund ihrer strukturellen Ähnlichkeit mit Acetylcholin an dessen Stelle an die Acetylcholin-Rezeptoren an. Im Falle des Atropins werden die Rezeptoren blockiert, sodass kein Acetylcholin mehr binden kann. Die Ionenkanäle werden bei Bindung von Atropin an die Rezeptoren nicht geöffnet und es kommt daraufhin in der Zielzelle zu keiner Erregung. Atropin wirkt als Antagonist zu Acetylcholin. An den Acetylcholin-Rezeptor gebundenes Muscarin bewirkt als Acetylcholin-Agonist eine Öffnung der Ionenkanäle und somit eine Erregung der Zellen der Zielorgane.

A4 Erörtern Sie, welchem Teil des vegetativen Nervensystems die Wirkung von Atropin entspricht. Erklären Sie, inwiefern Atropin als Medikament zur Steuerung des vegetativen Nervensystems eingesetzt werden kann.

Im parasympathischen System führen die postganglionären Synapsen Acetylcholin als Neurotransmitter. Atropin hemmt die Acetylcholin-Rezeptoren kompetitiv. Damit inaktiviert es den Parasympathicus. Es ahmt somit in seiner Wirkung den Sympathicus nach und könnte in genau kontrollierter Dosierung und lokal als Medikament eingesetzt werden, um z. B. die Herzfrequenz zu erhöhen oder die Bronchien und die Pupillen zu weiten.

31.5 Die Großhirnrinde ist eine sensorische und motorische Landkarte des Körpers

A1 Vergleichen Sie die Repräsentanz unterschiedlicher Körperregionen im sensorischen und motorischen Cortex. Nennen Sie dabei einige auffällige Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Zu erkennen ist, dass nahezu alle Körperteile in beiden Homunculi zu finden sind. Allerdings unterscheidet sich die Größe der Körperteile. So sind im Bereich des Kopfes im sensorischen Homunculus Lippen und Gesicht besonders groß gezeichnet, beim motorischen Homunculus hingegen Lippen und Kiefer. Die Zunge ist in beiden Fällen ähnlich dick. Im Bereich der Gliedmaßen fällt auf, dass die Hände des motorischen Homunculus sehr stark gezeichnet sind, während die des sensorischen weniger stark hervortreten.

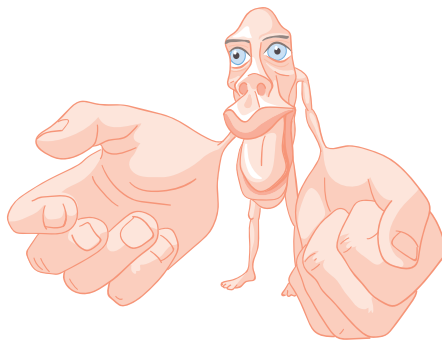
A2 Erklären Sie, warum es Unterschiede in der Repräsentanz der Körperregionen im sensorischen und motorischen Cortex gibt.

Beim sensorischen Homunculus sind die Körperregionen, die eine höhere Sensorrendichte besitzen und von denen damit mehr Informationen zum ZNS laufen, größer dargestellt. Große Körperteile bedeuten große sensorische Empfindlichkeit der betreffenden Region. Beim motorischen Homunculus sind die Regionen besonders groß dargestellt, an deren Muskelaktivierung mehr Neuronen beteiligt sind. Da große motorische und sensorische Aktivität häufig nicht zusammenfallen, unterscheiden sich die Proportionen der entsprechenden Körperregionen in den beiden Homunculi.

A3 Erläutern Sie mithilfe von Abb. 2, ob es sich bei dem Homunculus in Abb. 1 um einen sensorischen oder motorischen handelt.

Dargestellt ist der sensorische Homunculus. Seine Lippen, die Zunge und die Genitalien sind sehr viel stärker ausgebildet, als es beim motorischen Homunculus auf Grundlage von Abb. 2 der Fall sein müsste.

A4 Skizzieren Sie den noch fehlenden Homunculus.



31.6 Alzheimer ist die häufigste neurodegenerative Erkrankung im Alter

A1 Beschreiben Sie die Unterschiede im Gehirn eines gesunden und eines an Alzheimer erkrankten Menschen (→ Abb. 1). Erklären Sie in diesem Zusammenhang den Begriff „neurodegenerative Erkrankung“.

Bei einer Alzheimer-Erkrankung schrumpft das Gehirn erkennbar. Dabei kann es im Bereich der Großhirnrinde bis zu 20 Prozent seiner Masse einbüßen. Die Ventrikel werden zunehmend erweitert. Außerdem wird der Hippocampus immer kleiner. Der Grund für das Schrumpfen des Gehirns ist das fortdauernde Absterben von Gehirnzellen. Den schrittweisen Abbau von Nervenzellen des Zentralnervensystems bezeichnet man als neurodegenerative Erkrankung.

A2 Erklären Sie unter Einbezug Ihres Wissens über die Funktion bestimmter Gehirnareale die im Text geschilderten Symptome der Alzheimer-Erkrankung. Der Hippocampus ist ein Gehirnbereich, in dem die Umwandlung von Informationen des Kurzzeitgedächtnisses in Informationen des Langzeitgedächtnisses stattfindet. Er spielt also eine zentrale Rolle bei allen Prozessen des Lernens und der Gedächtnisleistung. Somit sind auch sämtliche im Text genannten Störungen zu erklären. Hinzu kommt, dass in der Großhirnrinde alle Informationen aus dem Körper zusammenlaufen. Sind diese Bereiche stark von der Gehirnschrumpfung betroffen, können einfache Bewegungen nicht mehr vollzogen und klare Gedanken nicht mehr entwickelt werden.

A3 Beschreiben Sie die Funktionsweise der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) (→ Methodenkasten auf S. 475 im Schülerbuch) und erklären Sie, warum diese Methode Aussagen über das Vorhandensein einer Alzheimer-Erkrankung ermöglicht.

Mit dem PET können Stoffwechselvorgänge sichtbar gemacht werden. Die Methode erlaubt die Beobachtung von Zellen, während diese radioaktiv markierte Glucose verstoffwechseln. Durch radioaktiven Zerfall werden an Orten der Stoffwechselaktivität — also dort, wo Zucker ist — Lichtstrahlen ausgesendet, die detektiert und von einem Computer verrechnet werden. Viel Glucose und damit viele ausgesendete Photonen sind gleichbedeutend mit Bereichen hoher Stoffwechselaktivität.

In funktionsfähigen, aktiven Neuronen wird viel Glucose verstoffwechselt, weshalb an dieser Stelle in der Aufnahme der PET rote, intensiv durchblutete Regionen zu sehen sind. Bei Alzheimer-Patienten sind die meisten Bereiche des Gehirns blau, zeigen also eine sehr schwache Aktivität. Dies bestätigt die Beobachtung eines Abbaus der entsprechenden Regionen bei einer Alzheimer-Erkrankung.

A4 Erläutern Sie anhand der Tabelle in Abb. 2, welche Aussagen aus den Untersuchungen an Mäusen abgeleitet werden können. Begründen Sie, warum Maustyp 4 für die Erforschung der Ursachen der Krankheit so bedeutend wäre.

Die transgenen Mäuse von Typ 1, 2 und 3 lassen darauf schließen, dass nur bei Anwesenheit von (vielen) Tangles Gedächtnisverlust auftritt. Der normal ausgeprägte Gedächtnisverlust bei Maustyp 2 deutet darauf hin, dass Plaques allein nicht direkt für den Gedächtnisverlust verantwortlich sind. Ihre Anzahl spielt dafür (bei fehlenden Tangles) scheinbar keine Rolle.

Versuche mit Maustyp 4 würden die Untersuchung der Notwendigkeit des gleichzeitigen Auftretens von Tangles und Plaques für die Ausprägung des Symptoms (in Maustyp 3 realisiert) ermöglichen. Mit Maustyp 4 ließe sich überprüfen, ob auch Tangles alleine den Gedächtnisverlust auslösen können.

Hinweis: Normaler Gedächtnisverlust würde darauf hindeuten, dass Tangles nur zusammen mit Plaques Gedächtnisverlust auslösen können. Starker Gedächtnisverlust würde hingegen beweisen, dass Tangles allein für den Gedächtnisverlust verantwortlich sind.

A5 Erläutern Sie die Entstehung der Alzheimer-Demenz unter besonderer Berücksichtigung des Zusammenspiels der β -Amyloide und der Tau-Proteine.

Bei Patienten mit Alzheimer-Demenz lassen sich Plaques im Gehirn nachweisen, die durch Verklumpung von β -Amyloid-Proteinen entstehen. Die Plaques lagern sich an Ca^{2+} -Ionenkanälen der Postsynapse an und binden an die Glutamat-Rezeptoren dieser ligandenabhängigen Ionenkanäle, wodurch der Einstrom von Ca^{2+} -Ionen in die Postsynapse gesteigert wird. Die normale Erregungsbildung und -weiterleitung über diese Neurone ist damit gestört, die Informationsweitergabe unterbrochen. Weiterhin führt der erhöhte Ca^{2+} -Ionengehalt der Neurone zur Aktivierung eines Enzyms, das in Folge die Tau-Proteine sukzessive immer stärker phosphoryliert.

Mit steigender Phosphorylierung ändern die Tau-Proteine ihre Raumstruktur und lösen sich von den Mikrotubuli ab, die sie normalerweise stützen und deren Aufbau sie regulieren. Die Tau-Proteine verklumpen, die Mikrotubuli zerfallen und verlieren somit ihre Funktion. Auch dies führt zum Funktionsverlust der betroffenen Neurone.

32

Hormonelle Steuerung und Regelung

32.1 Medikamente können die Hormonwirkung beeinflussen

A1 Stellen Sie die in Abb. 1 genannten Eigenschaften von Steroidhormonen (z. B. Östrogene) und Peptidhormonen (z. B. Insulin) einander gegenüber.

Steroidhormone	Peptidhormone
z. B. Östrogene	z. B. Insulin
binden an Rezeptoren in der Zielzelle	Membranrezeptoren lösen Wirkung in der Zielzelle aus
fettlöslich	wasserlöslich
können Zellmembran passieren	können Zellmembran nicht passieren

A2 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 2 und 3 die Wirkweise einer Antihormontherapie mit Tamoxifen bei Brustkrebs.

Der Wirkstoff Tamoxifen blockiert den Östrogenrezeptor in einer Zielzelle. Östrogene können daraufhin nicht mehr an den Rezeptor binden und somit ihre Wirkung in der Zielzelle nicht entfalten.

A3 Notieren Sie mögliche Nebenwirkungen einer langfristigen Einnahme des Wirkstoffes der Antihormontherapie mit Tamoxifen. Gehen Sie dabei auf Frauen vor und nach den Wechseljahren ein.

Bei Frauen vor den Wechseljahren können Störungen im Menstruationszyklus, bei einer Schwangerschaft und beim Knochenaufbau mögliche Nebenwirkungen sein. Bei Frauen nach den Wechseljahren kommt es vor allem zu Störungen beim Knochenaufbau. Diese Nebenwirkungen entstehen dadurch, dass Tamoxifen die Bindung der Östrogene an ihre Rezeptoren und damit ihre Wirkung verhindert.

32.2 Insulinpumpen helfen Diabetikern, den Blutzuckerspiegel zu regulieren

A1 Erklären Sie anhand von Abb. 2 den Zusammenhang von Insulinkonzentration und Blutzuckerkonzentration bei einem gesunden Menschen.

Der Blutzuckerspiegel steigt kurz nach jeder Mahlzeit stark an. Gleichzeitig steigt auch der Insulinspiegel im Blut stark an. Sobald sich der Blutzuckerspiegel wieder senkt, sinkt auch die Insulinmenge im Blut. Zur Nacht hin (ab ca. 22 Uhr) sinken sowohl Blutzuckerspiegel als auch der Insulinlevel unter das Niveau des Tages ab.

A2 Beschreiben Sie ausführlich den in Abb. 3 dargestellten Verlauf der Blutzuckerkonzentration im Zusammenhang mit den Mahlzeiten und den Insulingaben zwischen dem Frühstück und 22 Uhr bei einer Typ-I-Diabetikerin.

Zum Zeitpunkt des Frühstücks liegt die Blutzuckerkonzentration bei ca. 160 mg/ml. Bis zur zweiten Mahlzeit sinkt sie auf ca. 90 mg/dl ab. Nach der zweiten Mahlzeit steigt sie stark an und erreicht nach der dritten Mahlzeit gegen 11 Uhr ihr Tagesmaximum von 200 mg/ml. Bis ca. 14.00 Uhr beträgt die Blutzuckerkonzentration ca. 200 mg/ml. Bis zum Zeitpunkt der 5. Mahlzeit gegen 14.45 Uhr sinkt sie bis auf einen Wert von 140 mg/ml, steigt dann noch einmal auf 160 mg/ml an und sinkt dann bis ca. 17.00 Uhr wieder auf einen Wert von 140 mg/ml. Nach der 6. und 7. Mahlzeit steigt die Blutzuckerkonzentration erneut bis auf einen Wert von 160 mg/ml. Ab 19.00 Uhr sinkt sie dann kontinuierlich bis auf ca. 85 mg/ml und hält dieses Level bis 22.00 Uhr.

A3 Geben Sie eine mögliche Erklärung für den Verlauf der Blutzuckerkonzentration im Zusammenhang mit den Mahlzeiten und den zusätzlichen Gaben von Insulin bei der Typ-I-Diabetikerin an (→ Abb. 3).

Nach den Mahlzeiten steigt die Blutzuckerkonzentration an. Ohne zusätzliche Gaben von Insulin würde er bei der Typ-I-Diabetikerin zu stark ansteigen, weil sie kein Insulin produzieren kann. Insulin wird jedoch benötigt, damit der Zucker aus dem Blut in die Zellen gelangt. Daher muss der Patientin vor jeder Mahlzeit zusätzlich Insulin gegeben werden, wobei die Menge von der Art und der Menge der Nahrung abhängt.

A4 Erklären Sie den Verlauf der Basalabgabe an Insulin im Tagesverlauf (→ Abb. 3).

Die Basalabgabe der Pumpe sinkt von 6.00 bis 10.00 Uhr, steigt von 16.00 bis 19.00 Uhr wieder an und sinkt dann erneut bis 22.00 bis zum Ausgangswert. Von 10.00 bis 16.00 Uhr hat sie einen konstant niedrigen Wert. (Zu den Tageszeiten, zu denen es längere Zeit keine Mahlzeiten und keine zusätzlichen Gaben von Insulin gibt, orientiert sich die Basalabgabe direkt an der Blutzuckerkonzentration. Sinkt diese, sinkt auch die Basalabgabe.)

A5 Geben Sie eine mögliche Erklärung, warum gegen 19.15 Uhr die Basalabgabe von Insulin automatisch ausgesetzt wurde (→ Abb. 3).

Gegen 19.15 Uhr wurde die Abgabe kurzzeitig ausgesetzt, weil zuvor der Blutzuckerspiegel stark gesunken war. Dadurch wurde ein zu starkes Sinken verhindert.

32.3 Vitamin-D-Mangel hat Auswirkungen auf die Knochendichte und den Calciumspiegel im Blut

A1 Beschreiben Sie ausgehend von Abb. 1, wie aktiviertes Vitamin D hergestellt wird.

In der Haut entsteht unter Einwirkung von UVB-Strahlung der Sonne aus Cholesterin Prävitamin D. Bei gleichzeitiger Einwirkung von Wärme wird dieses in Vitamin D umgewandelt.

Vitamin D kann auch mit der Nahrung oder über Ergänzungsstoffe aufgenommen werden. Vitamin D wird mithilfe eines Transportproteins zur Leber transportiert. Dort wird es in eine Transport- und eine Speicherform umgewandelt. Bei Anwesenheit von Parathyrin kann Vitamin D in den Nieren in aktiviertes Vitamin D umgewandelt werden.

A2 Benennen Sie Konsequenzen eines Vitamin-D-Mangels im Hinblick auf den Calciumspiegel im Blut und die Knochengesundheit.

Ein Vitamin-D-Mangel führt zu einem niedrigen Calciumspiegel im Blut. Der niedrige Calciumspiegel im Blut hat einen Abbau von Knochensubstanz und somit eine Schädigung der Knochen zur Folge.

A3 Im Internet werden für viel Geld Vitamin-D-Präparate angeboten. Recherchieren Sie, wie Sie sich im Winter ernähren können, um mit der Nahrung genug Vitamin D aufzunehmen. Erarbeiten Sie Empfehlungen für eine Ernährung, bei der auf Ergänzungsprodukte verzichtet wird.

In den Wintermonaten muss verstärkt Vitamin D mit der Nahrung oder über Ergänzungsprodukte aufgenommen werden. Auf Ergänzungsprodukte kann allerdings verzichtet werden, wenn man gezielt Nahrungsmittel mit hohem Vitamin-D-Gehalt zu sich nimmt. Dazu gehören Fisch, wie z. B. Hering, Sardine und Lachs, aber auch Pilze, Avocado und Käse. Alternativ ist eine Bestrahlung mit Wärme und UVB-Strahlung möglich.

32.4 Das Gehirn steuert alle hormonellen Vorgänge im Körper

A1 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 1 die Wirkungen der sieben Hormone der Adenohypophyse und der zwei Hormone der Neurohypophyse in ihren jeweiligen Zielorganen.

Hormone der Adenohypophyse:

- Endorphine senken die Schmerzempfindungen im Körper.
- ACTH wirkt auf die Nebennierenrinde und löst dort eine erhöhte Cortisol-Ausschüttung aus.
- Somatotropin führt zu Knochen- und Gewebewachstum.
- FSH fördert bei der Frau die Eizellreifung und steigert beim Mann die Spermienproduktion.
- LH fördert bei der Frau die Eizellreifung und löst den Eisprung aus, beim Mann steigert es die Ausschüttung von Testosteron in den Hoden.
- TSH stimuliert die Thyroxinausschüttung der Schilddrüse.
- Prolactin fördert in der weiblichen Brust die Milchproduktion.

Hormone der Neurohypophyse:

- Vasopressin vermindert die Urinausscheidung.
- Oxytocin fördert bei der Frau die Kontraktion der Gebärmutter und steigert die Milchproduktion.

A2 Vergleichen Sie Vorgänge an einer neuronalen Synapse (→ Abb. 1 auf S. 442 im Schülerbuch) mit den Vorgängen an den Synapsen des Hypothalamus in der Hypophyse (→ Abb. 2).

An einer chemischen Synapse werden Neurotransmitter freigesetzt, die in der nachgeschalteten Nervenzelle ein postsynaptisches Potenzial auslösen. Die Synapsen des Hypothalamus setzen Freisetzungs- bzw. Hemmhormone frei, die in die Blutgefäße der Hypophyse gelangen.

A3 Der Hypothalamus verbindet die neuronale Kommunikation mit der hormonellen Kommunikation. Vergleichen Sie die beiden Kommunikationsarten hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Gemeinsamkeiten:

- Hormonsystem und Neurone produzieren und lagern chemische Botenstoffe für eine spätere Freisetzung.
- Hormonsystem und Neurone werden stimuliert und setzen dann ihre Botenstoffe frei.
- Es gibt eine große Vielfalt an chemischen Stoffen, die als Transmitter oder Hormone fungieren oder beide Funktionen übernehmen.
- Die Botenstoffe reagieren mit spezifischen Rezeptormolekülen in den Zielzellen.

Unterschiede:

- Neurone haben direkte, zelluläre Verbindungen (vgl. Festnetztelefon), Hormone senden Informationen im ganzen Körper über die Blutbahn (vgl. Handy).
- Informationen über neuronale Verbindungen laufen schnell (Millisekunden), über das Hormonsystem langsam (Sekunden oder Minuten).
- Neuronale Nachrichten funktionieren über die Frequenz immer gleicher Aktionspotenziale, hormonelle variieren graduell in ihrer Stärke.
- Hormonelle Reaktionen können nicht willkürlich ausgelöst werden, neuronale z.T. schon.

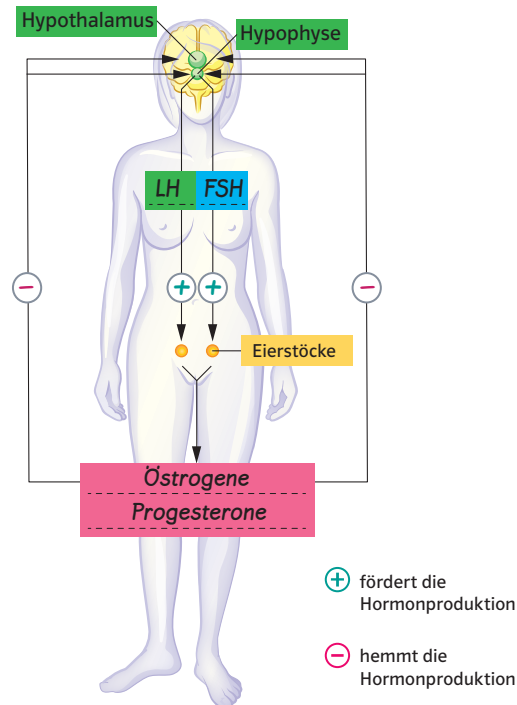
A4 Erklären Sie den Titel des Arbeitsblatts „Das Gehirn kontrolliert alle hormonellen Vorgänge im Körper“.

Der Hypothalamus ist ein Teil des Gehirns und steuert mit der Ausschüttung von Freisetzungs- bzw. Hemmhormonen alle Hormone, die von der Hypophyse ausgeschüttet werden.

32.5 Die Antibabypille wirkt über negative Rückkopplung

A1 Ergänzen Sie in Abb. 1 die Hormone an den entsprechenden Stellen.

A2 Kennzeichnen Sie mit einem + oder –, wo die Hormone eine anregende Wirkung bzw. eine hemmende Wirkung haben.



A3 Begründen Sie mithilfe von Abb. 2 und 3, warum bei konsequenter Einnahme der Antibabypille über 21 Tage eine Schwangerschaft verhindert wird.

In der Antibabypille sind Östrogene und Progesterone enthalten. Diese sind niedrig dosiert, sodass die Menge nicht ausreicht, um die Gebärmutterschleimhaut vollständig aufzubauen und einen Eisprung auszulösen. Beides in Kombination sorgt dafür, dass die Frau nicht schwanger werden kann.

Verhalten

33

Verhaltensforschung und Verhaltensweisen

33.2 Die Verhaltensforschung ist fehlerträchtig

A1 Nennen Sie die in Abb. 1 verwendeten Anthropomorphismen und erläutern Sie, inwiefern die Verwendung von Anthropomorphismen in wissenschaftlichen Texten problematisch ist.

Anthropomorphismen im Text in Abb. 1: Seesterne: konservativ, leidenschaftslos, empfindungsarm; Seeigel: kriechfaul; Holothurien (Seegurken): nicht lebhaft; Krabben: humoristisch

Bei der Verwendung von Anthropomorphismen wird unterstellt, dass ein bestimmtes tierisches Verhalten für das betreffende Tier die gleiche Bedeutung hat, wie es das analoge Verhalten für den Menschen hätte. Zudem wird unterstellt, dass die Tiere ihre Handlungen bewusst und nach demselben Wertesystem wie die Menschen vollziehen. Dies ist alles nicht der Fall und somit führt die Verwendung der Anthropomorphismen leicht zu Fehlinterpretationen von tierischem Verhalten.

A2 Erläutern Sie, welche Fehler dem in Abb. 2 beschriebenen Verhaltensforscher unterlaufen sind.

1. Es gab keine konkrete Fragestellung, es war eine zufällige Beobachtung. Das Datensammeln ohne konkrete Fragestellung ist jedoch nicht sinnvoll, da eventuell wichtige Punkte außer Acht gelassen werden.
2. Die Beobachtung wurde nur einmal gemacht. Von einer einzelnen Beobachtung kann nicht auf ein allgemeines Verhaltensmuster geschlossen werden.
3. Die Szene wurde nicht aufgezeichnet. Das Verhalten kann daher nicht von einer weiteren, neutralen Person analysiert werden.

A3 Stellen Sie mindestens drei andere Hypothesen auf, die die in Abb. 2 beobachtete Situation erklären könnten. Schlagen Sie Möglichkeiten vor, um Ihre Arbeitshypothesen zu überprüfen.

1. Der Affe ist zufällig hinter den Busch gegangen.
2. EAffen fressen immer hinter Büschen, z. B. weil sie beim Fressen von den Zoobesuchern nicht gesehen werden wollen.
3. Hinter dem Busch ist der Lieblingsplatz des Affen.

Nach Ausschluss der Arbeitshypothesen a – c könnte noch folgende Arbeitshypothese aufgestellt werden:

4. Der rangniedrige Affe kann den ranghohen Affen nun nicht mehr sehen und meint deshalb, auch er selbst könne von diesem nicht gesehen werden.

Überprüfungsmöglichkeiten:

Zu 1. Denselben Affen mehrfach beobachten. Frisst er auch vor dem Busch?

Zu 2. Mehrere Affen beobachten. Fressen alle hinter Büschen?

Zu 3. Denselben Affen mehrfach beobachten. Frisst er immer hinter dem Busch, unabhängig von den anderen Affen? (dazu höherrangige Tiere z. B. wegsperren)

Zu 4. Ein Loch in den Busch schneiden, sodass der rangniedrige Affe gesehen wird, selbst aber den ranghohen Affen nicht sieht. Die Reaktion des ranghohen Affen auf dieses „Verstecken“ beobachten.

A4 Erläutern Sie, auch unter Zuhilfenahme des Schülerbuchs (→ 33.2), Möglichkeiten, wie man sich in der Verhaltensbiologie vor Fehlinterpretationen schützen kann.

Eine Arbeitshypothese hilft dabei, alle aufzunehmenden Parameter und Rahmenbedingungen vor Beginn der Beobachtung festzulegen, um so Einzelbeobachtungen vergleichbar zu machen.

Das Verhalten sollte möglichst immer auf Video aufgenommen werden, so können unterschiedliche Personen das Verhalten unabhängig beobachten und analysieren. Auch später sind Videos objektivere Nachweise davon, was tatsächlich beobachtet wurde, als rein schriftliche Aufzeichnungen.

Die eigentliche Durchführung der Beobachtungen und Versuche sollte durch Personen erfolgen, die die Arbeitshypothese nicht kennen (Blindstudie), also nicht durch diejenigen, die danach die Ergebnisse auswerten und interpretieren. Wer die Arbeitshypothese kennt, kann den Versuchstieren über sein Verhalten (auch unbewusst) Signale geben.

33.4 Grundlegende verhaltensbiologische Fragen lassen sich durch Experimente beantworten

A1 Bewerten Sie die für die Experimente verwendeten Attrappen (→ Abb. 2). Begründen Sie die Begriffszuordnung Kontrollattrappe und Versuchsattrappe. Die Attrappen sind mit Ausnahme der weißen Streifen identisch. Sollten bei Untersuchungen unterschiedliche Ergebnisse festgestellt werden, können sie also auf einen Reiz (weiße Streifen) zurückgeführt werden. Bezogen auf die weißen Streifen entspricht die Kontrollattrappe dem natürlichen Aussehen der Spinnenmännchen. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse von Untersuchungen mit dieser Attrappe den natürlichen Verhältnissen entsprechen, sie dient also als Kontrolle. Der Reiz „weiße Streifen“ wurde bei der Versuchsattrappe weggelassen, die Ergebnisse von Untersuchungen mit dieser Attrappe im Vergleich zu Untersuchungsergebnissen mit Kontrollattrappe zeigen den Einfluss der weißen Streifen.

A2 Erläutern Sie, was in der Verhaltensbiologie unter „proximaten Ursachen“ und was unter „ultimaten Ursachen“ verstanden wird. Unter einer proximativen Ursache wird die Wirkursache verstanden. Sie beschreibt, wodurch ein Verhalten ausgelöst wird und wie es zustande kommt. Unter einer ultimativen Ursache wird die Zweckursache verstanden. Sie beschreibt, welchen Nutzen oder welchen evolutionären Anpassungswert das Verhalten für Tiere hat, also wie es sich auf ihre Überlebens- und Fortpflanzungsrate auswirkt.

A3 a. Nennen Sie Grundfragen, mit denen in der Verhaltensbiologie proximale Ursachen untersucht werden können.

b. Analysieren Sie das in Abb. 3 gezeigte Untersuchungsergebnis. Nennen Sie eine mit diesem Ergebnis beantwortbare Grundfrage der proximativen Ursachen und leiten Sie die Antwort auf diese Frage ab.

a. Fragen bei der Analyse von proximativen Ursachen:

Wodurch wird ein Verhalten ausgelöst?

Welchen Einfluss haben morphologische Eigenschaften (Körperbau)?

Welchen Einfluss haben physiologische Eigenschaften (Körperfunktionen)?

Wie entwickelt sich das Verhalten im Laufe des individuellen Lebens?

b. Ergebnisse des Attrappenexperiments (→ Abb. 3): Die Attrappen mit weißen Streifen wurden ca. dreimal so häufig von Beuteinsekten angefliegen wie Attrappen ohne weiße Streifen.

Frage: Wodurch wird ein Verhalten (das verstärkte Angelocktwerden der Beuteinsekten) ausgelöst?

Da die Attrappen abgesehen von den weißen Streifen identisch sind, kommen als proximale Ursache nur die weißen Streifen (als exogener Reiz) in Betracht.

A4 a. Nennen Sie Grundfragen, mit denen in der Verhaltensbiologie ultimale Ursachen untersucht werden können.

b. Analysieren Sie die in Abb. 4 und 5 gezeigten Untersuchungsergebnisse und leiten Sie mithilfe der Ergebnisse so weit möglich plausible Antworten auf die Grundfragen der ultimativen Ursachen des beobachteten Verhaltens des Spinnenweibchens ab.

a. Fragen bei der Analyse von ultimativen Ursachen:

Welchen biologischen Nutzen hat die Verhaltensweise?

Wie ist die Verhaltensweise im Laufe der Evolution entstanden?

b. Ergebnisse des Fütterungsexperiments (→ Abb. 4): Zu Beginn des Experiments waren die Flächen der weißen Streifen bei beiden Spinnenmännchengruppen etwa gleich groß. Nach dem Fütterungsexperiment war die weiße Fläche der Spinnenmännchengruppe, die mehr Futterinsekten erhielt, um ca. 20 % größer. Je nährstoffreicher die Nahrung ist, umso größer die Streifen, vermutlich auch umso besser die Konstitution der Männchen.

Ergebnisse des Balzexperimentes (→ Abb. 5): Über 80 % der Männchen mit weißen Streifen waren beim Balzen erfolgreich und sie wurden von Weibchen akzeptiert, weniger als 20 % wurden abgelehnt. Bei Männchen mit übermalten weißen Streifen wurden jedoch ca. 60 % der Männchen trotz der Balz abgelehnt, nur ca. 40 % wurden akzeptiert. Weibchen akzeptieren eher Männchen mit weißen Streifen als Männchen ohne weiße Streifen.

Welchen biologischen Nutzen hat die Verhaltensweise? Da die weißen Streifen, wie Abb. 4 zu entnehmen ist, mit der Ernährung zusammenhängen (je besser die Ernährung, umso größer die Streifen) lässt sich vermuten, dass Weibchen an den Streifen die Vitalität der Männchen bewerten und so ein möglichst kräftiges Männchen mit großem Jagderfolg und optimaler Konstitution für die Paarung wählen. Die ultimale Ursache dieser Wahl der Weibchen ist vermutlich die Auswahl der besten Gene für die Nachkommen.

33.5 Attrappenversuche helfen, Schlüsselreize zu identifizieren und zu analysieren

A1 Erläutern Sie das durchgeführte Experiment mithilfe von Abb. 1 und 2. Beschreiben Sie die Ergebnisse und werten Sie das Experiment aus.

Den Rhesusaffenbabys wurden zwei unterschiedliche Attrappen von Affenmüttern angeboten. Eine bestand nur aus einem Drahtkörper mit einer daran befestigten Trinkflasche mit Nahrung für die Affenbabys. Bei der anderen Attrappe hatte der Körper einen Fellbezug, diese Attrappe hielt aber keine Nahrung bereit. Der Aufenthaltsort der Affenbabys vor und nach dem Erschrecken wurde notiert und prozentual bestimmt. Demnach verbrachten die Affenbabys vor dem Erschrecken 10 % der Zeit bei der Attrappe aus Draht mit dem Nahrungsangebot, 60 % der Zeit bei der Attrappe mit Fellbezug und 30 % der Zeit bei keiner der Attrappen. Nach dem Erschrecken verbrachten die Affenbabys sogar 80 % der Zeit bei der Attrappe mit Fellbezug, bei der Attrappe mit Nahrung immer noch 10 % und bei keiner der Attrappen 10 % der Zeit. Anscheinend wurde Attrappe B (mit Fellbezug) von den Affenbabys deutlich bevorzugt, nach dem Erschrecken noch mehr als davor. (Dass nach dem Erschrecken keine Änderung in der Aufenthaltsdauer bei Attrappe A zu erkennen ist, könnte darauf hindeuten, dass eine Aufenthaltsdauer von weniger als 10 % der Zeit zu einem Nahrungsmangel führen würde.) Die Ergebnisse zeigen, dass Affenbabys über die reine Versorgung mit Nahrung hinaus hauptsächlich körperliche Nähe benötigen.

A2 Definieren Sie den Begriff „Schlüsselreiz“ in der Verhaltensbiologie. Nennen und erläutern Sie die Anforderungen an eine Attrappe zur Untersuchung von Schlüsselreizen.

Als „Schlüsselreiz“ werden sehr einfache äußere Impulsgeber bezeichnet. Anforderung an Attrappe: Attrappen dürfen möglichst nur einen, auf jeden Fall aber nur einen Teil der möglichen Reize bieten. Durch Variation dieses Teils und der Reaktion auf die Attrappe kann überprüft werden, welcher der Reize in der jeweiligen Situation der Schlüsselreiz ist. Wären alle Reize vorhanden und die Attrappe eine naturgetreue Nachbildung, könnte keine Aussage über den Schlüsselreiz getroffen werden. Je abstrakter die Attrappe, umso genauer kann der Schlüsselreiz bestimmt werden.

A3 Stellen Sie eine Hypothese auf, welche Schlüsselreize durch die verwendeten Attrappen angesprochen werden sollten.

1. Schlüsselreiz: Trinkfläschchen → Nahrungsangebot (überlebenswichtiges Grundbedürfnis)
2. Schlüsselreiz: Fellbezug → körperliche Nähe (Geborgenheit)

33.6 Oft werden Wirkursachen erst durch Experimente erkannt

A1 Nennen Sie drei Beispiele für angeborenes, also durch Gene bestimmtes Verhalten bei Vögeln.

Mögliche Antworten z.B. Zugverhalten, Betteln im Nest nach Futter, Eirollbewegung bei Gänsen

A2 Beschreiben Sie das in Abb. 2 gezeigte Ergebnis der Studie zum Brutverhalten der Kanarengirlitze und erläutern Sie die Schlussfolgerung, die aus der Studie gezogen werden kann.

1. Die Zeit bis zum Beginn des Nestbaus betrug 120 Tage, wenn die Käfige der Vögel nur mit kahlen Ästen ausgestattet waren. Gab es jedoch Grünpflanzen im Käfig, begannen die Vögel bereits nach ca. 70 Tagen mit dem Nestbau.
2. Die Zeit bis zum Beginn des Eierlegens betrug ca. 130 Tage, wenn die Käfige der Vögel nur mit kahlen Ästen ausgestattet waren. Gab es jedoch Grünpflanzen im Käfig, begannen die Vögel bereits nach ca. 90 Tagen mit dem Nestbau. Entsprechend früher war bei der Versuchsgruppe der Brutbeginn.

Schlussfolgerung: Das Vorhandensein von Grünpflanzen beschleunigt unabhängig von der Photoperiode sowohl den Beginn des Nestbaus als auch den Brutbeginn.

A3 Entwerfen Sie einen Versuchsaufbau, mit dem überprüft werden kann, ob das Sehen, das Riechen oder das Fressen der Grünpflanzen für das beobachtete Verhalten verantwortlich ist.

Sehen: künstliche Grünpflanzen aus Plastik im Käfig

Riechen: Käfig mit Pflanzengeruch beduften

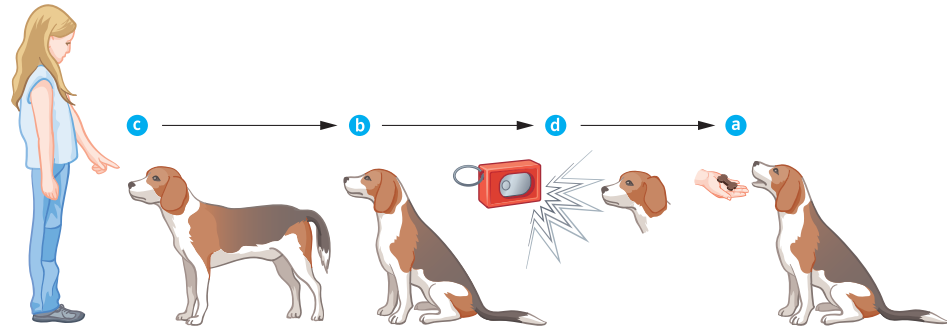
Fressen: zerkleinerte grüne Pflanzenteile unter das Futter mischen

Kontrolle: nur Äste im Käfig

34.2 Das Clickertraining verbindet unterschiedliche Konditionierungsformen

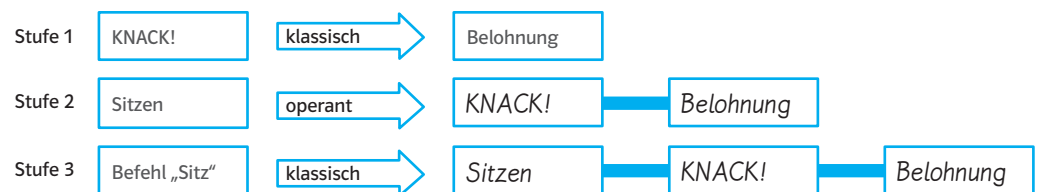
A1 Bringen Sie die in Abb. 2 gezeigten Abläufe nach erfolgreichem Clickertraining in eine sinnvolle Reihenfolge und beschreiben Sie diese.

Der korrekte Ablauf nach erfolgreichem Clickertraining:



Der „Sitz“-Befehl wird gegeben. Dem „Sitz“-Befehl wird Folge geleistet, der Hund setzt sich, der Trainer erzeugt mit dem Clicker das Knackgeräusch und gibt dem Hund eine Belohnung.

A2 Vervollständigen Sie die Abläufe in Abb. 3. Definieren Sie klassische und operante Konditionierung und begründen Sie, wieso es sich bei Stufe 1 und 3 des Clickertrainings um klassische und in Stufe 2 um operante Konditionierung handelt.



Klassische Konditionierung: unbedingter Reflex wird mit neutralem Reiz gekoppelt → bedingter Reflex.

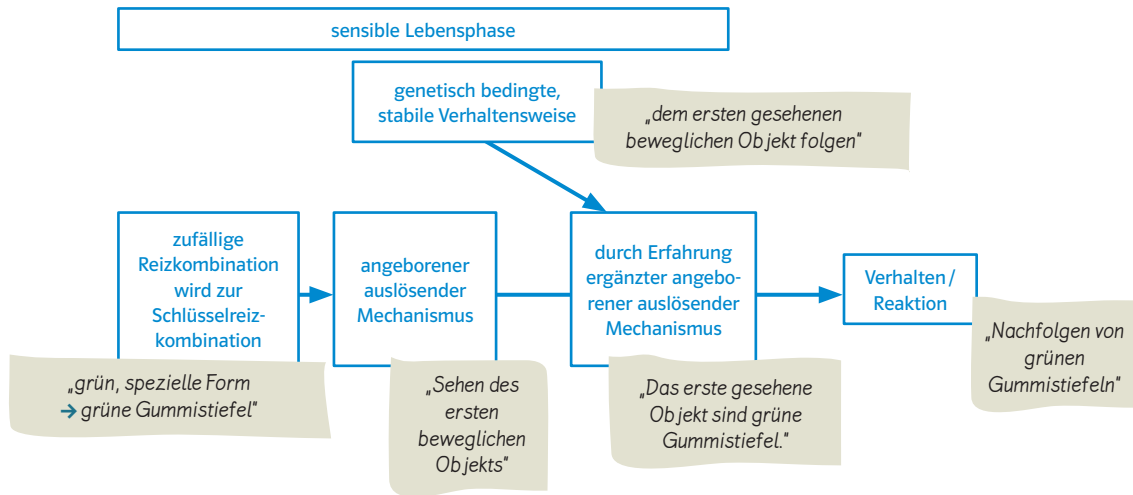
Operante Konditionierung: Versuch und Irrtum gefolgt von Belohnen oder Bestrafen.

In Stufe 1 lernt das Trainingstier, dass der neutrale Reiz KNACK! eine Belohnung bedeutet. Es handelt sich darum hierbei um klassische Konditionierung (entspricht Pawlows Hundeexperiment). In Stufe 2 lernt das Trainingstier, dass auf ein bestimmtes Verhalten das KNACK!-Geräusch folgt (→ Belohnung). Welches Verhalten das ist, kann es nur durch Versuch und Irrtum herausfinden. Es handelt sich daher um operante Konditionierung. In Stufe 3 lernt das Trainingstier, dass der neutrale Reiz „Sitz“ verknüpft mit dem Sitzen über Stufe 2 und 1 eine Belohnung bedeutet. Es handelt sich darum hierbei um klassische Konditionierung.

34.3 Die richtige Prägung ist meist lebensnotwendig

A1 Erläutern Sie den Begriff Prägung. Ordnen Sie dem Schema in Abb. 1 die auf den Zetteln notierten Vorgänge einer Fehlprägung zu.

Prägung kann nur in einer sensiblen Phase erfolgen, Prägung ist eine Form des Lernens, Prägung ist irreversibel, Prägung ist lebensnotwendig.



A2 Übertragen Sie sich die skizzierte Tabelle und ordnen Sie die in Abb. 2 genannten Tiergruppen den sechs Prägungstypen der Tabelle zu. Erläutern Sie Vorteile der Prägungstypen sowie mögliche Gefahren bei einer Fehlprägung.

Prägungstyp	Tiergruppe	Vorteile	mögliche Gefahr bei Fehlprägung
Nachfolgeprägung	Nestflüchter	Nestflüchter bleiben bei Mutter / Vater, solange sie sich nicht selbst versorgen können.	Nestflüchter laufen dem falschen Objekt nach → lebensbedrohlich
Gesangsprägung	Singvögel	Erkennen der eigenen Art am Gesang	Keine erfolgreiche Paarung möglich → nicht unbedingt lebensbedrohlich, aber biologische Fitness ist bedroht
sexuelle Prägung	männliche Tiere von Arten mit unscheinbaren Weibchen	Paarung mit eigener Art → Nachkommen können wieder Nachkommen zeugen	keine erfolgreiche Paarung möglich → nicht unbedingt lebensbedrohlich, aber biologische Fitness ist bedroht
Nahrungsprägung	Tiere mit engem Nahrungsspektrum	eigene Fitness erhöht, da richtige Nahrung gefressen wird	ohne die richtige Nahrung ist die Gesamtfitness stark eingeschränkt
Ortsprägung	Tiere mit Laichwanderung	Tiere finden den Ort mit nötigen Bedingungen wieder, um Nachkommen zu zeugen bzw. Eier zu legen	keine erfolgreiche Weitergabe der Gene, siehe sexuelle Prägung
Wirtsprägung	Brutparasiten	erfolgreiche Aufzucht weiterer Generation möglich	Nachkommen werden als Brutparasit erkannt und getötet

A3 Wie bei der Prägung werden bei der Konditionierung, beispielweise bei Pawlows Hundeexperimenten (→ 34.2), Reize mit Reaktionen verknüpft. Nennen Sie Unterschiede zwischen Prägung und Konditionierung.

Prägung	Konditionierung
nur in sensibler Phase möglich	immer möglich
irreversibel	reversibel
keine Beeinflussung durch Belohnung oder Bestrafung möglich	benötigt Verstärker
lebensnotwendig	nicht lebensnotwendig

34.4 Manche Reiz-Reaktions-Kombinationen lassen sich leichter konditionieren als andere

A1 Beschreiben Sie die in Abb. 1a und b dargestellten Ergebnisse der audio-visuellen Tests. Ergänzen Sie die Tabelle in Abb. 2.

Audio-visuelle Tests:

In Abb. 1a wurden vor dem Test ca. 300 Schlucke pro Minute festgestellt, nach den Stromschlägen waren es nur noch ca. 50 Schlucke pro Minute.

Test / Bedingung	Stromschläge	Übelkeit durch Chemikalie
Geschmackstests (gesüßtes Wasser)	Trinkrate unverändert	Trinkrate verringert
audio-visuelle Tests	Trinkrate verringert	Trinkrate unverändert

A2 Deuten Sie die Ergebnisse der beiden Testformen (audio-visuelle Tests und Geschmackstests) im Hinblick auf das Lernverhalten der Ratten und gehen Sie dabei auch auf den Garcia-Effekt ein.

Geschmackstests: Ratten, denen nach dem Trinken von gesüßtem Wasser schlecht wurde, tranken dieses Wasser später weniger, während Ratten, die beim Trinken von gesüßtem Wasser Stromschläge auf die Pfoten erhielten, dieses hinterher nicht mieden. Ungewöhnlich (in diesem Fall süß) schmeckendes Wasser wurde von den Ratten mit Übelkeit in Verbindung gebracht: Neuer Geschmackseindruck in Kombination mit späterer Übelkeit deutet auf unverträgliche Nahrung hin.

Audio-visuelle Tests: Ratten, denen in den audio-visuellen Tests nach dem Trinken von normalem Wasser schlecht wurde, mieden dieses Wasser später nicht. Ratten, die in den audio-visuellen Tests beim Trinken von normalem Wasser Stromschläge auf die Pfoten erhielten, tranken später weniger von diesem Wasser. Die Ratten haben anscheinend die Übelkeit nicht mit den audio-visuellen Eindrücken verknüpft, die Stromschläge jedoch schon. Ungewöhnliche audio-visuelle Eindrücke lassen sich offenbar leichter mit Stromschlägen in Verbindung bringen als mit Übelkeit. Der Garcia-Effekt besagt, dass einige Reiz-Reaktions-Kombinationen besser, andere schlechter konditionierbar sind. Dies ist anscheinend im vorliegenden Experiment der Fall. Die natürlichen Kombinationen veränderter Geschmack/Übelkeit und veränderte Sinneneindrücke/Schmerzen an den Pfoten lassen sich dem Garcia-Effekt entsprechend leichter lernen als die andere getestete Kombination: (veränderter Geschmack/Schmerzen an den Pfoten und veränderte Sinneneindrücke/Übelkeit).

A3 Erläutern Sie, welche Probleme bei der Rattenbekämpfung mit Giftködern auftreten können, falls einzelne Ratten die Vergiftung überleben.

Da Ratten anscheinend Übelkeit und veränderten Geschmack in Zusammenhang bringen, werden sie keinen weiteren Köder mit diesem Geschmack / Geruch fressen. Eine überlebende Ratte kann mit dieser Methode nicht mehr bekämpft werden.

34.5 Soziales Lernen kann bei vielen Tierarten beobachtet werden

A1 Definieren Sie, was in der Verhaltensforschung unter dem Begriff „soziales Lernen“ verstanden wird.

Soziales Lernen: Lernen durch das Beobachten und Nachahmen von Artgenossen.

A2 Beschreiben Sie das in Abb. 1 dargestellte Experiment zu sozialem Lernen bei Kraken.

Einem untrainierten Kraken wird ein verschlossenes Schraubdeckelglas mit einer Krabbe darin ins Aquarium gestellt. Der Krake kann das Schraubdeckelglas nicht öffnen und darum die Krabbe nicht herausholen. Anschließend wird das Schraubdeckelglas wieder entnommen und einem trainierten Kraken ins Aquarium

gestellt. Der untrainierte Krake kann den trainierten Kraken während des Experiments beobachten. → Der trainierte Krake öffnet das Schraubdeckelglas und kann die Krabbe fressen. Dann wird das Schraubdeckelglas wieder entnommen und mit einer frischen Krabbe ins Aquarium des untrainierten Kraken gestellt. → Dieser kann nun das Schraubdeckelglas öffnen und so die Krabbe fressen.

A3 Erklären Sie, aus welchem Grund das Marmeladenglas zunächst in das Becken des untrainierten Kraken gestellt wurde.

Bei diesem Schritt handelt es sich um den Kontrollversuch. Es wird kontrolliert, ob der untrainierte Krake auch ohne Demonstration sofort das Marmeladenglas öffnen kann. In diesem Fall könnte mit den Ergebnissen des eigentlichen Experiments keine Aussage mehr getroffen werden.

A4 Erläutern Sie, inwieweit aufgrund des Experiments von sozialem Lernen gesprochen werden kann.

Da der Krake im Kontrollversuch das Marmeladenglas nicht öffnen konnte, nach dem Beobachten eines Artgenossen jedoch dazu in der Lage war, kann hier von sozialem Lernen gesprochen werden, also von Lernen durch Beobachten und Nachahmen eines Artgenossen.

Hinweis: Videos solcher Versuche sind im Internet zu finden.

34.5 Soziales Lernen kommt häufig bei in Gruppen lebenden Tieren vor

A1 Nennen Sie, z. B. mithilfe des Schülerbuchs, drei Beispiele für soziales Lernen bei unterschiedlichen Tierarten. Begründen Sie, warum soziales Lernen häufig bei in Gruppen lebenden Tieren beobachtet und untersucht wird.

Beispiele aus dem Schülerbuch: Melodien bei Buckelwalen, Waschen von Nahrung bei Rotgesichtsmakaken, Öffnen von Nüssen mit Steinen bzw. Stöcken bei Schimpansen und vieles mehr. Bei in Gruppen lebenden Tieren ist es wahrscheinlicher, dass sie soziales Lernen nutzen, da sie dafür Artgenossen beobachten müssen.

A2 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 2 und 3 den Ablauf des Versuchs zu sozialem Lernen bei Köhlerschildkröten. Stellen Sie eine passende Hypothese und eine Gegenhypothese auf.

Versuchsaufbau: Die beobachtende Schildkröte sitzt in einem Käfig, von welchem aus sie die Demonstrationsschildkröte und die Futterstelle beobachten kann. Die Demonstrationsschildkröte befindet sich auf dem Versuchsgelände. Eine Schüssel mit Futter kann durch einen Zaun von der Demonstrationsschildkröte gesehen, aber nicht direkt erreicht werden. Die Demonstrationsschildkröte geht, entgegen der normalen Gewohnheit der Köhlerschildkröten, zunächst vom Futter weg, um den Zaun herum und gelangt so an das Futter. Danach wird die Demonstrationsschildkröte entfernt und die beobachtende Schildkröte im Versuchsfeld freigelassen.

Hypothese: Köhlerschildkröten sind zu sozialem Lernen fähig.

Gegenhypothese: Köhlerschildkröten sind nicht zu sozialem Lernen fähig.

A3 Werten Sie die in Abb. 3 gezeigten Ergebnisse des Versuchs aus und bewerten Sie Ihre beiden Hypothesen.

Schildkröten 1–4 (ohne Demonstration): Bei keinem der 12 Durchläufe erreichte eine der Schildkröten das Futter.

Schildkröten 5–8 (mit Demonstration): Im Mittel sind 60 % der 12 Durchläufe erfolgreich. 2 Schildkröten (5 und 6) erreichten das Ziel fast immer (92 und 100 %) und zwei (7 und 8) lediglich in 25 bzw. 17 % der Fälle.

Die Hypothese konnte gestützt werden: Köhlerschildkröten sind zu sozialem Lernen fähig. Anscheinend gibt es aber auch große individuelle Unterschiede (92 und

100 % vs. 25 bzw. 17%) in der sozialen Lernfähigkeit (oder der Aufmerksamkeit) der Köhlerschildkröten.

A4 Beurteilen Sie, ob Sie auch ohne die Schildkröten 1 bis 4 Ihre Hypothesen bewerten können.

Bei Schildkröten 1–4 handelt es sich um den Kontrollversuch: Ohne den Kontrollversuch würden die Daten dazu fehlen, ob unter den gegebenen experimentellen Bedingungen manche Schildkröten auch ohne Demonstration das Futter erreichen. Ohne diese Daten können die Hypothesen nicht bewertet werden.

35

Kommunikation und Sozialverhalten

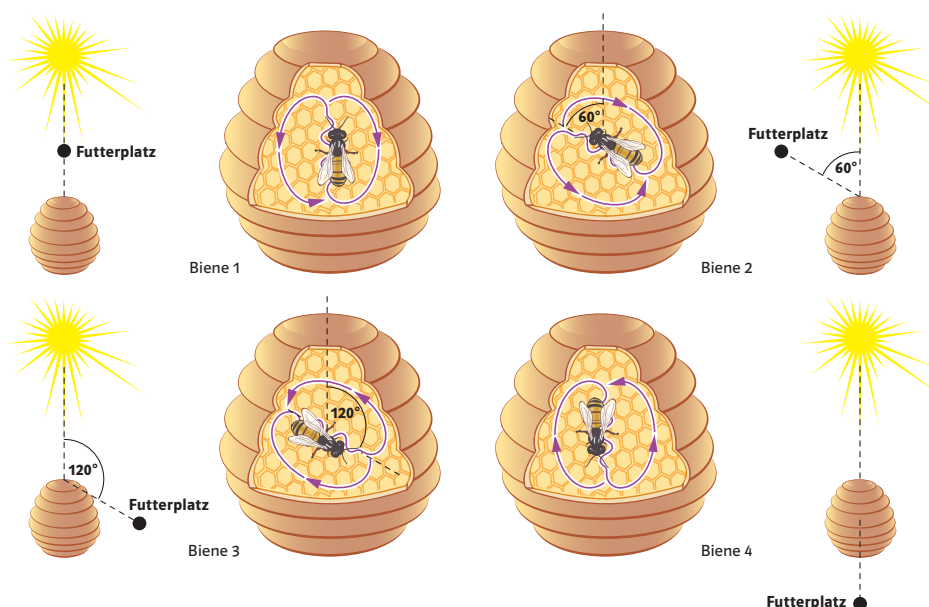
35.1 Der Schwänzeltanz der Bienen vereint unterschiedliche Formen der Kommunikation

A1 Nennen Sie die allgemeinen Bestandteile von Kommunikation und setzen Sie diese in Bezug zum Schwänzeltanz der Bienen.

Tänzerin (Sender) → Schwänzeltanz (Signal) → andere Arbeiterinnen (Empfänger)
chemische Kommunikation: über die abgegebenen Futtertröpfchen
akustische Kommunikation: Flügelschlagen
taktile Kommunikation: Andere Arbeiterinnen berühren die Tänzerin mit den Antennen.

Da es im Bienenstock dunkel ist, erfolgt vermutlich keine bis wenig optische Kommunikation.

A2 Skizzieren Sie mithilfe der Informationen aus dem Schülerbuch (→ 35.1) die relative Lage der vier Nahrungsquellen, von denen die Tänzerinnen in Abb. 1 berichten.



A3 Erläutern Sie, inwieweit Sie mit den in Abb. 1 gezeigten Tanzmustern eine Aussage über die Entfernung der Futterquelle zum Stock machen können. Die Entfernung ist in der Dauer des Schwänzeln codiert. Da in der Abbildung jegliche Zeitangabe fehlt, lässt sich zu der Entfernung keine Aussage machen. Nur die relative Lage der Futterquelle zum Stock kann daraus bestimmt werden.

35.4 Manchmal ist es schwierig, zwischen ehrlichen und unehrlichen Signalen zu unterscheiden

A1 Tiere senden ehrliche und unehrliche Signale. Erläutern Sie die Begriffe „ehrliches Signal“ und „unehrliches Signal“ mithilfe des Schülerbuchs (→ 35.3) und grenzen Sie sie von der Bedeutung der Begriffe „ehrlich“ und „unehrlich“ in menschlichen Gesellschaften ab.

Ein Signal wird als ehrliches Signal bezeichnet, wenn es dem Empfänger verlässliche (also auch wahre) Informationen vermittelt. Auf die Informationen eines unehrlichen Signals kann sich der Empfänger nicht verlassen. Im Gegensatz zu „ehrlich“ und „unehrlich“ im gesellschaftlichen Sinn steckt im biologischen Sinn hinter den Signalen keine bewusste Intention, die Wahrheit oder eben eine Unwahrheit zu vermitteln. Im Laufe der Evolution haben bestimmte Signale einen Selektionsvorteil gebracht und sich somit gehalten.

A2 Beurteilen Sie, von welchen Tieren in Abb. 1 ehrliche und von welchen unehrliche Signale ausgehen. Geben Sie auch an, ob es sich um ein innerartliches oder zwischenartliches Signal handelt.

Hundemarkierung: ehrlich innerartlich → Auskunft über Geschlecht, Alter, Gesundheitszustand

Pfeilgiftfrosch: ehrlich zwischenartlich → Hinweis auf Giftigkeit

Asiatischer Maiszünsler: unehrlich innerartlich → falscher Ruf

Königsnatter: unehrlich zwischenartlich → Mimikry

Korallenschlange: ehrlich zwischenartlich → Hinweis auf Giftigkeit

A3 Untersuchungen haben ergeben, dass Pfeilgiftfrösche in Gefangenschaft aufgrund des Fehlens bestimmter Insekten in ihrer Nahrung nicht giftig sind. Diskutieren Sie unter diesem Aspekt, inwieweit es sich bei der Färbung von Pfeilgiftfröschen um ein ehrliches Signal handelt.

Die Färbung des Pfeilgiftfrosches ist natürlicherweise ein ehrliches Signal, nur in Gefangenschaft wird es zu einem unehrlichen Signal.

35.4 Die meisten Putzerfische leben an festen Putzstationen

A1 Vergleichen Sie mittels Abb. 1 den Putzerlippfisch mit dem Falschen Putzerfisch. Erläutern Sie an diesem Beispiel, wieso hier von einer Form unehrlicher Kommunikation gesprochen werden kann. Stellen Sie auch dar, welchen Vorteil der Falsche Putzerfisch durch diese Form der Kommunikation hat.

Der Putzerlippfisch und der Falsche Putzerfisch sehen sich sehr ähnlich. Sie kommen im selben Lebensraum vor; auch ihr Verhalten ist gleich, bis die beiden Fische direkt bei ihren Kunden sind. Dann beißt der Falsche Putzerfisch mit seinen scharfen Zähnen ein Stück lebendes Gewebe aus dem Kunden, während der Putzerlippfisch den Kunden nur von abgestorbener Haut und Ektoparasiten befreit.

Das vom Falschen Putzerfisch durch Aussehen und Verhalten (tanzartige Schwimmbewegung) des Falschen Putzerfisches gesendete Signal „nützlicher harmloser Putzerfisch“ ist falsch und wird zur Täuschung anderer Fische genutzt. Darum kann von unehrlicher Kommunikation gesprochen werden.

Vorteile für den Falschen Putzerfisch sind, dass er Nahrung erhält, indem seine Opfer freiwillig zu ihm kommen und er nicht jagen muss. Auch besteht ein gewisser Schutz vor Raubfischen, die Putzerfische normalerweise in Ruhe lassen.

A2 Benennen Sie in der Tabelle (→ Abb. 1) die Art der Beziehung zwischen der jeweiligen Fischart und dem Kunden sowie mögliche unmittelbare Folgen des Verhaltens der beiden Fischarten. Nehmen Sie hierfür auch Abb. 1 auf S. 362 des Schülerbuchs zu Hilfe.

	Putzerlippfisch (<i>Labroides dimidiatus</i>)	Falscher Putzerfisch (<i>Aspidontus taeniatus</i>)
Art der Beziehung zum Kunden	Symbiose (Mutualismus)	Parasitismus
unmittelbare Folgen	Kunden kommen wieder, werden geputzt, Putzerlippfisch hat Futter	gebissene Kunden meiden diese Putzstation in Zukunft; seltener: Kunden fressen Falschen Putzerfisch nach dem Biss

A3 Leiten Sie mögliche langfristige Folgen ab für den Fall, dass in einem Gebiet sehr viele Falsche Putzerfische auftreten.

Kommen in einem Gebiet besonders viele Falsche Putzerfische vor, werden die Putzstationen des Putzerlippfischs von Kunden zunehmend gemieden, was dann zu einem Nahrungsmangel für Falsche Putzerfische und Putzerlippfische führen würde.

35.5 Schwertwale leben in komplexen sozialen Strukturen

A1 Nennen Sie mithilfe des Schülerbuchs (→ 35.5) die unterschiedlichen Formen des Zusammenlebens im Tierreich und definieren Sie sie. Begründen Sie, um welche Form des Zusammenlebens es sich bei Schwertwalen handelt.

solitär: Tiere können in räumlich enger Umgebung leben, bilden aber keine Gruppen.

anonym offene Gruppen: Tiere können frei zwischen Gruppen hin und her wechseln, Mitglieder der Gruppe kennen sich nicht individuell.

anonym geschlossene Gruppen: Tiere können nicht frei zwischen Gruppen wechseln, Mitglieder der Gruppe kennen sich nicht individuell.

individuell geschlossene Gruppen: Tiere können nicht frei zwischen Gruppen wechseln, Mitglieder der Gruppe kennen sich individuell.

koloniebildend: Tiere sind dauerhaft körperlich verbunden.

Da sich Schwertwale individuell kennen und in festen Gruppen leben, handelt es sich um individuell geschlossene Gruppen.

A2 Erläutern Sie Vor- und Nachteile für Schwertwale, in Gruppen zu jagen.

Vorteile: Erreichen von Beute, die sonst unerreichbar wäre; gemeinsam höherer Jagderfolg; Erlernen von Jagdtechniken von anderen Individuen; Entwickeln von neuen Jagdtechniken

Nachteile: Teilen der Beute → weniger Nahrung pro Individuum

Hinweis: Im Internet findet man eindrucksvolle Filme zu diesem Phänomen (Stichworte: Orcas, Jagd, Robben und Eisscholle).

35.6 Welche Faktoren bestimmen die Rangordnung in einem Tüpfelhyänen-Clan?

A1 Formulieren Sie stichwortartig die drei Hypothesen, wie der Rang innerhalb eines Rudels von der Mutter an die Nachkommen weitergegeben werden kann.

1. direkt über Gene; 2. über Faktoren während der Embryonalentwicklung im Mutterleib; 3. über mütterliches Verhalten bei der Aufzucht

A2 Formulieren Sie analog zu Untersuchung 1 jeweils die Fragestellung und ermitteln Sie die Kernaussagen der Untersuchungen 2 bis 4. Geben Sie auch an, welche der drei Hypothesen mit der jeweiligen Fragestellung untersucht werden soll.

Untersuchung 2

Fragestellung: Korreliert der Rang der erwachsenen Nachkommen mit dem Rang ihrer biologischen Mutter, den diese zum Zeitpunkt der Geburt der Jungen hatte?

Kernaussage: Es gibt keine Korrelation zwischen dem Rang der erwachsenen Nachkommen und dem Rang, den ihre biologische Mutter zum Zeitpunkt der Geburt der Jungen hatte.

Welche Hypothese wurde untersucht? Hypothese 2

Untersuchung 3

Fragestellung: Korreliert der Rang der erwachsenen Nachkommen mit dem Rang der biologischen Mutter, den diese zum Zeitpunkt des Erwachsenseins der Nachkommen innehat?

Kernaussage: Es gibt keine Korrelation zwischen dem Rang der erwachsenen Nachkommen und dem Rang ihrer biologischen Mutter zum Zeitpunkt des Erwachsenseins der Nachkommen.

Welche Hypothese wurde untersucht? Hypothese 1

Untersuchung 4

Fragestellung: Korreliert der Rang der erwachsenen Nachkommen mit dem Rang ihrer Adoptivmutter, den diese zum Zeitpunkt des Erwachsenseins der Nachkommen innehat?

Kernaussage: Es gibt eine positive Korrelation zwischen dem Rang der erwachsenen Nachkommen und dem Rang ihrer Adoptivmutter, den diese zum Zeitpunkt des Erwachsenseins der Nachkommen hat. Der Rang der adoptierten Nachkommen ist gleichwertig oder wenig schlechter als der der Adoptivmutter.

Welche Hypothese wurde untersucht? Hypothese 3

A3 Begründen Sie mithilfe der Kernaussagen, wie Tüpfelhyänen ihren Rang wahrscheinlich weitergeben.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sprechen für Hypothese 3: mütterliches Verhalten bei der Aufzucht. Nur hier wurde, wie im Kontrollexperiment, eine positive Korrelation zwischen dem Rang der erwachsenen Nachkommen und dem Rang der Mutter — in diesem Fall Adoptivmutter — festgestellt.

35.7 Einzel- und Gruppeninteressen bestimmen die Struktur der Gruppe

A1 Stellen Sie Unterschiede zwischen Einzel- und Gruppeninteressen dar und nennen Sie jeweils zwei Beispiele.

Einzelinteressen sind die individuellen Interessen eines einzelnen Tieres: z.B. Deckung des Nahrungsbedarfs, Eigenschutz, Weitergabe der eigenen Gene. Gruppeninteressen sind die Interessen einer gesamten zusammenlebenden Tiergruppe: z.B. Nahrung für die gesamte Gruppe sichern, Schutz für die gesamte Gruppe, erfolgreiche Weitergabe von Genen der Gruppe.

Zwar ähneln die Gruppeninteressen den Einzelinteressen prinzipiell, sie sind jedoch auf die ganze Gruppe bezogen und können den Einzelinteressen dadurch entgegenstehen: z.B. Verzicht von einzelnen Individuen auf Schutz, um die Gruppe zu bewachen oder zu verteidigen; Verzicht auf Nahrung, um Nahrung an andere Gruppenmitglieder weiterzugeben (häufig an Ranghöhere); Verzicht auf eigene Nachkommen, um die Nachkommen anderer aufzuziehen (meist bei nah verwandten Tieren).

A2 Beschreiben Sie das in Abb. 2 gezeigte Diagramm und geben Sie eine mögliche Erklärung für das Trageverhalten.

Väter tragen die Jungen ca. 30 % der Zeit, männliche Helfer im Mittel 28 % der Zeit, Mütter etwa 8 % und weibliche Helfer 14 % der Zeit. Die individuellen Abweichungen bei den Männchen (Väter und männliche Helfer) sind deutlich größer als bei Weibchen (Mütter und weibliche Helfer). Es gibt also bei Männchen besonders große individuelle Unterschiede im Trageverhalten. Trotzdem sind die Männchen

deutlich mehr am Tragen der Jungen beteiligt als die Weibchen. Eine mögliche Erklärung hierfür wäre, dass die Weibchen die Jungen aufgrund der Gewichtsverhältnisse nicht 5 Wochen lang permanent tragen könnten; das gilt insbesondere für die von der Schwangerschaft geschwächten Mütter.

A3 Werten Sie das in Abb. 3 gezeigte Diagramm für die unterschiedlichen Gruppenmitglieder unter Berücksichtigung von Abb. 2 aus.

Die Gewichtsänderungen der Mütter wurden erst ab der Geburt erfasst. Bis zur Geburt verlaufen die Gewichtsänderungen der Väter sowie der männlichen und weiblichen Helfer ähnlich. Ab der Geburt bis etwa zur 5. Woche nehmen sowohl die Väter als auch die männlichen Helfer deutlich an Gewicht ab, wobei die Väter mehr Gewicht verlieren. Ab der 5. Woche nehmen sowohl Väter als auch männliche Helfer wieder zu. Das Gewicht der Mütter nimmt in den ersten zwei Wochen nach der Geburt zunächst ab, dann nimmt es ca. 7% zu, was bei einem Normalgewicht von ca. 500 g einer Zunahme von ca. 35 g entspricht. Auch die weiblichen Helfer nehmen stetig zu, jedoch langsamer als die Mütter. Berücksichtigt man Abb. 2, scheint das Tragen der Jungen mit einer Gewichtsabnahme der Träger positiv korreliert zu sein. Anscheinend ist das Tragen der beiden Jungen recht anstrengend. Die Kurvenverläufe lassen sich damit erklären, dass sich die weiblichen Helfer deutlich weniger als die Männchen und die Mütter am wenigsten am Tragen der Jungtiere beteiligen. Der Kurvenverlauf der Väter und der männlichen Helfer passt zu der Information, dass die Jungen 5 Wochen permanent getragen werden müssen. Die Gewichtszunahme der Väter und männlichen Helfer ab Woche 5 spiegelt wider, dass die Jungen ab dieser Zeit nicht mehr ständig getragen werden müssen.

A4 Erläutern Sie das Verhalten der Väter und der männlichen Helfer im Hinblick auf Einzel- und Gruppeninteressen.

Es liegt im Einzelinteresse der Väter, ihre Jungen aufzuziehen. Sie investieren (in Form von Gewichtsverlust) durch das Tragen in den Schutz und somit in die biologische Fitness der Jungen. Da sich die Mütter mit mehreren Männchen paaren, kennen die Tamarine die Väter der Jungen nicht. Bei zweieiigen Zwillingen ist es zudem möglich, dass diese zwei unterschiedliche Väter haben. Aus diesem Grund liegt es im Einzelinteresse jedes Männchens, sich am Tragen zu beteiligen, um dadurch potenziell seine eigene biologische Fitness zu erhöhen. Da sich nur das dominante Weibchen fortpflanzt, ist es sowohl im Einzelinteresse der Männchen als auch im Gruppeninteresse, dass das Weibchen möglichst viel Unterstützung bei der Aufzucht der Jungen erhält, um dadurch schneller wieder neue Junge bekommen zu können.

A5 Begründen Sie, warum das Verhalten der Mütter sowohl in ihrem Einzel- als auch im Gruppeninteresse der Schnurrbartamarine liegt.

Es liegt im Einzelinteresse der Mütter, das dominante Weibchen ihrer Gruppe zu bleiben, und hierfür müssen sie bei Kräften sein. Zusätzlich liegt es aber auch im Gruppeninteresse, die Gruppe möglichst zu vergrößern; hierfür ist ein fittes dominantes Weibchen erforderlich.

35.8 Ablenkungsmanöver kommen auch im Tierreich vor

A1 Beschreiben Sie die Intensität des Ablenkungsverhaltens in Abhängigkeit von den in Abb. 2 gezeigten Faktoren.

Je näher der Räuber dem Nest kommt, umso höher ist die Intensität des Ablenkungsverhaltens; je weiter der Räuber entfernt ist, umso niedriger ist die Intensität des Ablenkungsverhaltens.

Sind beide Eltern anwesend, ist die Intensität des Ablenkungsverhaltens höher, ist nur ein Elternteil anwesend, ist die Intensität niedriger.

Handelt es sich um einen bodenlebenden Räuber, ist die Intensität des Ablenkungsverhaltens höher, bei fliegenden Räubern ist sie niedriger.

A2 Erklären Sie Vor- und Nachteile des Ablenkungsverhaltens für den Keilschwanz-Regenpfeifer.

Vorteil: verbessert die Überlebenschance der Nachkommen; Nachteil: lebensgefährlich für das betreffende Elterntier und damit verbunden für die Jungen, vor allem, falls kein weiterer Elternteil anwesend ist.

A3 Geben Sie mögliche Begründungen für die in Abb. 2 gezeigten Korrelationen an. Formulieren Sie die Kernaussage der Grafik.

Entfernung zum Nest: Der simulierende Elternteil wägt ab zwischen dem Risiko für sich selbst und der Gefahr für die Jungen (kalkuliertes Risiko).

Sind zwei Elternteile anwesend, kann ein Elternteil den anderen unterstützen (geteiltes Risiko).

Fliegende Räuber haben von oben eine sehr gute Übersicht. Durch das Ablenkungsverhalten könnte die Aufmerksamkeit stärker auf die Umgebung, in der sich das Nest befindet, gelenkt werden. Bodenlebende Räuber könnten hingegen durch das Ablenkungsverhalten tatsächlich vom Nest weggelockt werden.

Kernaussage: Je größer die Gefahr für die Jungen ist, umso größer ist die Risikobereitschaft der Eltern.

A4 Definieren Sie den Begriff Altruismus und begründen Sie, inwieweit beim Verhalten des Pfeilschwanz-Regenpfeifers von Altruismus gesprochen werden kann.

Unter Altruismus versteht man augenscheinlich selbstloses, uneigennütziges Verhalten zum Vorteil anderer, teilweise auch verbunden mit dem eigenen Tod (Beispiel Insektenstaat: Ameisen, die sich opfern, um den Staat zu verteidigen).

Es werden dabei nicht die eigenen Nachkommen und somit die eigenen Gene geschützt, sondern andere, meist aber verwandte Gene. Da die Pfeilschwanz-Regenpfeifer sich nur für ihre eigenen Nachkommen in Gefahr begeben, kann hier nicht von Altruismus gesprochen werden. Es werden nur die eigenen Gene (weitergegeben an die direkten Nachkommen) durch dieses Verhalten geschützt, somit liegt Eigennutz vor.