

Biologie 9. Klasse im LehrplanPLUS

Biodiversität bei Wirbellosen – Variabilität und Anpasstheit

Thomas Nickl, März 2021 (ergänzt Juli 2026)

Inhalt:

[Allgemeine Vorbemerkungen](#)

[Zeitplan](#)

4 Wirbellose Tiere

[4.1 Aktive Bewegung](#)

- [4.1.1 Die Gliederung des Bienenkörpers](#)
- [4.1.2 Das Insekten-Skelett](#)
- [4.1.3 Der Bewegungsapparat bei Insekten](#)
- [4.1.4 Fortbewegung beim Regenwurm](#)
- [4.1.5 Fortbewegung bei Insekten an Land](#)
- [4.1.6 Fortbewegung bei Insekten in der Luft](#)
- [4.1.7 Fortbewegung bei Insekten im Wasser](#)



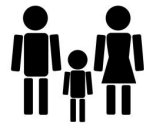
[4.2 Stoffwechsel](#)

- [4.2.1 Atmung und Kreislauf bei Insekten](#)
- [4.2.2 Atmung und Kreislauf bei Ringelwürmern](#)
- [4.2.3 Nahrungsquellen und Mundwerkzeuge](#)
- [4.2.4 Ökologische Auswirkungen](#)



[4.3 Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung](#)

- [4.3.1 Drohnen haben keinen Vater](#)
- [4.3.2 Regenwürmer haben kein Gender-Problem](#)
- [4.3.3 Süßwasserpolyphen brauchen keinen Partner](#)
- [4.3.4 Wachstum mit Panzer](#)
- [4.3.5 Metamorphose-Formen](#)



[4.4 Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion](#)

- [4.4.1 Das Nervensystem](#)
- [4.4.2 Das Facettenauge](#)
- [4.4.3 Farbsehen bei Bienen](#)
- [4.4.4 Tarnen, warnen, täuschen](#)
- [4.4.5 Signaltypen bei der Kommunikation](#)
- [4.4.6 Kommunikation bei Bienen](#)



[4.5 Die Vielfalt im Stamm der Gliedertiere](#)

Hervorragendes Bildmaterial und hochqualitative Beschreibungen

ggf. in der Schulbibliothek, antiquarisch erhältlich, teilweise auch in Neuauflagen erhältlich:

- Jakob Graf: Tierbestimmungsbuch. J. F. Lehmanns Verlag München, 1971 (Tusche-Zeichnungen)
- Werner Jacobs und Maximilian Renner: Taschenlexikon zur Biologie der Insekten. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, 1974 (Die 1200 Tusche-Zeichnungen sind auch in die Überarbeitung übernommen worden: Biologie und Ökologie der Insekten von Heiko Bellmann und Klaus Honomichl, Spektrumverlag 2007).
- Jiří Zahradník: Der Kosmos Insektenführer. Kosmos Stuttgart (große, sehr detailreiche, farbige Zeichnungen vieler Insekten; der Bestimmungsschlüssel ist für Schüler zu schwierig)
- Rolf und Grete Dirksen: Tierkunde 2 – Wirbellose Tiere. Bayerischer Schulbuchverlag (hervorragende Artikel und detaillierte, farbige Zeichnungen; geordnet nach der Systematik)



Die Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) hat 2026 den Ordner „Boden und Wirbellose entdecken“ herausgebracht. Er enthält theoretische Einführungen zu beiden Themenbereichen, Zuordnungen zum LehrplanPLUS sowie sehr ausführliche Unterrichtsmodule mit vielen praktischen Anleitungen und einfachen Bestimmungsschlüsseln sowie viele nützliche Links. Der Ordner sollte in jeder Fachschafts-Sammlung stehen.

Im Folgenden gebe ich keine Einzelhinweise auf Materialien in diesem Ordner; bitte selbst nachschauen!

Allgemeine Vorbemerkungen

Begrifflichkeit

Der LehrplanPLUS verwendet den Fachbegriff „Wirbellose“, den ich in der Schule für problematisch halte, denn er klingt so, als wäre er dem Fachbegriff „Wirbeltiere“ ebenbürtig und würde folglich einen einzigen Tierstamm bezeichnen. Ich schlage deshalb vor, im Unterricht die Formulierung „Wirbellose Tiere“ zu verwenden und mindestens zwei Stämme zu nennen (Gliedertiere und z. B. Ringelwürmer).

Gliederung des Unterrichts

Den Schülern sind aus der Unterstufe Bau und Lebensweise von Wirbeltieren vertraut, wobei der Mensch den zentralen Modellorganismus darstellt. Während ich es in der 6. Klasse für teilweise problematisch halte, die Wirbeltiere streng nach einem allgemein-biologisch gegliederten Unterrichtsplan zu behandeln (vgl. Skript zur 6. Klasse), bin ich überzeugt, dass diese Gliederung in der 9. Klasse gut funktioniert, weil die Schüler bereits über Vorwissen zu Bau, Lebensweise, aber auch Systematik verfügen. Ich folge deshalb in diesem Skript der Einteilung des LehrplanPLUS.

Ziel des Unterrichts ist es nicht, den Bauplan der Insekten möglichst vollständig vorzustellen (Abbildungen, die genau dies suggerieren, finden sich in der Schulbüchern), sondern vielmehr exemplarisch für die im LehrplanPLUS aufgeführten Teilbereiche Vergleiche anzustellen und andere wegzulassen. Die Beschriftung eines Längsschnitts durch ein Insekt erübrigt sich also.

Kumulatives Arbeiten

Es ist sinnvoll, am Anfang dieses Lernbereichs ein Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen auszuteilen, das schrittweise als vorbereitende Hausaufgabe bearbeitet wird, wenn das entsprechende Wissen für die nächste Stunde benötigt wird, in der Regel für den Vergleich von Wirbeltieren und wirbellosen Tieren.

Arbeitsblatt: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Formenkenntnis und Systematik

Bei vielen Aspekten in diesem Kapitel sollen konkrete Formen (Arten, Gattungen, Familien, Ordnungen) vorgestellt werden; der LehrplanPLUS verlangt dies explizit in jedem einzelnen Abschnitt unter „Inhalte zu den Kompetenzen“ und betont damit die Wichtigkeit. Dabei soll die Vielfalt der Anpassungen im Vordergrund stehen. Auf keinen Fall sollten Monographien gelehrt werden wie „Der Gelbrandkäfer“, denn die werden schnell sehr langweilig bei Tieren, die den Schülern nicht so vertraut sind wie Vögel oder Säugetiere. Die LehrplanPLUS-Formulierung „ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis“ bedeutet also nicht, dass dafür eigene Stunden anzusetzen wären.

In diesem Zusammenhang führen die Schüler anhand von Präparaten, Modellen bzw. Abbildungen einige Bestimmungen durch, wozu sie stark vereinfachte Bestimmungshilfen verwenden. Die Artenvielfalt allein bei Insekten ist derart enorm, dass selbst die meisten Biologen keine rechte Vorstellung davon haben. Deshalb ist es wichtig, dass die Schüler zumindest einen kleinen Einblick in die Bandbreite der Variabilität innerhalb der wirbellosen Tiere erhalten, v. a. innerhalb der Insekten. Ich füge als fünften Abschnitt eine kleine Übersicht zur Systematik an, in der die abgestufte Ähnlichkeit als Kriterium der Einordnung betont wird (dies wird im Lernbereich 1 verlangt, im Lernbereich 5 aber nicht mehr aufgeführt).

Eigene Beobachtungen

In den meisten Fällen wird man zur Beobachtung an wirbellosen Tieren wohl auf Filme zurückgreifen müssen, ggf. auch auf Abbildungen und Texte; eindrucksvoller sind aber reale Tiere. Getrocknete Bienen, über die Jahre gesammelte Exuvien, im Freiland gefangene Insekten wie Blattkäfer, aus dem Boden gegrabene Regenwürmer bzw. käuflich erworbene Kompostwürmer oder gar in der Schule gehaltene lebende Insekten wie Bienen oder Stabschrecken sind motivierende und ergiebige Untersuchungsobjekte.

Die häusliche Untersuchung zur Entwicklung von Mehlkäfer-Larven („Mehlwürmer“) zieht sich über mehrere Wochen hin und sollte deshalb möglichst frühzeitig angesetzt werden, am besten schon weit vor dem Einstieg in den Lernbereich Wirbellose.

Arbeitsblatt dazu: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Wesentlich ist, dass die Schüler eigene Beobachtungen anstellen, wofür sie eindeutige Anweisungen benötigen, deren Kriterien von der Lehrkraft vorgegeben oder von den Schülern erarbeitet werden. Dabei kommen auch Lupe, Binokular und Mikroskop zum Einsatz (wobei die meisten Insektenstrukturen, die für den Unterricht relevant sind, zu groß für das Mikroskop sind).

Vergleiche

In den Kompetenzerwartungen fordert der LehrplanPLUS, es sollen einerseits die vorgestellten Formen der wirbellosen Tiere untereinander verglichen werden, andererseits wird der Vergleich zwischen Wirbeltieren und Insekten (bzw. Gliedertieren) verlangt, denn beide Tiergruppen zeigen Anpassungen an die selben Anforderungen, aber meist mit sehr unterschiedlichen Lösungsstrategien. Es hat sich bewährt, in humorvoller und augenzwinkernder Weise die Wirbeltier-Anpassungen als „normal“ anzusehen (weil wir Menschen als Modellorganismus des Unterrichts schließlich meinen, im Zentrum der Betrachtungen zu stehen und damit die Norm festzulegen), während die Anpassungen der Gliedertiere als die „verrückte“ Version gelten: Außen- statt Innenskelett, Chitinstrukturen statt Knochen, Innen- statt Außenmuskulatur, Hauptnervenstrang am Bauch statt am Rücken, Blutpumpe am Rücken statt tendenziell bauchseitig, offener statt geschlossener Kreislauf, Transport der kompletten Luft bis zur letzten Zelle in dünnen Röhren statt Sauerstofftransport im Blut, sechs Extremitäten statt vier, klein statt groß, viel zu viele Nachkommen usw. Schüler verstehen den Witz dabei ganz gut, aber auch die Kritik an allzu anthropozentrischer Betrachtungsweise, die darin steckt. Diese Kritik

spricht auch Lewis Carroll in seinem 1865 erstmals veröffentlichten Roman „Alice in Wonderland“ im Dialog zwischen der Cheshire-Katze (Grinsekatze) und Alice an:

„Woher weißt du, dass ich verrückt bin?“ fragte Alice. „Du musst es sein,“ sagte die Katze, „oder du wärest nicht hierher gekommen.“ Alice dachte nicht, dass dies irgendetwas beweisen würde. „Woher weißt du, dass du verrückt bist?“ – „Fangen wir mal so an,“ sagte die Katze. „Ein Hund ist nicht verrückt. Stimmt’s?“ – „Ja!“ – „Gut, also,“ fuhr die Katze fort. „ein Hund grummelt, wenn er ärgerlich ist, und bewegt den Schwanz hin und her, wenn er sich freut. Nun, ich grumme, wenn ich mich freue und bewege meinen Schwanz hin und her, wenn ich ärgerlich bin. Deshalb bin ich verrückt.“

Übersetzung aus dem englischen Original: Thomas Nickl

Evolution

Wenn das Kapitel Evolution gemäß der Reihenfolge im LehrplanPLUS bereits behandelt ist, wenden die Schüler möglichst oft ihr Vorwissen an, um Selektionsvorteile zu benennen und beobachtete Ähnlichkeiten zu interpretieren:

- Ähnlichkeit aufgrund von Anpassungen an ähnliche Anforderungen bzw.
- Ähnlichkeit aufgrund von Verwandtschaft.

Auch der umgekehrte Weg ist sinnvoll, indem die Schüler zunächst die sehr vielfältigen Formen bei wirbellosen Tieren vergleichen und deren Ähnlichkeiten interpretieren und erst im Nachgang die theoretischen Grundlagen der Evolution erarbeiten (vgl. dazu die Anmerkungen im Skript zum Kapitel Evolution).

Für evolutives Verständnis ist wesentlich, dass die Schüler klar unterscheiden zwischen der enormen Variabilität (Artenfülle) innerhalb der Insekten bzw. Gliedertiere einerseits und der nicht zu unterschätzenden Variabilität innerhalb der selben Insekten-Art andererseits (also immer wieder betonen, dass das im Bestimmungsbuch abgebildete Exemplar nur ein Beispiel ist und viele seiner Artgenossen etwas anders aussehen!).

Motivation

Erfahrungsgemäß kommen die wirbellosen Tiere bei den Schülern gut an, v. a. wenn dabei eigene Beobachtungen und Untersuchungen eine große Rolle spielen. Allerdings führt jeglicher Versuch, irgendeine Art von vollständigem Überblick erreichen zu wollen, sehr schnell zu Desinteresse. In der sehr begrenzten zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit ist ohnehin nur für exemplarische Schlaglichter und ausgewählte Schwerpunkte Platz.

Hier zur Erinnerung die für dieses Kapitel besonders wichtigen Kompetenzerwartungen aus dem Lernbereich 1 des LehrplanPLUS für die 9. Klasse (weil sie für alle Abschnitte dieses Kapitels gelten, werden sie weiter unten nicht in die Tabellen aufgenommen):

Lernbereich 1
Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
beobachten Lebewesen und ihre Lebenserscheinungen auch in der natürlichen Umgebung anhand von vorgegebenen und eigenen Kriterien. Sie dokumentieren überwiegend selbständig ihre Beobachtungen, werten sie aus und veranschaulichen sie.
verwenden ein Lichtmikroskop oder Binokular, um Präparate zu betrachten, und erstellen selbständig beschriftete Zeichnungen der betrachteten biologischen Strukturen.
vergleichen Lebewesen und deren Merkmale kriteriengeleitet, um Rückschlüsse auf die Ursachen von Ähnlichkeiten zu ziehen.
systematisieren u. a. Insekten mithilfe ausgewählter Bestimmungshilfen (z. B. Bestimmungsbuch, digitales Nachschlagewerk) und sind sich dadurch der Artenvielfalt der Wirbellosen bewusst.

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 5 „Biodiversität bei Wirbellosen – Variabilität und Anpasstheit“ ca. 16 Unterrichtsstunden vor. Diese Zeit reicht aber beim besten Willen nicht aus, ich komme auf mindestens 18 Unterrichtsstunden (bei kooperativen Schülern). Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan:

Nummer	Abschnitte	Stunden
4.1	Aktive Bewegung	4,5
4.2	Stoffwechsel	4
4.3	Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung	3,5
4.4	Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion	5
4.5	Die Vielfalt im Stamm der Gliedertiere	1
	Summe	18

In der tabellarischen Darstellung des LehrplanPLUS für die 9. Klasse wurden die Dezimalbrüche bei den Stundenangaben aufgerundet, weil dort Abschnitt 4.5 nicht auftaucht, so dass die Stundensumme gleich bleibt.

4 Wirbellose Tiere (16 h)

Wie eingangs bei den Anmerkungen erläutert, ersetze ich den Begriff „Wirbellose“ durch „wirbellose Tiere“. Dies sollte gleich zu Anfang für die Schüler geklärt werden.

Einen möglichen Einstieg bietet der Schutz der Wildbienen oder die Bestands-Einbrüche bei Honigbienen. Auch der enorme Rückgang an Individuenzahlen bei Insekten bietet sich an, der sich u. a. darin zeigt, dass die Windschutzscheiben von Autos heute auch bei langen Fahrten über Land sauber bleiben, während sie vor einigen Jahrzehnten nach einer Stunde bereits übersät waren mit Insektenleichen.

Ein andere Möglichkeit ist eine erste Erforschung der Andersartigkeit von Insekten im Vergleich zu Wirbeltieren anhand auffälliger Merkmale wie dem Chitinpanzer, der Grobeinteilung des Körpers, der hohen Vermehrungsrate oder der geringen Körpergröße.

Auf keinen Fall sollten in einem Längsschnitt durch ein Insekt viele Organe und Körperteile beschriftet werden!

Lebende wirbellose Tiere an der Schule: Stabschrecken und Regenwürmer können problemlos einige Zeit lang in der Schule gehalten werden, um der unmittelbaren Anschauung zu dienen. Bienenstöcke findet man an immer mehr Schulen. Hinweise dazu im Skript „Allgemeine Hinweise“ für die 9. Klasse.

4.1 Aktive Bewegung (4,5 h)

Vor allem, wenn die Ikons für die unterschiedlichen Anforderungen an Lebewesen bei der Menschenkunde in der 5. Klasse und bei den Wirbeltieren in der 6. Klasse bereits verwendet wurden, sollten sie unbedingt auch bei den wirbellosen Tieren eingesetzt werden, um zu verdeutlichen, dass die Anforderungen die gleichen sind, aber die Anpassungen in den verschiedenen Tiergruppen teilweise sehr unterschiedlich ausfallen.



[Link zum Icon](#) (Die Ikons finden Sie auch auf meiner Webseite unter Materialien > Mittelstufe LehrplanPLUS > ziemlich weit oben vor den Materialien für die Klassenstufen.)

Wiederholung des Grundbauplans der Wirbeltierextremität

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 1: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Lernbereich 5.1: Aktive Bewegung	
Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
gegliedertes Außenskelett aus Chitin, Muskulatur, ggf. z. B. Hydroskelett und Muskulatur bei Ringelwürmern	vergleichen das Skelett und den Bewegungsapparat von Insekten mit denen von Wirbeltieren und ggf. mit denen einer weiteren Gruppe der Wirbellosen hinsichtlich ihrer Anpassungen. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpassung.
Anpassung der Bewegung bei Insekten an Land, in der Luft und im Wasser	
ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis	vergleichen die Anpassung der aktiven Bewegung bei Insekten an verschiedene Lebensräume.

In diesem Abschnitt wird eine Reihe von Insektenformen namentlich vorgestellt, ggf. auch mit Erkennungsmerkmalen.

4.1.1 Die Gliederung des Bienenkörpers (0,5 h)

Ich habe als Beispiel die **Honigbiene** (*Apis mellifera*; obwohl der Name wenig sinnvoll ist, denn Bienen tragen den Honig nicht, sie stellen ihn her, weshalb der alte Artnamen *mellifica* der stimmigere war) gewählt, weil tote Bienen leicht in großer Menge zu beschaffen sind. Nicht alle Bienen überwintern, viele sterben im Herbst und sind beim Imker erhältlich. Sie sollten vor Staub geschützt und trocken aufbewahrt werden; nicht in den Kühlschrank stecken, denn dort laufen Fäulnisprozesse ab, zwar langsam, aber effektiv, so dass die Tiere nach einiger Zeit übel riechen. Getrocknete Tiere sind geruchsfrei. An lebenden Insekten lässt sich der Körperbau nicht so gut untersuchen, an Käfern nur schlecht, weil die Brust kaum erkennbar ist.

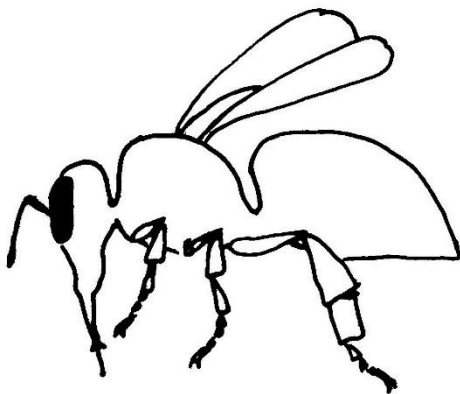
Praktikum:

Die Schüler erhalten ein totes Insekt, Lupe bzw. Binokular und Präpariernadeln oder ersatzweise Glimmspäne, feine Pinzetten, ggf. auch Millimeterpapier-Stückchen zum Abmessen der Dimensionen.

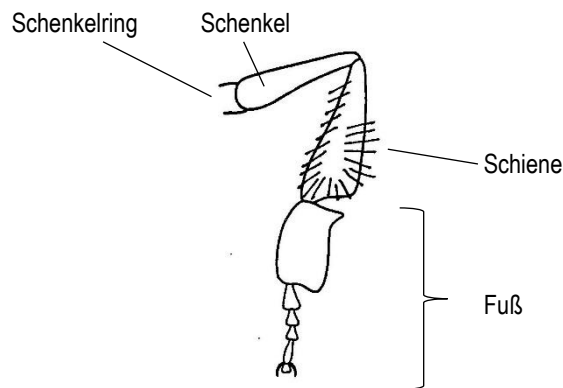
Sie sollen Vorschläge für die Gliederung des Insektenkörpers erarbeiten. Dabei kann auch angesprochen werden, dass der Name „**Insekt**“ vom lateinischen *insecare*, einschneiden stammt, weil die Stellen zwischen den Chitin-Teilen, wo die Gelenkhäute sitzen, so aussehen, als wären hier Einschnitte. Auch der Name „**Gliedertiere**“ kann hier eingeführt werden: Der Körper ist aus mehreren Gliedern zusammengesetzt.

Die Schüler zeichnen eine Freihandskizze, in der folgende Teile beschriftet werden:

- **Kopf** mit zwei großen Augen und zwei Fühlern (ggf. Begriff Antenne)
- **Bruststück** mit 2 Paar Flügeln und 3 Paar Beinen
- **Hinterleib** ohne Körperanhänge (bei der Biene); auf der Bauchseite ist gut sichtbar, dass der Hinterleib aus mehreren Abschnitten (Segmenten) besteht (es sind 7, aber das ist im Schulbetrieb nur sehr schwer zu sehen, also Zahl weglassen)



[Link zur Abbildung](#)



[Link zur Abbildung](#)

Alle Beine sind gleichartig aufgebaut (Erinnerung daran, dass bei Landwirbeltieren Arme und Beine den gleichen Grundbauplan besitzen wie auch die Extremitäten bei unterschiedlichen Arten). Es ist sinnvoll, gleich zu Beginn den Grundbauplan der **Insekten-Extremität** zu benennen und zu skizzieren:

- Hüfte
- Schenkelring
- Schenkel
- Schiene
- Fuß aus mehreren Gliedern (5)

Bei der Honigbiene können die Schüler an dieser Stelle die Unterschiede bei der Beingestalt untersuchen (Schiene und erstes Fußglied sind bei den Hinterbeinen deutlich verbreitert, um dort den Pollen für den Transport zu befestigen).

4.1.2 Das Insekten-Skelett (0,5 h)

Die Schüler erarbeiten die Unterschiede zum Skelett der Wirbeltiere:

- Außenskelett
- elastisches, aber stabiles Material: das Chitin
- Platten und Röhren
- verbunden durch Gelenkhäute

Eigenschaften des Chitinskeletts:

- biegsam, also nicht so brüchig wie Knochen
- schützt den Körper vor Außeneinwirkungen wie Wasser, Austrocknung, Chemikalien, kleinere mechanischen Einwirkungen
- gibt dem Körper die Form
- bietet Ansatzstellen für die Muskulatur
- bietet Ansatzstellen für Sinnesorgane (Sinnesborsten)

4.1.3 Der Bewegungsapparat bei Insekten (0,5 h)

Beschriftete Skizzen mit erschlafften bzw. angespannten Muskeln beispielsweise zwischen den Chitinröhren von Schenkel und Schiene (dieses Vorwissen wird bei der Betrachtung der Flugmuskulatur kumulativ eingesetzt).

Gemeinsamkeit mit den Wirbeltieren:

- Die Muskeln können sich nur aktiv zusammenziehen, aber nicht aktiv ausdehnen =>
- Gegenspielerprinzip von Beuger- und Strecker-Muskel.

Unterschiede zu den Wirbeltieren („verrückte“ Ausprägungen bei Gliedertieren):

- Außenskelett
- Innenmuskulatur

Ergebnis des Vergleichs:

Gleiche Anforderungen an die Beweglichkeit, aber unterschiedliche Arten der Anpasstheiten.

Praktische Hausaufgabe:

Die Schüler basteln ein einfaches Modell für die Tätigkeit von Beuger- und Strecker-Muskel beim Insekt (z. B. aus Klopapierrollen und Kordel).

4.1.4 Fortbewegung beim Regenwurm (1 h)

Hinweis: Der LehrplanPLUS schreibt die Betrachtung der Fortbewegung beim Regenwurm nicht zwingend vor, empfiehlt sie aber, weil sie einen weiteren Einblick in die große Variabilität der Anpasstheiten aufweist.

In diesem Skript werden Untersuchungen und Betrachtungen zum Regenwurm bei jedem einzelnen biologischen Aspekt aufgeführt. Alternativ können die Ringelwürmer im Kapitel Wirbellose auch ganz weggelassen und stattdessen ganzheitlich im Kapitel Boden besprochen werden. Die zweite Alternative halte ich für sinnvoller, weil die Tiere nur ein Mal bereit gestellt werden müssen und das Vorwissen kumulativ im neuen Kontext angewendet wird.

Beachten Sie die Hinweise zu Untersuchungen an Ringelwürmern im Skript „Allgemeine Vorbemerkungen“!

Der Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) ist leicht zu beschaffen (Wiese oder Gartenboden mit einem Spaten aufgraben; wenn es nicht extrem trocken ist, finden sich bald Regenwürmer). Sie werden zwischen Blättern feucht, dunkel und kühl für kurze Zeit aufbewahrt und nach dem Praktikum am besten wieder dort ins Freie gelassen, wo sie gefunden wurden. Alternativ werden käufliche Kompostwürmer (nicht Angelwürmer!) verwendet.

Praktikum:

Jede Arbeitsgruppe setzt einen Wurm auf ein weißes Blatt Papier und verfolgt seine Bewegungen. Ggf. wird mit Bleistift nachgefahren, wo sich der Kopf bzw. das Schwanzende bewegt hat. Gleichzeitig beobachten die Schüler die Art der Fortbewegung.

Die Tiere dürfen nicht gestresst oder verletzt werden. Nicht auf den Overhead-Projektor legen, da sie die Hitze und das starke Licht nicht ertragen.

Im Vorgriff auf das Thema Fortpflanzung sollten die Schüler bei geschlechtsreifen Exemplaren das Clitellum beachten (den Gürtel zwischen dem 27. und 35. Segment).

Wenn an der Schule im Schaukasten eine Regenwurm-Küvette eingerichtet wird, können die Tiere nach der Untersuchung im Unterricht dort hinein gegeben werden. ALP 10_2_V16.

Arbeitsblatt zum Praktikum mit Ringelwürmern [[word](#)] [[pdf](#)]

Auswertung:

- kein festes Chitin-Außenskelett, nur eine sehr dünne Chitin-Haut
- Hydroskelett (*hydor*, altgr.: Wasser): Ein Muskelschlauch ist innen prall mit einer Flüssigkeit gefüllt, die nicht zusammen gedrückt werden kann; wenn sich der Muskelschlauch zusammenzieht, verformt die Flüssigkeit den Schlauchabschnitt z. B. durch Streckung (vermutlich die älteste Form eines Skeletts an Land)
- keine Extremitäten
- Fortbewegung durch abwechselndes Zusammenziehen und Ausdehnen des schlauchförmigen Körpers in Längsrichtung durch Längs- und Ringmuskeln (der Kontakt zum Untergrund wird von feinen Borsten übernommen)
- gegliederter Körper: viele Glieder (Segmente), gleichartig bis auf Kopf und Schwanz

Hinweis auf den Namen „**Ringelwürmer**“: Die Segmente sehen so aus wie Ringe.

Hinweis auf die Ähnlichkeiten im Grundbauplan mit den Insekten (ebenfalls aus Segmenten bestehend, Außenskelett aus Chitin, Innenmuskulatur).

Ggf. Vergleich mit der Fortbewegung bei Schlangen, bei denen aber die Länge der Körperabschnitte gleich bleibt (wegen des Innenskeletts aus Knochen) und der Körper seitliche Bewegungen ausführt.

Weitere Eigentümlichkeiten des Regenwurm-Bauplans bleiben unberücksichtigt.

4.1.5 Fortbewegung von Insekten an Land (0,5 h)

Der Lehrplan schreibt hier ausdrücklich „Insekten“, nicht Gliedertiere, nicht Wirbellose.

Wenn zuvor noch kein Praktikum durchgeführt wurde, sollten die Schüler spätestens jetzt Insektenkörper untersuchen. Ansonsten verwenden sie ihre Erkenntnisse aus ihren früheren Untersuchungen. Sie sollten ergänzt werden durch Beobachtungen der Bewegungen, entweder an lebenden Insekten (z. B. Käfer, die sich oft im Gebüsch finden lassen) oder anhand von Film-Material. Wenn die Schule einen Bienenstock hat, kann die Fortbewegung bei Bienen beobachtet werden, die sich z. B. in einer Becherlupe befinden.

Ergebnisse:

- Das Grundprinzip der schreitenden Fortbewegung an Land ist bei Insekten ähnlich wie bei Säugetieren: Die einen Beine verharren am Boden, die anderen werden nach vorne geschwungen.
- Dies wird dadurch erleichtert, dass insgesamt 6 Beine existieren, so dass die übrigen Beine mühelos und sehr schnell ausgleichen können, wenn 1 Bein abrutscht oder das Gelände sehr uneben ist.

Angepasstheiten an besondere Fortbewegungsarten (ähnlich wie bei Säugetieren):

- **Laufbein**, z. B. bei Käfern, Fliegen, Bienen: lange Glieder, um pro Schritt eine relativ große Strecke zu überwinden
- **Sprungbein**, z. B. bei **Heuschrecken**: Hinterbeine mit sehr langen Gliedern für eine große Hebelwirkung und mit sehr starker Muskulatur (erkennbar an der Dicke des Schenkels); der Sprung erfolgt durch plötzliche Streckung des Gelenks zwischen Schenkel und Schiene (keine Einzelheiten des Mechanismus); vergleichbar dem Känguru. Hinweis darauf, dass der Grundbauplan des Sprungbeines der gleiche ist wie beim Laufbein, nur die Ausgestaltung unterscheidet sich (wie im Skript zur Evolution erwähnt, nennt der LehrplanPLUS für die 9. Klasse den Begriff „Homologie“ an keiner Stelle => darauf verzichten).

4.1.6 Fortbewegung von Insekten in der Luft (1 h)

An dieser Stelle wird auf jeden Fall die Mechanik der indirekten Flugmuskulatur behandelt, am besten mit einem einfachen **Modell**: vgl. **ALP** Blatt 08_3_v01 und v02.

Wenn die Schule einen Bienenstock hat, können Flugmanöver am Flugloch beobachtet werden.

Sinnvoll ist hier der Einsatz von hochauflösenden Filmaufnahmen in Zeitlupe, z. B. im **historischen Film**:

<https://av.tib.eu/media/12346?hl=Flug+Insekten> (Flug der Honigbiene, ab 00:50 mit 600 Bildern pro Sekunde, schwarzweiß, ohne Ton, von H. Kuczka und R. Dröscher, Uni FFM, 1969-1970; Institut für wissenschaftlichen Film)

Vergleich mit der Flugmechanik beim Vogel:

- in beiden Fällen Heber- und Senker-Muskel
- Vogel: direkte Flugmuskulatur, die über Sehnen mit dem Oberarmknochen verbunden ist; Insekt: **indirekte Flugmuskulatur**, die mit den Chitinplatten des Brustteils verbunden ist, die Flügel werden indirekt durch die Bewegung der Bauch- und Rückenplatte bewegt, d. h. dass sich alle vier Flügel in gleicher Weise auf und ab bewegen.
- dadurch erheblich mehr Flügelschläge beim Insekt (so hoch, dass die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde in der Regel im hörbaren Bereich liegt: Hummeln brummen, Fliegen summen)

Die Flugmechanik der Insekten wird in beschrifteten Skizzen gesichert.

Arbeitsblatt zur indirekten Flugmuskulatur bei Insekten: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Links zu den Abbildungen zur indirekten Flugmuskulatur: [Längsschnitt](#); [Querschnitte](#)

Hinweis: Flugmechanik ist eine ausgesprochen komplexe Angelegenheit und kann in der Schule auch nicht annähernd umfassend besprochen werden. In der 9. Klasse genügt die Mechanik, mit der die Flügel auf und ab bewegt werden. Verdrehungen der Flügel oder gar die unerwartete Form der Insektenflügel (sie sind im Gegensatz zum Vogelflügel nicht gewölbt, sondern eben) werden nicht thematisiert. Zur eigenen Information: Während der Vogelflügel den Auftrieb durch den Luftstrom erzeugt, entsteht der Auftrieb beim Insektenflügel vor allem durch

Wirbelbildung. Die beliebte Behauptung, dass Hummeln „eigentlich“ gar nicht fliegen dürften, beruht wohl darauf, dass Prinzipien der Vogelflugmechanik unzulässigerweise auf Insekten angewendet werden. Ein wesentlicher Unterschied besteht in der Dimension: Während für die relativ großen Vögel Luft leicht beweglich ist, ist sie für die kleinen Insekten ziemlich zäh, was bedeutende Auswirkungen auf die Flugmechanik hat.

Je nach Interessenlage der Schüler (ggf. auch der Lehrkraft) und der zur Verfügung stehenden Zeit kann auch die **direkte Flugmuskulatur** angesprochen werden. Sie verhilft den **Libellen** zu ihren atemberaubenden Flugkünsten: extreme Beschleunigung, plötzliches Stoppen, Haken schlagen, sehr hohe Geschwindigkeiten, auf der Stelle fliegen und dabei elegant drehen, Beutefang im Flug; bei Großlibellen wie der Königslibelle kann man beobachten, wie der Revierbesitzer den Rivalen attackiert, indem er im Flug mit seinen Flügeln auf dessen Flügel prügelt, was als lautes „Prrrt“ zu hören ist, ohne dass einer der beiden herunter fallen würde.

Weil jeder Flügel direkt mit seinen Muskeln verbunden ist, können alle vier Flügel unabhängig voneinander bewegt werden. Dies ist in hochauflösenden Zeitlupen-**Filmen** zu sehen wie in:

<https://av.tib.eu/media/9203> (historische Aufnahmen der einheimischen Großlibelle *Aeschna cyanea* ab 00:40 mit 460 Bildern pro Sekunde, farbig, ohne Ton, von G. Rüppel, TU Braunschweig, 1981; Institut für wissenschaftlichen Film, 1982)

4.1.7 Fortbewegung von Insekten im Wasser (0,5 h)

Obwohl es auch hierbei zahlreiche Varianten gibt, genügt als Beispiel der **Gelbrandkäfer** (*Dytiscus marginalis*) mit seinen **Schwimmbeinen**: Bei den Hinterbeinen sind Schiene und Fuß durch viele parallel abstehende Chitin-Borsten stark verbreitert und bieten somit wie Paddel oder Flossen einen starken Widerstand gegen das Wasser.

Vergleich mit Flossen der Fische bzw. Schwimmbeinen bei Enten.

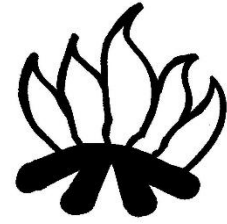
Hinweis darauf, dass das Schwimmbein den gleichen Grundbauplan wie das Lauf- oder Sprungbein besitzt, aber eine andere Ausgestaltung.

Wer es sich leisten kann und will, eine weitere Art zu besprechen, dem sei der **Rückenschwimmer** (*Notonecta glauca*) empfohlen, der sich durch ruckartige Bewegung seiner stark verlängerten Hinterbeine schnell fortbewegt, wobei er mit der Bauchseite nach oben direkt unter der Wasseroberfläche „hängt“. Praktikum wird nicht empfohlen, da er empfindlich stechen kann, was ihm auch den Namen Wasserbiene eingebracht hat.

4.2 Stoffwechsel (4 h)

[Link zum Icon](#)

Für den Bereich Stoffwechsel stehen Ihnen auf meiner Webseite auch alternative Gestaltungen zur Verfügung (es sollte aber das gleiche Icon wie in der Unterstufe verwendet werden).



Lernbereich 5.2: Stoffwechsel – Stoff- und Energieumwandlung	
Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
Tracheensystem, offener Blutkreislauf, ggf. z. B. Hautatmung bei Ringelwürmern Nutzung unterschiedlicher Nahrungsquellen: Anpassungen der Mundwerkzeuge, positive und negative Folgen für den Menschen (z. B. Bestäubung von Pflanzen, Destruenten; Übertragung von Krankheiten, Nahrungskonkurrenz) ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis	vergleichen Vertreter der Insekten mit Wirbeltieren und ggf. Vertretern einer weiteren Gruppe der Wirbellosen hinsichtlich ihrer Anpassungen zum Stofftransport und -austausch. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpassung. vergleichen die Anpassungen der Mundwerkzeuge bei Insekten an verschiedene Nahrungsquellen und schätzen die Auswirkungen dieser Nutzung unterschiedlicher Nahrungsquellen auf den Menschen ab.

Kurze Wiederholung zum Begriff „Stoffwechsel“:

- Stoff- und Energie-Umwandlung
- autotropher Stoffwechsel (Photosynthese)
- heterotropher Stoffwechsel (Zellatmung, Gärung)

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 2: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

4.2.1 Atmung und Kreislauf bei Insekten (1 h)

Kurze Wiederholung der Atmung bei Wirbeltieren:

- Atmungsorgane: Lunge, Haut, Kiemen
- Gasaustausch von Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid im Atmungsorgan und an allen lebenden Zellen
- Transport der Atemgase im Blut (Sauerstoff vorwiegend gebunden an Hämoglobin in den roten Blutzellen; Kohlenstoffdioxid vorwiegend gelöst im Blutplasma)

Einstieg z. B.: Insektenblut ist nicht rot (was aus erschlagenen Steckmücken-Weibchen rot hervorquillt, ist das zuvor gesaugte Menschenblut) => kein Hämoglobin im Blut:

- => Hypothese 1: Das Insektenblut transportiert keinen Sauerstoff.
- => Hypothese 2: Ohne diese Aufgabe kann das Kreislaufsystem sehr einfach gestaltet sein.
- => Hypothese 3: Der Sauerstoff muss durch ein anderes Leitungssystem zu den Zellen gelangen.

Diese Gedankengänge können die Schüler – bei sanfter Führung – selbst erarbeiten und diese Hypothesen anschließend überprüfen, indem sie Materialien auswerten (Schulbuch, Filme).

a) Blutkreislauf

Ergebnisse („verrückte“ Ausprägungen bei Insekten):

- Insektenblut transportiert Nährstoffe, Botenstoffe (Hormone), aber weder Sauerstoff noch Kohlenstoffdioxid (der Begriff „Insektenblut“ muss nicht durch den Fachbegriff „Hämolymphe“ ersetzt werden).
- Weil Insektenblut kein Hämoglobin enthält, ist es nicht rot.
- offenes Blutkreislaufsystem: Das Insektenblut fließt größtenteils frei zwischen den Zellen und nur auf bestimmten Strecken in Blutgefäßen (wenig präzise Methode).
- Röhrenherz: am Rücken liegendes, röhrenförmiges Herz mit seitlichen Öffnungen, durch die das Blut eintritt (auf den Fachbegriff „Ostium, -en“ kann verzichtet werden); bei Kontraktion wird das Blut nach vorne gepumpt (dabei schließen sich die seitlichen Öffnungen; klappenartige Ventile im Röhrenherz verhindern den Rückfluss)
- Blutfluss: Durch die Aorta wird das Blut in den Kopf befördert; das Blut durchströmt dann frei (außerhalb von Blutgefäßen) den Kopf, gelangt in die Brust und schließlich in den Hinterleib zurück.

b) Atemgase

Ergebnisse („verrückte“ Ausprägungen bei Insekten):

- Die Außenluft tritt durch seitliche Öffnungen am Hinterleib ein (auf den Fachbegriff „Stigma, -ta“ kann verzichtet werden).
- Von diesen Öffnungen gehen Röhren aus, die sich stark verzweigen und in alle Teile der Körpers ziehen. Fachbegriff: die **Trachee, -en**
- Wie Luftröhre, Bronchien usw. beim Menschen sind die Tracheen durch ringförmige Verdickungen (Chitin-Spannen) verstärkt, damit sie bei Unterdruck nicht kollabieren.
- Durch Volumen-Erweiterung des Hinterleibs werden die Tracheen gedehnt, so dass Luft einströmt.
- Durch Volumen-Kontraktion des Hinterleibs werden die Tracheen gedrückt, so dass Luft ausströmt. (Die entsprechenden Pumpbewegungen des Hinterleibs können bei vielen Fluginsekten gut beobachtet werden, kurz bevor sie losfliegen.)
- Wenn Landinsekten ins Wasser fallen, werden die Tracheen-Öffnungen verschlossen.

Auswirkung auf die Körpergröße:

Weil die Bewegungsgeschwindigkeit der Luft in den sehr dünnen Tracheen nur sehr gering ist, können Insekten nicht beliebig groß werden, denn bei zu großen Transportstrecken wäre die Sauerstoff-Versorgung v. a. der Kopforgane nicht mehr gewährleistet.

Zu den größten bekannten Insekten zählt die Riesenlibelle *Meganeura* aus der Karbonzeit (ca. 300 Millionen Jahre; ein lebensgroßes Modell steht im Münchner Museum Mensch und Natur). Bei einem Rumpfdurchmesser von 2,8 cm erreichte sie Flügelspannweiten bis zu 70 cm. Das war nur deshalb möglich, weil der Sauerstoffgehalt der Luft damals erheblich höher war als heute (im Oberkarbon zeitweise bis zu 35 %).

Diese Einschränkung wird zusätzlich dadurch verschärft, dass die Tracheen durch den sehr dünnen Hals geführt werden müssen, bei vielen Arten zusätzlich durch eine sehr dünne „Wespentaille“.

Ein Schülerpraktikum zum Atmungs- und Kreislaufsystem der Insekten wird nicht empfohlen, weil es schwierig ist, genügend große Insekten zu bekommen, und weil eine Präparation die Schüler zu stark herausfordern würde.

4.2.2 Atmung und Kreislauf bei Ringelwürmern (0,5 h)

Hinweis: Der LehrplanPLUS schreibt dieses Thema nicht zwingend vor, empfiehlt es aber, weil es einen weiteren Einblick in die große Variabilität der Anpassungen aufweist. Ggf. in das Kapitel „Boden“ verlagern.

Material-Recherche (Praktikum ist hier nicht angebracht) z. B. zum Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) ergibt folgende **Ergebnisse**, die teilweise an die Verhältnisse bei Amphibien erinnern (die Atmungs-Kreislauf-Systeme von Ringelwürmern und Wirbeltieren haben sich aber unabhängig voneinander entwickelt, was daran zu erkennen ist, dass die einzelnen Bauteile unterschiedlich gestaltet sind):

- geschlossener Blutkreislauf mit Hauptgefäßen an Bauch und Rücken
- Das Blut ist rot, denn es enthält Hämoglobin (gelöst im Blutplasma), das für den Sauerstoff-Transport zuständig ist.
- Das Hauptgefäß am Rücken ist muskulös und pumpt als Röhrenherz das Blut nach vorne.
- Ein stark verzweigtes System von Adern verteilt das Blut im ganzen Körper.
- Viele Kapillaren im Hautmuskelschlauch nehmen über die Haut Sauerstoff aus der Luft auf und geben Kohlenstoffdioxid an die Luft ab. Ein eigenes Atmungsorgan fehlt also.
- Damit die Hautatmung effektiv abläuft, muss die Haut feucht sein.
- Hautatmung ist deshalb möglich, weil die Chitinhaut sehr dünn ist (Hautatmung wäre bei Insekten mit ihren dicken Chitinpanzern also nicht möglich).
- Im Bauchgefäß wird das Blut gesammelt.
- In einigen Segmenten (7 bis 11) befördert je ein Paar schlauchförmiger Seitenherzen (Lateralherzen) das Blut vom Bauchgefäß in das Rückenherz.

Von diesen Nennungen können auch welche weggelassen werden, denn es geht in erster Linie nicht um ein vollständiges Verständnis für das Atmungs-Kreislauf-System beim Regenwurm, sondern um das Staunen über die Variabilität der Anpassungen sowie um logische Schlussfolgerungen.

4.2.3 Nahrungsquellen und Mundwerkzeuge (1 h)

Kurze Wiederholung von Fleischfresser- und Grasfresser-Gebiss bei Säugetieren (z. B. Hund und Rind) und deren Anpassungen an Tätigkeiten wie festhalten, töten, zerschneiden bzw. abrupfen, kauen.

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 3: [[word](#)] [[pdf](#)]

Ggf. Brainstorming zum Vorwissen über Nahrungsquellen bei Gliedertieren; alternativ Vorgabe von Nahrungsquellen für Gliedertiere und daraus abgeleitete Anforderungen an deren Mundwerkzeuge (MWZ). Beispiele:

Nahrungsquelle	Anforderung	MWZ-Typ	Beispiele
Nektar (Zuckerwasser) tief in Blüten	langes Saug-Organ	saugend	Schmetterlinge
nährstoffreiche Flüssigkeit auf einer Oberfläche	tupfendes bzw. leckendes Saug-Organ	tupfend-saugend	Stubenfliege
		leckend-saugend	Honigbiene

Insekten, kleine Wirbeltiere	Schneide-Werkzeuge, um die Körperhülle zu öffnen und größere Muskeln zu zerschneiden; Kau-Werkzeuge, um abgeschnittene Muskelteile zu zerkleinern	beißend-kauend	Käfer
Säugetierblut	Kanüle, um die dicke und widerstandsfähige Säugetierhaut zu durchbohren, längliches Saug-Organ	stechend-saugend	Stechmücke

Ergänzung: Spinnen ernähren sich wie viele Käfer v. a. von Insekten, aber mit einer völlig anderen Strategie. Sie machen ihre Beute zunächst unbeweglich (z. B. einspinnen oder Gift injizieren) und spritzen dann Verdauungssaft in die Beute, wobei der Chitinpanzer wie ein Reaktionsgefäß wirkt. Danach saugen sie die verdaute Muskelmasse der Beute ein.

Hinweis: Bezeichnungen wie „beißend-kauend“ wirken wenig motivierend, wenn sie vorgegeben werden; deshalb sollten die Schüler sie selbst entwickeln.

Die extreme Vielfalt an Mundwerkzeugen wird durch Fotografien, ggf. Filme, stark vergrößerte anatomische Modelle und Schemazeichnungen veranschaulicht. Die Schüler haben bereits mehrfach kennengelernt, wie aus einem gemeinsamen Grundbauplan sehr unterschiedliche Ausprägungen von Organen entstanden sind (z. B. bei Wirbeltier-Extremitäten, Insekten-Extremitäten, Blüten). Deshalb können sie dieses Prinzip auch hier vermuten. Dafür ist es nötig, den Grundbauplan der Mundwerkzeuge bei den Insekten zu kennen (bei Spinnen oder Krebsen sieht er etwas anders aus):

- unpaarige Oberlippe
- paariger Oberkiefer*
- paariger Unterkiefer*
- unpaarige Unterlippe

* Kiefer ist in der Regel maskulin; im süddeutschen Sprachraum und auch standardsprachlich existiert daneben auch neutrum.

Auf einem Arbeitsblatt malen die Schüler die homologen Bauteile jeweils mit gleicher Farbe aus und legen eine Legende an. Exemplarisch beschreiben sie das Aussehen dieser Bauteile, z. B.: Der Saugrüssel wird bei der Biene von der Unterlippe gebildet, beim Schmetterling vom Unterkiefer und bei der Stechmücke von allen vier Bauteilen.

Erklärung der Vielfalt: Explizit betonen, dass auch hier die Entstehung der enormen Vielfalt an Körpermerkmalen dadurch entsteht, dass ein bestehender Grundbauplan vielfältig abgewandelt wird (ohne dass neue Teile dazu kommen), teilweise in extremer Weise.

4.2.4 Ökologische Auswirkungen

Hinweis: Im LehrplanPLUS steht „positive und negative Folgen für den Menschen“, aber darunter ist auch die Destruenten-Tätigkeit subsummiert. Ich formuliere deshalb allgemeiner: Ökologische Auswirkungen. Die im LehrplanPLUS aufgezählten Beispiele sind nicht verbindlich, aber gut ausgewählt. Ich halte mich deshalb daran.

a) Destruenten

Hinweis: Der Begriff „Destruent“ taucht im LehrplanPLUS an dieser Stelle zum ersten Mal auf und kann deshalb nicht vorausgesetzt werden. Der Kohlenstoff-Kreislauf ist erst im letzten Lernbereich, „Ökosystem Boden“, ein Lernziel. Es ist also sinnvoll, an dieser Stelle diesen Begriff bereits einzuführen.

Der **Destruent** (*destruere*, lat.: niederreißen, zugrunde richten, unschädlich machen) ist ein heterotropher Organismus, der tote Biomasse als Nahrungsgrundlage nutzt, beispielsweise Kot, Tierleichen, abgefallenes Laub. Viele Bakterien und Pilze sind Destruenten, aber auch viele wirbellose Tiere verwerten tote Biomasse. Was der erste Destruent ausscheidet, dient dem nächsten als Nahrungsquelle usw., bis letztendlich die gesamte Biomasse mineralisiert ist, d. h. in der Hauptsache umgewandelt zu Wasser und Kohlenstoffdioxid (und Mineralsalzen).

Beispiele:

- **Regenwürmer** ziehen abgefallene Blätter in ihre Röhre als Nahrungsvorrat. Sehr gut zu beobachten in einer Regenwurm-Küvette. ALP 10_2_V16
- Der **Totengräber** (*Nicrophorus*) ist ein Käfer, der seine befruchteten Eier in Leichen kleiner Tiere wie Mäuse legt, die er zuvor eingegraben hat.
- Der **Pillendreher** (*Scarabaeus sacer*), ein Käfer des Mittelmeerraums, ernährt sich vom Kot pflanzenfressender Säugetiere und dreht daraus große Kugeln, die vergraben und in die die befruchteten Eier gelegt werden. Bei den alten Ägyptern war der Heilige Skarabäus ein wichtiges Symbol für die Auferstehung und den Kreislauf der Sonne (Gottheit Chepre oder Cheper). Nah verwandt und ökologisch ähnlich tätig ist der einheimische **Mistkäfer** (z. B. *Geotrupes*).

b) Bestäuber

Die weitaus meisten Blüten, die von Tieren bestäubt werden, werden von Insekten angeflogen. Die meisten dieser Blüten können nicht durch den Wind bestäubt werden. Der starke Rückgang der Honigbienen-Populationen in den 10er-Jahren war der Auslöser für das Ende 2019 in Bayern durchgeführte Volksbegehren Artenvielfalt, das allerdings auf bedrohte Arten abzielt wie die Wildbienen, zu denen auch die Hummeln zählen.

In der Tat ist die wichtigste Aufgabe der Honigbiene (*Apis mellifera*) heutzutage die Bestäubung der Obstblüten (vor dem Anbau von Zuckerrübe und -rohr hatte der Honig noch wesentlich größere Bedeutung als Süßungsmittel). Wenig bekannt ist die enorme Bedeutung der Hummeln bei der Bestäubung von Gemüse.

In vielen Gewächshäusern mit Tomaten sind gekaufte fremdländische Hummeln als Bestäuber tätig (die einheimischen Hummelarten starke Konkurrenz machen, wenn sie in die Natur entkommen).

In manchen Gegenden sind die Insektenbestände, einschließlich der Honigbienen, so stark zurück gegangen (z. B. durch übertriebenen Einsatz von Insektiziden), dass Menschen mit feinen Pinseln die Bestäubung von Obstblüten durchführen müssen (Beispiel: China).

Aktionsvorschlag: Lieber Honig aufs Brot statt Nusscreme, denn so unterstützt man den Imker und damit die Landwirtschaft.

Wenn genügend Zeit dafür wäre, könnte auch die **Koevolution** von Blüte und Bestäuber angesprochen werden: Unterschiedliche lange Blütenröhren gehen einher mit unterschiedlich langen Saugorganen der Insekten. Vorteile dieser Spezialisierung: Je tiefer die Blütenröhre ist, desto weniger Nahrungskonkurrenten hat das saugende Insekt; je mehr das Insekt auf eine bestimmte Blütensorte spezialisiert ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass es blütentreu ist (also immer die gleiche Blütensorte anfliegt), was den Bestäubungserfolg enorm erhöht.

c) Überträger von Krankheiten (1,5 h)

Es kommt hier nicht darauf an, möglichst viele Gliedertiere und von ihnen übertragene Krankheitserreger aufzulisten, sondern an wenigen aktuellen bzw. historischen Beispielen die Zusammenhänge aufzuhehlen.

Der **Menschenfloh** (*Pulex irritans*) spielt in unserer heutigen Gesellschaft kaum noch eine Rolle in Deutschland. Aber noch zu Ende des Zweiten Weltkriegs war dieser Parasit, der sich von menschlichem Blut ernährt (stechend-saugende Mundwerkzeuge), stellenweise sehr häufig. Beim Blutsaugen kann der Floh aus dem Blut seiner Opfer die Erreger von Fleckfieber oder Beulenpest aufnehmen. Diese gelangen beim Kontakt mit Floh-Exkrementen oder durch erneuten Flohstich in den nächsten Menschen. Ggf. werden weitere Anpassungen an die Lebensweise kurz (!) angesprochen wie die kräftigen Sprungbeine, mit deren Hilfe der Floh auf seinen nächsten Wirt gelangt, oder der extrem flachgedrückte Körper, mit dem er sich problemlos zwischen Haaren bewegen kann.

Die **Zecke** = der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*) ist mit ihren vier Beinpaaren leicht als Spinnentier zu klassifizieren (vgl. Abschnitt 4.5!). Die Weibchen spritzen mit ihren stechend-saugenden Mundwerkzeugen zunächst einen gerinnungshemmenden Speichel in das Blut ihrer Opfer, bevor sie deren Blut aufsaugen. Dabei können Krankheits-Erreger ins menschliche Blut gelangen. Besonders gefährlich sind hierbei die Lyme-Borreliose, ausgelöst vom Bakterium *Borrelia burgdorferi*, und die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME), auch Gehirnhaut-Entzündung genannt, ausgelöst vom FSME-Virus. Weil sich die Zecken immer weiter ausbreiten, wird dringend empfohlen, sich gegen FSME impfen zu lassen.

Weil es gegen die Borreliose noch keine Impfung gibt, sollte man sich mechanisch vor Zeckenbefall schützen durch lange, nicht zu dünne Beinkleider (ggf. Strümpfe über die Hose ziehen). Nach dem Aufenthalt in einer Gegend mit vielen Zecken bzw. mit Borreliose-Fällen sollte der eigene Körper auf Zecken abgesucht werden. Wird eine gefunden, sollte sie mit einer speziellen Zeckenzange durch Drehungen (auf keinen Fall durch Ziehen) entfernt werden. Keine Mittel wie Öl usw. aufbringen, weil die Zecke dann vermehrt Speichel unter die Haut spritzt.



Weitere Beispiele mit großer medizinischer wie wirtschaftlicher Bedeutung sind die Übertragung der **Malaria** (ausgelöst vom eukaryotischen Einzeller *Plasmodium*) durch die *Anopheles*-Mücke oder die **Afrikanische Schlafkrankheit** (ausgelöst vom eukaryotischen Einzeller *Trypanosoma*) durch die Tse-Tse-Fliege (*Glossina*).

Hinweis: Wenn noch Zeit ist, kann auch die Rolle von Insekten als Parasiten angesprochen werden wie beispielsweise die direkte Schädigung durch Blutsauger wie Stechmücke, Laus, Floh, Wanze, Zecke. Der LehrplanPLUS führt Parasiten in seiner Beispielliste nicht auf.

d) Nahrungskonkurrenz

Der LehrplanPLUS wählt hier die Bezeichnung „Nahrungskonkurrenz“ und vermeidet bewusst die Bezeichnung „Schädling“. Die Einteilung in Schädling und Nützling mag in landwirtschaftlicher Hinsicht sinnvoll erscheinen, in biologischer Hinsicht ist so eine anthropozentrische, wertende Klassifizierung fehl am Platz. Dieser Aspekt kann mit den Schülern kurz diskutiert werden. (Außerdem schließt die Bezeichnung „Nahrungskonkurrenz“ die Behandlung anderer Arten der Schädigung aus wie den Befall durch Borkenkäfer.)

Viele Insekten nutzen die gleichen Pflanzen wie der Mensch als Nahrungsgrundlage und werden deshalb vom Gärtner wie vom Landwirt deshalb nicht gerne gesehen. Beispiele:

- Der gelb-schwarz gestreifte **Kartoffelkäfer** oder Coloradokäfer (*Leptinotarsa decemlineata*), ein aus Mexiko stammender, inzwischen weltweit verbreiteter Blattkäfer, ist auf Nachtschattengewächse spezialisiert und frisst in der Kulturlandschaft Kartoffelpflanzen kahl. (Ggf. Hinweis auf die Warnfärbung; Kartoffelkäfer geben ein Wehrsekret ab.)
- Die **Europäische Wanderheuschrecke** (*Locusta migratoria*) gilt als eine der sieben biblischen Plagen, weil sie plötzlich in riesigen Schwärmen einfällt und in kürzester Zeit ganze Landstriche kahl frisst, v. a. in Afrika, Vorder- und Ostasien, und damit regional für Hungersnöte sorgt. Alle paar Jahre tauchen entsprechende Meldungen in den Nachrichten auf. Weil sie relativ groß ist (Körperlänge bis über 5 cm), kann sie auch als Nahrungsmittel dienen (in der Schweiz ist sie seit 2017 als Lebensmittel zugelassen, in der EU steht eine Entscheidung an; Stand: 2021).
- **Blattläuse** (etliche Arten) stechen mit ihrem Saugrüssel die Leitungen in Pflanzen an, in denen der in der Photosynthese erzeugte Traubenzucker transportiert wird. Bei sehr starkem Befall (im späten Frühjahr) können die Pflanzen dadurch „verhungern“.
- Die **Möhrenfliege** (*Chamaepsila rosae*) legt ihre befruchteten Eier in die Erde direkt neben die Wurzeln von Karotten, Pastinaken oder Sellerie. Die Maden (Larven) fressen Teile der Wurzeln (Rübe) und hinterlassen darin ihren dunklen Kot.

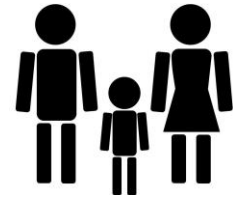
Auch wenn der LehrplanPLUS dies nicht nennt, ist es sinnvoll, an dieser Stelle kurz auf Bekämpfungsmaßnahmen einzugehen, denn ökologisches Denken ist ja ein wesentlicher Bestandteil des LehrplanPLUS:

- Insektizide (Mittel, die Insekten den Tod bringen; *caedere*, lat.: töten, morden) töten die unerwünschten Nahrungskonkurrenten in kurzer Zeit ab, bewirken langfristig aber, dass Individuen, die zufällig gegen das Insektizid resistent sind und deshalb überleben, sich beim nächsten Fortpflanzungszyklus massenhaft vermehren können (der Begriff „Resistenz-Bildung“ ist falsch, denn durch die Behandlung bildet sich die Resistenz nicht, die ist vorher schon da; das Gift wirkt vielmehr als Selektionsfaktor). Und Insektizide töten auch viele andere Insekten, darunter auch landwirtschaftlich erwünschte wie Wildbienen oder Honigbienen.
- Mechanischer Schutz der Pflanzen durch Netze (sehr aufwendig, aber effektiv)
- Ansiedeln von Fressfeinden wie Marienkäfer gegen Blattläuse (käuferische Marienkäfer stammen aus Asien; sie verdrängen inzwischen massiv einheimische Marienkäfer-Arten)
- Mischkultur: Lauchgewächse senden Duftstoffe aus, die die Möhrenfliege von der Eiablage abhalten. In der biologischen Landwirtschaft werden deshalb Streifenkulturen angelegt, wobei sich Karotte und Lauch abwechseln (die Küchenzwiebel wäre zwar auch sehr effektiv, aber sie verträgt die sehr feuchte Erde nicht, die Karotten anfangs benötigen).

4.3 Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung (3,5 h)

[Link zum Icon](#)

Alternatives [Icon](#) mit Eizelle und Spermienzellen (es sollte das gleiche Icon wie in der Unterstufe verwendet werden)



Wiederholung von Grundbegriffen zur Fortpflanzung

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 4: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Lernbereich 5.3: Fortpflanzung, Wachstum und Individualentwicklung	
Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
zweigeschlechtliche und eingeschlechtliche Fortpflanzung (z. B. Parthenogenese); ggf. Zwitterigkeit (z. B. bei Ringelwürmern), ungeschlechtliche Fortpflanzung (z. B. Knospung)	vergleichen Vertreter der Insekten untereinander, mit Vertretern der Wirbeltiere und ggf. mit Vertretern weiterer Gruppen der Wirbellosen hinsichtlich ihrer Fortpflanzung. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit.
Häutung, Metamorphoseformen (allmähliche und vollkommene Verwandlung), hormonelle Steuerung	vergleichen Vertreter der Insekten untereinander und mit Vertretern der Wirbeltiere hinsichtlich ihrer Individualentwicklung. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit.
ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis	

Hinweise: Zur Abwechslung habe ich in diesem Abschnitt einen ganz anderen Stil für die Überschriften gewählt.

Die Formulierung der Kompetenzerwartungen zeigt eindeutig, dass hier keine Art-Monographien erwünscht sind, sondern dass der Vergleich unterschiedlicher Lösungsstrategien für die Anforderungen im Vordergrund steht. Gleichzeitig werden dabei Gruppenmerkmale identifiziert und evolutionäre Anpasstheiten diskutiert.

4.3.1 Drogen haben keinen Vater (1 h)

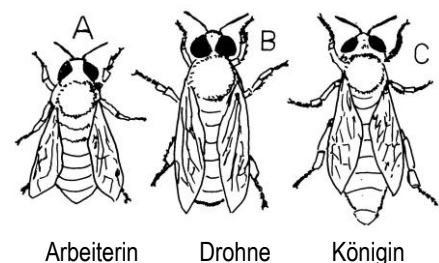
zweigeschlechtliche und eingeschlechtliche Fortpflanzung bei der Honigbiene

Hinweis: Ich habe als Beispiel die Honigbiene gewählt, weil sie als wichtiges Nutztier wie auch als Symboltier große gesellschaftliche Bedeutung besitzt. Und die Schüler finden sie auch spannender als die Blattlaus.

In diesem Abschnitt tauchen viele Zahlen auf. Bitte nicht auswendig lernen lassen!

Zunächst werden anhand von Medien die 3 Formen von Honigbienen vorgestellt:

- 1 große **Königin** (das einzige Weibchen, das Eier produziert; lebt 3-4 Jahre; 14 mm)
- wenige **Drogen** (die Drohne = der Drohn, Männchen; einzige Aufgabe: Paarung beim Hochzeitsflug; leben 1-3 Monate; 18 mm)
- sehr viele **Arbeiterinnen** (pro Stock bis zu 60.000; unfruchtbare Weibchen, die arbeitsteilig und nacheinander viele Aufgaben übernehmen; leben im Sommer 2-6 Wochen, über den Winter 4-7 Monate; 20 mm)



[Link zur Abbildung](#)

Zweigeschlechtliche Fortpflanzung:

Im Frühsommer fliegt die junge, 6-7 Tage zuvor geschlüpfte Bienenkönigin zum Hochzeitsflug aus, auf dem sie von bis zu 20 Drohnen im Flug befruchtet wird. Nach der Kopulation sterben die Drohnen.

Nach der Rückkehr in den Stock werden zurückgebliebene Drohnen von Arbeiterinnen in der sog. Drohnenschlacht aus dem Stock vertrieben. Die junge Königin bewahrt die Spermien in ihrem Körper jahrelang auf und befruchtet nach und nach damit ihre Eizellen. Sie legt bis zu 2000 Eier am Tag. Die Arbeiterinnen versorgen die Königin mit Futter, bauen die Waben, legen die befruchteten Eier in je eine Zelle, füttern die daraus schlüpfenden Larven, deckeln die Wabenzelle zu, wenn sich die Larve verpuppt, heizen die Zellen mit dem Nachwuchs (sie stecken dabei in Nachbarzellen und lassen ihre Muskeln zittern), kühlen ggf. den Stock (durch Ventilieren mit den Flügeln), sammeln Nektar und Pollen und sorgen für Sauberkeit. *(Hinweis: Auf die einzelnen Tätigkeiten der Arbeiterinnen wird allerdings nicht näher eingegangen.)*

Aus den befruchteten Eiern entstehen **Arbeiterinnen**. Sie sind diploid.

Im späten Frühling werden besonders große Zellen (Weiselzellen) angelegt; die Larven darin erhalten ein besonderes Futter (Gelée royal), wodurch die Larven viel schneller heranwachsen und auch größer werden. Daraus entwickeln sich neue **Königinnen**. Sie sind diploid. Bevor die neue Königinnen schlüpfen (von denen nur eine überlebt), sucht die alte Königin mit der Hälfte der Arbeiterinnen eine neue Bleibe (das Schwärmen).

Eingeschlechtliche Fortpflanzung:

Unbefruchtete Eier werden in Zellen gebracht, die größer sind als die üblichen. Aus ihnen entwickeln sich die **Drohnen**. An ihrer Entstehung ist also nur ein einziges Geschlecht (das weibliche) beteiligt. Die Entstehung von Nachkommen aus unbefruchteten Eizellen nennt man: die **Parthenogenese** (*parthenos*, altgr.: Jungfrau; *genesis*, altgr.: Geburt, Entstehung). Drohnen sind haploid.

Vergleiche:

Blattläuse vermehren sich zunächst ausschließlich durch Parthenogenese, wobei aus den unbefruchteten Eizellen Weibchen entstehen. Weil keine Paarungsrituale dafür nötig sind, vermehren sie sich extrem schnell. Blattläuse legen keine Eier, sondern bringen lebende Nachkommen zur Welt. Bestimmte Blattlaus-Arten pflanzen sich ausschließlich auf diese Weise fort, während bei anderen immer wieder geschlechtliche Fortpflanzung auftritt (es entstehen Männchen, die sich mit Weibchen paaren).

Rennechsen: Bei Wirbeltieren ist Parthenogenese die große Ausnahme, kommt aber vor. Von den amerikanischen Rennechsen (*Cnemidophorus*) gibt es Populationen und Arten, bei denen es nur Weibchen gibt, die untereinander genetisch identisch sind.

4.3.2 Regenwürmer haben kein Gender-Problem (0,5 h)

In diesem Skript werden Untersuchungen und Betrachtungen zum Regenwurm bei jedem einzelnen biologischen Aspekt aufgeführt. Alternativ können die Ringelwürmer beim Kapitel Wirbellose ganz weggelassen und ganzheitlich und kumulativ beim Kapitel Boden besprochen werden.

Beachten Sie die Hinweise zu Untersuchungen an Ringelwürmern im Skript „Allgemeine Vorbemerkungen“!

Die Schüler sollten bereits beim Abschnitt zur Fortbewegung das Clitellum betrachtet haben.

Der Regenwurm (*Lumbricus terrestris*) ist ein **Zwitter**, d. h. er trägt in sich den vollständigen weiblichen wie auch den vollständigen männlichen Fortpflanzungsapparat. Geschlechtsreife Regenwürmer tragen zwischen dem 27. und 35. Segment einen gut sichtbaren Gürtel (das

Clitellum). Vor allem im Frühjahr und im Herbst suchen sie sich einen Partner und verbinden sich mit ihm durch eine Schleimabsonderung. Dann geben sie gegenseitig ihre Spermien an den Partner ab, die zunächst in einem Samenbehälter gespeichert werden. Die Partner trennen sich wieder.

Dann entsteht in der Gürtelzone aus Schleim ein Kokon, der am Regenwurmkörper nach vorne geschoben wird. Sobald er am 14. Körpersegment angekommen ist, werden dort die Eizellen in den Kokon abgegeben, und wenig später aus dem 9. und 10. Körpersegment die Spermienzellen aus den Samenbehältern (äußere Befruchtung). Der Kokon wird über den Kopf gezogen und verschlossen. In ihm schlüpfen die jungen Würmer aus den Eiern und entwickeln sich weiter, bevor sie den Kokon verlassen.

Hinweis: Diese vielen Einzelfakten sind kein Lernstoff. Wesentlich ist hier nur, dass es bei rein zwitterigen Tieren wie den Regenwürmern keine Männchen und Weibchen gibt, sondern jedes Individuum beide Geschlechter in sich trägt.

Vergleiche:

- **Weinbergsschnecken** (*Helix pomatia*) sind ebenfalls Zwitter. Zur Paarung richten sie sich auf, legen die Sohlen ihrer Füße aneinander, beschießen sich mit je einem kleinen Kalkpfeil (Liebspfeil, bis 11 mm lang!) und geben manchmal wechselseitig, manchmal nur einseitig ihre Spermien an den Partner ab. Innere Befruchtung der Eizellen.
- Vergleich zu Wirbeltieren: Der den Schülern als Clownfisch Nemo bekannte „**Anemonenfisch**“ (*Amphiprion ocellari*) kann im Laufe seines Lebens das Geschlecht wechseln. Er wird als Männchen geboren, kann aber zum Weibchen werden, wenn z. B. das einzige anwesende Weibchen stirbt oder verschwindet. Dieser Geschlechtswechsel dauert länger als ein Jahr. [...] Im Labor kann ein Forscher den Geschlechtswechsel auslösen, indem er zwei Männchen in einem Aquarium zusammenführt: Sie kämpfen dann und der Gewinner wächst und wird weiblich. Weibchen kämpfen bis zum Tod gegeneinander.“

[Joe Dramiga: Geschlechtswechsel vom Männchen zum Weibchen beim Anemonenfisch *Amphiprion ocellari* beginnt im Gehirn; <https://scilogs.spektrum.de/die-sankore-schriften/geschlechtswechsel-vom-maennchen-zum-weibchen-beim-anemonenfisch-amphiprion-ocellari-beginnt-im-gehirn/>]

Bei über 500 Fischarten ist bekannt, dass sie das Geschlecht wechseln können.

4.3.3 Süßwasserpolypen brauchen keinen Partner (0,5 h)

Es ist nicht leicht, an lebende Süßwasserpolypen zu kommen (in manchen Schultümpeln werden sie wohl leben), aber es gibt gute Filme und in vielen Schulen steht auch das Modell.

Der bis zu 3 cm große Süßwasserpolyp (*Hydra*) kann sich geschlechtlich durch Ei- und Spermienzellen fortpflanzen, aber auch ungeschlechtlich durch Knospung (Sprossung), Längs- und Querteilung. Bei der Knospung wölbt sich die doppelschichtige Körperwandung nach außen, bildet allmählich Polypenform aus und löst sich schließlich ab (ungeschlechtliche Vermehrung).

Zur Formenkunde: Hydra gehört zum Stamm der Hohltiere (streng genommen: Nesseltiere), hat aber keine Medusen-Generation, wie die meisten Nesseltier-Arten. Hohltiere bestehen aus zwei aufeinander liegenden Zellschichten, die einen Innenraum umgeben, in dem die Verdauung stattfindet und der nur eine Öffnung nach außen hat. Fortsätze dieser Doppelschicht bilden die Tentakel. Sie besitzen Nesselzellen, die bei Berührung einen Nesseladen explosiv heraus schleudern, der hochgiftige Substanzen injiziert.

4.3.4 Wachstum mit Panzer (0,5 h)

Problemstellung: Aus einem winzigen befruchteten Ei entsteht letztlich ein Individuum, das wesentlich größer ist. Auch die noch kleinen Jungtiere besitzen wie die erwachsenen Tiere ein starres Außenskelett aus starren Chitinröhren und -platten, so dass sie nicht einfach wachsen können wie Wirbeltiere mit ihrem Innenskelett.

Lösung: Damit Wachstum möglich ist, muss von Zeit zu Zeit der Chitinpanzer abgelegt und ein neuer, größerer aufgebaut werden.

Vorgänge bei der Häutung: Dazu finden zunächst innerhalb des alten Panzers Zellteilungen statt, aber noch ohne Zellwachstum. Dann bildet sich unter dem alten Panzer ein neuer Panzer, der aber vorläufig noch weich und vor allem dehnbar ist. Gesteuert durch ein Häutungshormon löst sich schließlich der alte vom neuen Panzer ab, platzt an einer Stelle auf und das Tier schlüpft mit seinem neuen Panzer durch die Öffnung. (Zusammen mit dem Außenskelett werden auch die Chitin-Teile der Mundwerkzeuge, des Vorder- und Enddarms sowie der Tracheen abgestreift.)

Jetzt muss das Tier für eine Volumenzunahme sorgen; landlebende Insekten pumpen sich dazu mit Luft auf. Dadurch wird der neue Panzer gedehnt. Innerhalb mehrerer Stunden bzw. Tage härtet er aus, meist erhält er dabei auch seine endgültige Färbung. Diese Phase ist ziemlich gefährlich, weil der noch weiche Panzer Fressfeinden kaum Widerstand bietet und das Tier anfangs noch unbeweglich ist, weil die Strukturen, an denen die Muskeln angreifen, noch biegsam sind.

Praktikum: Die Schüler untersuchen mit einer Lupe leere Hüllen (Fachbegriff: die Exuvie; kein Lernstoff). Ab dem späten Frühling sitzen an Halmen in Gewässern oft die Exuvien von Libellenlarven.

4.3.5 Metamorphose-Formen (1 h)

meta, altgriech.: auf (etwas) hin (u. a.); *morphe*, altgriech.: Gestalt; *metamórphisis*, altgriech.: Umgestaltung, Verwandlung

Kurze Wiederholung der Metamorphose bei Amphibien (z. B. Frosch), bei der die Larve (Kaulquappe) ganz anders gestaltet ist und sich anders verhält (Ernährung, Atmung, Fortbewegung usw.) als das erwachsene Tier (Frosch).

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 5: [[word](#)] [[pdf](#)]

Kurze Wiederholung des Begriffs „Hormon“: ein Stoff, der in kleinen Mengen vom Körper selbst gebildet wird und Lebensvorgänge steuert (Beispiel: Die Sexualhormone steuern in der Pubertät die Entwicklung der Geschlechtsorgane.)

a) Die allmähliche Verwandlung

Die Umwandlung vom ersten Larvenstadium bis zum erwachsenen Tier (die Imago, pl.: Imagines) verläuft kontinuierlich in kleinen Schritten (wie beim Frosch).

Beispiele: Heuschrecken, Gespensterschrecken, Blattläuse, Flöhe

Anhand der Abbildungen von mehreren Stadien beschreiben die Schüler diese Form der Metamorphose.

Stabschrecken lassen sich gut in Schulen halten. An ihnen können die Schüler die allmähliche Umwandlung direkt beobachten. Vgl. Skript „Allgemeine Vorbemerkungen“ zur 9. Klasse.

b) Die vollkommene Verwandlung

Die ersten Larvenstadien sind einander ähnlich, die Umwandlung geschieht allmählich; die Larven sehen meist wurmartig aus, haben aber im Gegensatz zu echten Würmern kurze Beine. Aus der letzten Larve bildet sich eine Puppe, die längere Zeit unbewegt verharret, während in ihr ein kompletter Umbau des Körpers stattfindet. Aus der Chitinhülle der Puppe schlüpft das erwachsene Tier (die Imago, pl. Imagines), das sich von den vorangehenden Stadien dramatisch unterscheidet.

Beispiele: Schmetterlinge, Käfer, Fliegen, Bienen

Anhand entsprechender Abbildungen von mehreren Stadien beschreiben die Schüler diese Form der Metamorphose.

Schnürungs-Versuch zur vollkommenen Verwandlung:

Ergebnisse: Der Stoff, der die Verpuppung auslöst, wird im Vorderteil des Larvenkörpers gebildet. Dieser Stoff ist in der Körperflüssigkeit gelöst, weil er wirksam ist, wenn Körperflüssigkeit vom vorderen in den hinteren Teil des Körpers verbracht wird.

Arbeitsblatt dazu: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Die einzelnen Abbildungen dazu: ungefärbt und gefärbt auf der Webseite unter Materialien Mittelstufe LehrplanPLUS bei der 9. Klasse

Praktikum als Hausaufgabe: Die Entwicklung von Mehlkäferlarven („Mehlwürmer“)

*Hinweis: Der Mehlkäfer (*Tenebrio molitor*) ernährt sich gerne von Lebensmittelvorräten und vermehrt sich intensiv. Nicht alle Eltern werden deshalb so ein Praktikum erlauben.*

Arbeitsblatt: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Vorschlag für ein Arbeitsblatt:

Es werden von einigen Insektenarten jeweils ein Larvenstadium als auch die Imago abgebildet. Die Schüler sollen Mutmaßungen anstellen, wie viele Arten dargestellt sind und die Larven den Imagines zuordnen. Stichwortartig wird die Art der Ernährung ergänzt und daraus die Konkurrenz-Vermeidung zwischen Larve und Imago abgeleitet. Dazu werden den Schülern Unterlagen zur Recherche zur Verfügung gestellt.

Bienen in der Schule: Immer mehr Schulen richten sich einen Bienenstock ein, in dem die Stadien der Entwicklung beobachtet werden können, wenn dafür die Wabe mit dem Nachwuchs herausgenommen wird. Hinweise im Skript „Allgemeine Hinweise“ für die 9. Klasse.

Rätselhaftes Gedicht:

Im humoristischen Gedicht „Die Made“ erzählt Heinz Erhardt von einer Madenfamilie mit Mutter, Vater und Kind: „Hinter eines Baumes Rinde wohnt die Made mit dem Kinde ...“. Die Schüler sollen sich aus Sicht der Biologie dazu kritisch äußern. (Die Made ist die Larvenform z. B. bei Käfern, Maden und vermehrt sich deshalb nicht.)

<https://www.youtube.com/watch?v=ojA0NAjLQt0>

Additum für besonders interessierte Klassen bzw. Schüler (vgl. auch Hinweise auf dem Arbeitsblatt):

Jeder Häutungsschritt wird durch das Häutungshormon Ecdyson eingeleitet und gesteuert. Aber bei der vollständigen Umwandlung werden durch die Häutung drei sehr unterschiedliche Formen erzeugt: Larve – Puppe – Imago. Wie wird das gesteuert?

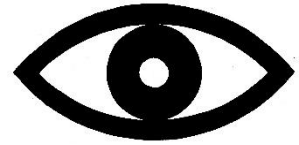
Hier ist ein zweites Hormon beteiligt: das Juvenilhormon. Wird gleichzeitig mit Ecdyson viel Juvenilhormon freigesetzt, entsteht eine Larve, wird wenig freigesetzt, eine Puppe, wird gar keines freigesetzt, die Imago.

Die Schüler können dazu Fragestellungen, Hypothesen und entsprechende Versuchsanordnungen erarbeiten, wie z. B.:

Wird beim letzten Larvenstadium künstlich Juvenilhormon zugegeben, entsteht erneut eine Larve, die aber größer ist als ihre Vorgängerin.

Wird die Tätigkeit der Hormondrüse, die das Juvenilhormon herstellt, künstlich stark eingeschränkt, entsteht sehr früh statt einer Larve eine Puppe, die aber sehr klein ist.

4.4 Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion (5 h)



[Link zum Icon](#)

Lernbereich 5.4: Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Reaktion	
Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
Zentralisation des Nervensystems, Strickleiternnervensystem Sinnesorgane und Sinnesleistungen: u. a. Facettenauge, z. B. Farbsehen bei Bienen akustische, chemische, optische und taktile Signale: Mimikry, Mimese, Warnen; Pheromone; Kommunikation als Grundlage der Staatenbildung bei Insekten ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis	vergleichen das Nervensystem von Insekten mit dem von Wirbeltieren und ggf. dem Nervensystem von Vertretern einer weiteren Gruppe der Wirbellosen. Dabei identifizieren sie typische Merkmale der jeweiligen Gruppen und beschreiben die beobachtete Vielfalt unter dem Blickwinkel einer evolutionären Anpasstheit. vergleichen Vertreter der Insekten mit Wirbeltieren hinsichtlich ihrer Sinnesorgane und Sinnesleistungen. erklären die Bedeutung verschiedener Signale zur inner- und zwischenartlichen Kommunikation bei Insekten.

4.4.1 Das Nervensystem (0,5 h)

Kurze Wiederholung des Nervensystems beim Menschen (8. Klasse): Bau und Funktion einer Nervenzelle; Zentralnervensystem mit Gehirn und Rückenmark; ggf. vegetatives Nervensystem mit Sympathicus und Parasympathicus (behandelt bei der Stressreaktion)

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 6: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Einführung des Begriffs: das Ganglion, -en = Nervenknotten, in dem die Zellkörper (Somata) der Nervenzellen eng gepackt liegen

Vergleich mit dem Strickleiternnervensystem der Insekten (der „verrückten“ Variante):

- Ober- und Unterschlund-Ganglion (entsprechen dem Wirbeltier-Gehirn) *oder zusammengefasst als Kopfganglion (aber seltsam klingende Fachbegriffe sind eigentlich bei Schülern durchaus beliebt)*
- 2 Hauptnervenstränge am Bauch (statt eines einheitlichen Nervenstrangs am Rücken)
- pro Segment ein Ganglienpaar
- Querverbindungen zwischen den beiden Ganglien im selben Segment
- Gemeinsamkeit: Bei Wirbeltieren und Gliedertieren ist das Nervensystem nicht im Körper gleichmäßig verteilt (diffus), sondern weist zentralisierte Strukturen auf. Diese sind notwendig für eine schnelle Reaktion (Fortbewegung, Beutefang, Flucht usw.), weil sie v. a. im Gehirn für kurze Strecken zwischen den Nervenzellen sorgen.

Abbildung zum Strickleiternnervensystem: [\[jpg\]](#)

Beschriftung:

links: Fühler (Antenne) | Auge | das Ganglion

rechts: Oberschlund-Ganglion | Unterschlund-Ganglion | Nervenstrang

ggf. ergänzen: Querverbindung

Hinweis: Ich halte es nicht für wesentlich, den Schülern den Unterschied zwischen Nervenstrang und Markstrang auseinander zu setzen (ein Nerv besteht nur aus Axonen und enthält keine Ganglien, im Mark liegen Ganglien und Axone).

Kurzer Hinweis, dass auch in anderen wirbellosen Tierstämmen ein sehr ähnliches Nervensystem vorliegt wie bei den Gliedertieren, z. B. bei Ringelwürmern oder Weichtieren, zu denen die Schnecken und Tintenfische gehören (ggf. Hinweis auf erstaunliche Leistungen des Tintenfisch-Gehirns: Kraken besitzen in jedem ihrer acht Arme ein autonom arbeitendes „Gehirn“ und besitzen eine hohe Intelligenz.)

Kurzer Einblick in ein **diffuses Nervensystem** (Nervennetz), z. B. bei Hydra.

Hintergrundwissen für die Lehrkraft:

Die Segmentierung am Insektenkopf ist bei adulten Tieren kaum noch zu erkennen; durch die Embryologie ist aber bekannt, dass der Kopf aus 5 Segmenten besteht. Ober- und Unterschlund-Ganglion werden demnach von 5 Ganglienpaaren gebildet.

Auch bei Tintenfischen zieht der Schlund (Vorderdarm) quer durchs Gehirn, das bei ihnen so groß ausgebildet ist, dass es den Durchmesser des Schlunds stark begrenzt. Deshalb können Tintenfische nur fein zerkleinerte Nahrung zu sich nehmen. Das hat den Nachteil, dass sie viel Zeit für das Raspeln ihrer Nahrung aufbringen müssen (Gefährdung durch Fressfeinde!) und deshalb die Menge an aufnehmbarer Nahrung begrenzt ist (und somit auch die Energie-Reserven). Der Biologe Gerhard Haszprunar berichtet von einem Tintenfisch, der immer wieder von seinem Ruheplatz am Sandboden einer flachen Meeresbucht aufgescheucht wurde. Nach mehreren Fluchtversuchen blieb er aber liegen und floh nicht mehr, vermutlich, weil ihm dafür die Energiereserven fehlten. Haszprunar bezeichnet solche „Fehlkonstruktionen“, wie die Trassierung des Schlunds quer durchs Gehirn, als „unintelligent Design“ (vgl. Skript zum Lernbereich Evolution, 9. Klasse, S. 2).

4.4.2 Das Facettenauge (1 h)

Kurze Wiederholung zu Bau und Funktion des menschlichen Auges (5. Klasse)

Arbeitsblatt zur Wiederholung von Grundwissen, Aufgabe 7: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#)

Aufbau und Eigenschaften des Facettenauges von Insekten (der „verrückten“ Variante) im Vergleich mit dem Wirbeltierauge:

Wirbeltier-Auge	Insekten-Auge
jedes Auge bildet eine Einheit	besteht aus vielen Einzelaugen ¹⁾ (je nach Lebensweise unterschiedlich vielen: bei im Dunklen lebenden Käfern nur wenigen, bei Libellen bis zu 28.000)
ein einziges Linsensystem aus Hornhaut, Linse und Glaskörper leitet die Lichtstrahlen auf die Netzhaut, die Millionen von Sehsinneszellen enthält (120 Mio Stäbchen; 6 Mio Zapfen beim Menschen)	jedes Einzelauge enthält 8 Sehsinneszellen und ein eigenes Linsensystem aus Linse und Kristallkegel
hohe räumliche Auflösung	geringe räumliche Auflösung
geringe zeitliche Auflösung (14-16 Bilder pro Sekunde werden bereits als kontinuierliche Bewegung wahrgenommen ²⁾)	hohe zeitliche Auflösung ³⁾

1) Auf den Fachbegriff „das Ommatidium, -en“ statt Einzelauge sollte verzichtet werden.

2) Seit der Einführung des Tonfilms ist bei Filmen die Norm auf 24 Bilder pro Sekunde festgelegt, um einen flimmerfreien Ablauf zu gewährleisten.

3) Eine Biene würde im Gegensatz zum Menschen einen Film nicht als kontinuierliche Bewegung wahrnehmen, sondern als eine Art Diavortrag. Ein Film, den auch eine Biene als kontinuierliche Bewegung wahrnehmen würde, müsste mit über 300 Bildern pro Sekunde ablaufen.

Kurzes Praktikum: Die wabenartige Struktur der Oberfläche von Insektenaugen (z. B. von toten Bienen) wird mit Lupe oder Binokular betrachtet.

Einfache Skizze vom Aufbau eines Einzelauges. Wesentlich dabei sind Struktur-Funktions-Beziehungen und der Vergleich mit dem Wirbeltierauge (und nicht möglichst viele Einzelheiten):

- Linse aus Chitin
 - Kristallkegel aus Chitin
 - Pigmentzellen (Pigment = Farbstoff): schirmen die Einzelaugen voneinander ab
 - Sehsinneszellen: nehmen das Licht auf, geben die Information darüber in Form elektrischer Signale im Axon weiter*
 - Axone der Sehsinneszellen (gebündelt zum Sehnerv): leiten die Information zum Gehirn (Oberschlundganglion)
- } bündeln die Lichtstrahlen und richten sie auf die Sehzellen

Abbildung eines Einzelauges aus einem Komplexauge: [\[jpg\]](#)

* Es ist streng darauf zu achten, dass irreführende Formulierungen vermieden bzw. korrigiert werden wie z. B.: „In der Sehsinneszelle wird das Licht in elektrische Signale umgewandelt.“

Wesentliche Aussagen zum Komplexauge:

- Es kann nicht scharf stellen, weil weder Linse noch Kristallkegel beweglich sind.
- Um den Blickwinkel zu ändern, muss der ganze Kopf bewegt werden, weil die Augen festsitzen.
- Grundsätzlich sind aber die Lösungsansätze Wirbeltierauge und Komplexauge gleichwertig.
- Die hohe zeitliche Auflösung ist wichtig, wenn z. B. eine Biene sehr nah an verschiedenen Blüten vorbei fliegt oder eine Libelle eine Mücke jagt. Die räumliche Auflösung, also das Erkennen von Details im betrachteten Objekt, ist dagegen von untergeordneter Bedeutung.
- Insekten, bei denen die optische Orientierung besonders wichtig ist, besitzen besonders große Facettenaugen (bei Großlibellen stoßen sie oben sogar zusammen) mit besonders vielen Einzelaugen. Im Gegensatz zu Wirbeltieraugen wird bei Facettenaugen eine enorme Vielfalt hinsichtlich ihrer Größe und Komplexität erreicht (Baukasten-Prinzip).
- Wie bei Wirbeltieren ist auch bei Insekten das Farbsehen eher die Ausnahme. (Die verbreitete Meinung, dass Fliegen keine Farbwahrnehmung hätten, ist allerdings falsch. Ich habe selbst Untersuchungen an den Farbzeptoren durchgeführt.)

Falsche Darstellungen:

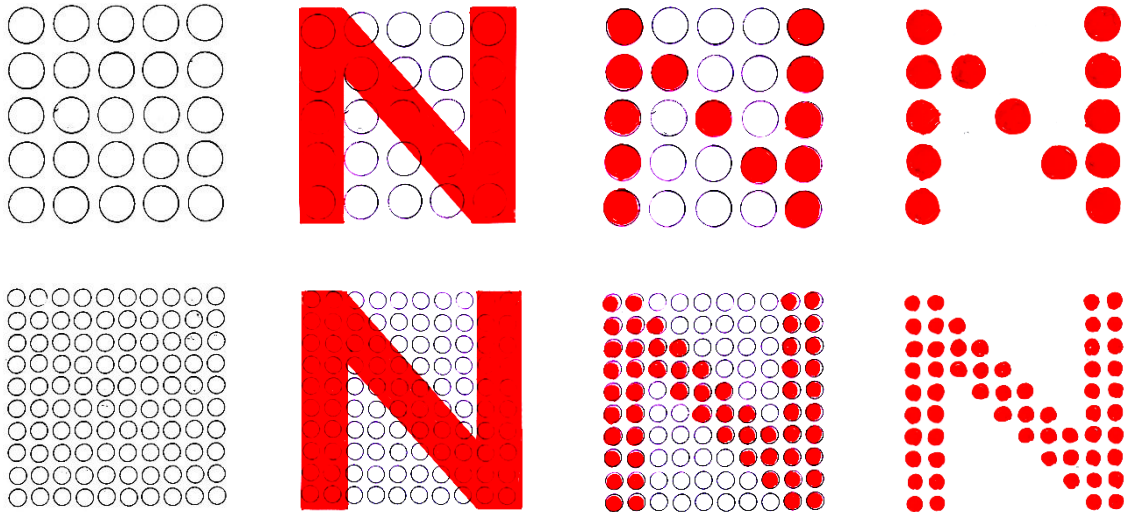


Der Scheindruck bei Insekten wird meist so dargestellt, dass das Sehfeld in Sechsecke oder Farbpunkte eingeteilt wird (Abbildungen in Schulbüchern; „Insektenbrille“). Für die Wahrnehmung im Gehirn ist es vollkommen egal, ob die Sehsinneszellen in einer einheitlichen Netzhaut sitzen wie bei Wirbeltieren oder ob sie in Achtergruppen in vielen Einzelaugen sitzen. Die (bereits vorverarbeiteten) Informationen aus dem Auge kommen so oder so im Sehzentrum gebündelt an und werden dort weiter verarbeitet zu einem einheitlichen „Bild“. Richtig ist dagegen, dass das von Insekten wahrgenommene Bild vergleichsweise unscharf ist, was die räumliche Auflösung betrifft.

Additum: Veranschaulichung zur räumlichen Auflösung

Link zur **Multimedia** [pptx]

Ein grobes Raster (5 mal 5 Bildpunkte) und ein feines Raster (10 mal 10 Bildpunkte) werden gegenübergestellt. Auf beide Raster wird der gleiche Buchstabe (zuerst N, danach S) projiziert. Dann werden alle Bildpunkte ausgemalt, die vom Buchstaben zu mehr als der Hälfte bedeckt werden. Schließlich wird das Raster entfernt, so dass nur die gefärbten Bildpunkte zu sehen sind. Der Unterschied ist deutlich zu erkennen.



4.4.3 Farbensehen bei Bienen (1 h)

Karl von Frisch, 1886-1982, erforschte das Farbensehen der Bienen, indem er auf einem Tischchen gleich große quadratische Farbkartons auflegte, die alle bis auf eine grau gefärbt waren (in unterschiedlichen Helligkeiten) und eine farbig, z. B. blau (wobei es eine graue Karte mit dem gleichen Helligkeitswert gab). Auf jedes Kartonstück wurde eine Glasschale gestellt, nur in die Schale auf dem blauen Feld wurde (geruchloses) Zuckerwasser gegeben. Nach einer einstündigen Trainingsphase wurde der Versuch erneut aufgebaut, nur dass in keiner Schale Zuckerwasser war. Beobachtung: Die Bienen scharten sich um die leere Schale auf dem blauen Feld.

Dieser Versuch eignet sich hervorragend zum Training der Kompetenz „Erkenntnisse gewinnen“. (Außerdem dient er dem Nationalstolz, weil von Frisch diese Erkenntnisse in Bayern gewann.)

Methodik:

- Die Schüler sehen einen Film mit diesem Versuch an, beschreiben Versuchsaufbau und Beobachtung und ziehen Schlüsse daraus.
- Sie begründen Maßnahmen, die ergriffen werden müssen, um Fehlinterpretationen zu vermeiden (z. B. stets frische Tischplatten und Kartons verwenden, um Duftspuren auszuschließen; Position der Kartons ständig ändern, um Erinnerung an eine bestimmte Lage auszuschließen).

Historischer Film dazu, der von Frischs Versuch nachstellt (knapp 8 Minuten Gesamtlänge): <https://av.tib.eu/media/23041?hl=Farbensehen>

(FWU: Nachweis des Farbensehens bei der Honigbiene; 1975 und 1977)

Der Film ist in Abschnitte unterteilt, die unten auf einer Leiste angezeigt werden und dort angesteuert werden können. Je nach Einsatz-Kriterien mit oder ohne Ton zeigen. Vorversuch mit blauem und gelbem Feld. Ab ca. 1:50 Hauptversuch mit vielen grauen und einem blauen

Feld. (Das genügt eigentlich schon). Ab ca. 4:15 Vergleich des wahrgenommenen Farbspektrums von Bienen und Menschen (das würde ich weglassen). Ab ca. 5:35 Freilandversuch mit vielen grauen Feldern und einem roten Feld: Die Bienen suchen lange auf allen Feldern in gleicher Weise (Rot können sie nicht wahrnehmen).

Es sollte unbedingt darauf eingegangen werden, dass Bienen ein anderes Farbspektrum wahrnehmen als Menschen: Es fehlt ihnen ein Farbrezeptor für Rot, dafür haben sie – wie auch viele Vögel – einen eigenen Farbrezeptor für Ultraviolett. Dies lässt sich gut an der Wahrnehmung einer Mohnblüte veranschaulichen: Während Menschen in der Mitte ein samtiges Schwarz wahrnehmen, das von rot-orangen Blütenblättern gesäumt ist, sehen Bienen inmitten schwarzer Blütenblätter ein hell leuchtendes Ultraviolett im Zentrum. Dies ist gleichzeitig eine Übung darin, andere Standpunkte einzunehmen und die Beschränktheit der eigenen Wahrnehmung zu erfahren.



Link für dieses Foto: [\[jpg\]](#)

Hinweis: Ich habe für dieses Thema eine ganze Stunde angesetzt, weil die Schüler hier sehr viel Eigenarbeit leisten sollen und dafür Zeit benötigen. Ggf. wird aber in der Stunde auch schon ein Teil des nächsten Abschnitts berücksichtigt, für den ziemlich wenig Zeit angesetzt ist.

Zur Selbstinformation: Der Mensch verfügt über drei Typen von Farbrezeptoren, die Biene über vier.

4.4.4 Tarnen, warnen, täuschen (0,5 h)

Nicht nur viele Insekten haben einen guten Sehsinn, sondern auch ihre Fressfeinde. Um sich vor ihnen zu schützen, setzen Insekten unterschiedliche optische Signale ein:

a) Die Mimese

mimesis, altgriech.: Nachahmung

Als Mimese wird eine Art der Tarnung bezeichnet, bei der ein Lebewesen dadurch in seiner Umwelt praktisch unsichtbar wird, indem es in Gestalt, Färbung und Haltung einem Teil seines Lebensraums gleicht.

Beispiele:

- Die **Stabschrecke** (Ordnung: Gespensterschrecken) ahmt dünne Zweige nach: Ihr Körper und ihre Beine sind langgestreckt und sehr dünn, die Färbung ist unauffällig grau-braun, die Tiere sitzen meist regungslos auf Zweigen. Die beste Anschauung hierfür bietet ein Terrarium mit lebenden Stabschrecken (vgl. Skript mit Allgemeinen Vorbemerkungen zur 9. Klasse).
- Das **Wandelnde Blatt** (Ordnung: Gespensterschrecken) wird bis zu 12 cm lang und ahmt ein Blatt nach: flacher und breiter Körper, breite Fortsätze an den Beinen, grüne Färbung, keine oder sehr langsame Bewegungen.
- Die Puppen mancher **Schmetterlinge** sitzen oben auf Blättern und ahmen Vogelkot nach. (Sie sind im Winterhalbjahr in einem der Gewächshäuser des Botanischen Gartens in München und andernorts zu sehen.)

- Ein Beispiel bei den Wirbeltieren ist die **Scholle**, ein Plattfisch, bei dem beide Augen auf der rechten Körperseite stehen und der sich flach auf den Meeresboden legt, wobei sich die sichtbare Oberseite durch Veränderung der Pigmentzellen in der Haut der Helligkeit und dem Muster der Umgebung anpasst. (Der rasche Farbwechsel beim Chamäleon dient dagegen vorwiegend der Kommunikation und stellt damit keine Mimese dar.)

b) Die Wartracht

Andere Insekten verfolgen genau die gegenteilige Strategie, indem sie dafür sorgen, dass sie möglichst auffallen. Das ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn der potentielle Fressfeind Interesse daran hat, das Insekt mit Wartracht zu meiden, z. B. weil es ekelhaft schmeckt, giftig ist oder Gift verabreicht.

Beispiele:

- **Wespen** (Ordnung: Hautflügler) sind gelb und schwarz gestreift, wodurch ein sehr auffälliger Farbkontrast erzeugt wird. Mit ihrem Giftstachel ohne Widerhaken, den sie mühelos aus ihrem Opfer wieder herausziehen können (im Gegensatz zur Biene) verursachen sie jedem, der sie fressen will, große Schmerzen. Experimente haben gezeigt, dass bei Erdkröten eine einzige negative Erfahrung mit einem gelb-schwarz gestreiften Objekt genügt, dass sie solche künftig meiden. (Bienen sind übrigens – anders als das Comics zeigen – nicht gelb-schwarz, sondern unauffällig braun-schwarz gefärbt.)
- **Marienkäfer** (Ordnung: Käfer) sind auffällig gefärbt mit schwarzen Punkten auf rotem oder gelbem Grund bzw. umgekehrt. Sie haben einen bitteren, unangenehmen Geschmack und können zusätzlich aus den Gelenkhäuten ein gelbes Sekret absondern, das unangenehm riecht und Giftstoffe enthält.
- Ein Beispiel bei den Wirbeltieren ist der **Feuersalamander**, der über Giftdrüsen verfügt.

c) Die Mimikry

Als Mimikry wird eine Art der Täuschung bezeichnet, bei der ein Lebewesen Signale von anderen Lebewesen nachahmt, um den Signalempfänger zu täuschen und sich dadurch Vorteile zu verschaffen.

Beispiele:

- Viele Insekten ahmen Wespen nach, ohne selbst giftig oder unangenehm schmeckend zu sein. Dazu gehören Schmetterlinge wie der **Hornissenschwärmer** oder **Schwebfliegen**. Die Täuschung funktioniert aber nur, wenn der Fressfeind zuvor schlechte Erfahrungen mit dem Vorbild gemacht hat und wenn das Vorbild im Lebensraum viel häufiger ist als der Nachahmer, denn sonst lernen die Fressfeinde schnell dazu.
- **Augen-Mimikry:** Viele Schmetterlinge tragen auf ihren Flügeln große Flecken, die sie bei Schreck plötzlich präsentieren. Vögel nehmen dann schnell Reißaus, denn so ein Fleckenpaar sieht aus wie die Augen einer Katze.
- Auch bei Pflanzen findet man Mimikry: **Ragwurz**-Arten (Orchideen) ahmen mit ihren Blüten optische und taktile Reize z. B. von Hummeln nach (Größe, Gestalt, Färbung, „Haare“). Männliche Hummeln verwechseln sie mit Hummelweibchen und versuchen, die Blüten zu begatten. Dabei übertragen sie Pollen von den Staubgefäßen auf ihren Körper bzw. von ihrem Körper auf die Narben des Stempels.
- Die **Große Spinnen-Ragwurz** ahmt sogar einen Geruchsreiz nach, indem sie einen Lockstoff verströmt, der dem weiblicher Sandbienen sehr ähnlich ist und somit deren Männchen anlockt, die mit ihren Begattungsversuchen die Bestäubung vornehmen.

4.4.5 Signaltypen bei der Kommunikation (1 h)

Klassifizierung von Signaltypen und Beispiele:

a) akustisch – mit Lauten:

- Männchen der **Grillen** (Ordnung: Heuschrecken) zirpen, indem sie eine mit winzigen Zähnchen besetzte Schrillader auf der Unterseite des rechten Vorderflügels schnell über die Hinterkante des linken Vorderflügels hin und her streichen (wie ein Bogen über eine Geigensaite beim Bogentremolo). Damit markieren sie ihr Revier und locken die Weibchen an.

b) chemisch – mit Geschmacks- bzw. Duftstoffen:

Bei sehr vielen Insekten dienen sie der Kommunikation. Ähnlich wie Hormone werden sie vom eigenen Körper in kleinen Mengen hergestellt und abgegeben, anders als Hormone werden sie in der Luft zu anderen Individuen getragen; daraus wurde der Begriff das **Pheromon** gebildet (*pherein*, altgriech.: tragen). *Dieser Begriff ist Lernstoff.*

- Das erste Pheromon, das chemisch rein isoliert wurde, ist das Bombykol (*kein Lernstoff*), das die Weibchen des **Seidenspinners** als Sexuallockstoff abgeben. (Zur Isolierung wurden die Pheromondrüsen von 500.000 Seidenspinner-Weibchen benötigt!) Die Fühler des Männchens ähneln einer Vogelfeder, weil sie viele Seitenäste tragen, in denen die Rezeptoren für die Pheromone sitzen.
- Beim **Borkenkäfer** (Buchdrucker, *Ips typographicus*) spielen Duftstoffe eine große Rolle: Er erkennt Signalstoffe, die ein geschädigter Baum abgibt, und fliegt ihn gezielt an, um in seiner Borke Brutkammern anzulegen. Dabei gibt er Pheromone ab, die Weibchen und auch andere Männchen anlocken. Der Borkenkäfer verursacht enorme wirtschaftliche Schäden im Forst. Er fliegt in aufgehängte Pheromonfallen; dadurch wird seine Population zwar nicht wesentlich kleiner, aber man kann gut erkennen, in welcher Menge die Käfer derzeit vorkommen.
- **Ameisen** erkennen an einem Duftgemisch, das sie am Körper tragen, ob ein Individuum zum selben Nest gehört oder nicht.

c) optisch – mit sichtbaren Reizen:

- **Leuchtkäfer** (= Glühwürmchen) – wie die einheimischen Arten Großer Leuchtkäfer *Lampyrus noctiluca* oder Kleiner Leuchtkäfer *Phausis splendida* – finden in der Paarungszeit im Juni und Juli das andere Geschlecht nachts über Leuchtsignale. Die Weibchen sitzen am Boden und blinken gelegentlich auf, die Männchen leuchten im Flug. Anzahl und Länge der einzelnen Leuchtereignisse sind artspezifisch; damit wird garantiert, dass sich nur Tiere der selben Art miteinander paaren.
- Leuchtkäfer-Weibchen der Gattung *Photuris* ahmen das Leuchtmuster von Weibchen der Gattung *Photinus* nach, locken sie damit an und fressen sie dann (Mimikry).

d) taktil – mit Berührung:

- **Blattläuse** bohren ihren Rüssel in Leitungsbahnen von Pflanzen und saugen den zuckerhaltigen Saft aus. Im Darm entziehen sie ihm wichtige Stoffe und geben den immer noch zuckerhaltigen Rest über den After ab. Seitlich am Hinterende sitzen zwei dünne Fortsätze. Wenn diese Fortsätze mehrfach hintereinander berührt werden, gibt die Blattlaus zur Abwehr besonders viel Darminhalt ab. **Ameisen** besitzen einen Futtermagen, in dem sie gesammelten Futtersaft speichern. Wenn eine Ameise mit ihren Fühlern mehrfach hintereinander sanft auf die Fühler einer anderen Ameise schlägt (sie betrillert), dann gibt diese Futtersaft ab, den die Kollegin aufnimmt. Missverständnis: Ameisen betrillern die Fortsätze von Blattläusen, um Futter zu erbetteln. Die Blattläuse geben zuckerhaltigen Darminhalt ab, um sich zu wehren. Die Ameisen nehmen ihn auf

(sie „melken“ die Blattläuse). Dies ist eine Symbiose, denn die Ameisen verteidigen „ihre“ Blattläuse gegen Fressfeinde wie Marienkäfer oder deren Larven.

4.4.6 Kommunikation bei Bienen (1 h)

Aktuelle Artikel in Biologie in unserer Zeit bzw. 1/2024 (diese Zeitschrift ist im Mitgliedsbeitrag für den Verband Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin Deutschland vbio inbegriffen):

- Tina Heidborn: Der Forscher, der auf Bienen flog. Zum Lebenswerk Karl von Frischs. S. 34-39
- Jürgen Tautz: Die „Sprache“ der Bienen. Das Drei-Phasen-Modell. S. 40-49
- Randolph Menzel: 100 Jahre Schwänzeltanz. Bestätigung der Ergebnisse Karl von Frischs mit modernsten Methoden; vollständig dokumentierte individuelle Suchflüge. S. 50-60

In früheren Zeiten habe ich diesem Thema zwei Stunden gewidmet, geographische wie mathematische Aspekte eingebunden (Himmelsrichtungen, scheinbare Sonnenbahn, Gradeinteilung im Kreis) und anspruchsvolle Aufgaben gestellt. So viel Zeit steht mit dem LehrplanPLUS nicht mehr zur Verfügung. Ich schlage deshalb vor, auf den Rundtanz der Bienen ganz zu verzichten, damit genug Zeit für den Schwänzeltanz bleibt, der nicht einfach nachzuvollziehen ist.

a) Klassisches Modell nach Karl von Frisch

Beobachtung: Wenn morgens wenige Bienen frisch aufgeblühte Blüten entdeckt haben, dauert es nicht lange und es kommt eine große Menge an Bienen zu diesem Platz. Karl von Frisch stellte deshalb die Hypothese auf, dass die Bienen ihren Kolleginnen mitteilen können, wo sich ein ergiebiger Futterplatz befindet.

Versuchsaufbau: Er stellte in unterschiedlichen Entfernungen vom Bienenstock Futterstellen auf und markierte die Bienen, die zuerst dort ankamen, indem er mit dem Pinsel einen kleinen Farbtropfen auf ihr Rückenschild tupfte (Fachbegriff: Die Bienen werden „gezeichnet“). Bienen, die später kamen, erhielten eine andersfarbige „Zeichnung“.

Beobachtung: Viele Bienen flogen die Futterstelle an, bevor die ersten Kundschafterinnen wieder dort erschienen.

Erklärung: Die Bienen finden die Futterstelle nicht durch einfaches Nachfliegen, sondern verfügen über Information.

Der Bienenstock wurde so präpariert, dass durch eine Glasscheibe die Tätigkeit der Bienen beobachtet werden konnte.

Beobachtung: Eine Biene, die von einer ergiebigen Futterquelle zurückkommt, die 100 m oder mehr vom Stock entfernt ist, läuft in Form einer Acht auf der Wabe herum. Auf der Mittelstrecke (die den beiden Ovalen der Acht gemeinsam ist) „schwänzelt“ sie, d. h. sie bewegt ihren Hinterleib hin und her (Schwänzelstrecke). Die anderen Bienen nehmen diesen Schwänzeltanz wahr, indem sie die tanzende Biene mit den Fühlern berühren. Die Schwänzelbewegung wird auch durch Vibrationen der Wabe vermittelt.

Film zum Schwänzeltanz: <https://av.tib.eu/media/23086?hl=Schw%C3%A4nzeltanz>

Karl von Frisch, Martin Lindauer; IWF, produziert 1978, mit erklärendem Text, in Farbe
Empfohlene Abschnitte (an der Fußleiste ablesbar und ansteuerbar):

0:57-1:22 Der Beobachtungsstock mit zwei übereinander angeordneten Waben.

2:45 Futterquelle 100 m vom Bienenstock entfernt; Besucherinnen werden blau gezeichnet; Schwänzeltanz mit 10 Schwänzelstrecken in 15 Sekunden

4:35 200 m Entfernung, gelb gezeichnet, 8 Schwänzelstrecken in 15 Sekunden

5:40 500 m Entfernung, rot gezeichnet, 6 Schwänzelstrecken in 15 Sekunden

6:24 1000 m Entfernung, grün gezeichnet, 5 Schwänzelstrecken in 15 Sekunden

Erklärung: Je weiter die Futterquelle vom Stock entfernt ist, desto mehr Schwänzelsbewegungen macht die Biene pro Schwänzelsstrecke, desto länger dauert ein Durchlauf, desto weniger Schwänzelsstrecken pro 15 Sekunden werden durchlaufen.

Dadurch codiert die Biene die **Entfernung der Futterquelle vom Stock**.

Die **Richtung der Futterquelle** wird durch die Achse des Schwänzellaufs codiert. Dabei bedeutet beim Tanz im Stock „senkrecht nach oben“ in der Natur „Richtung Sonne“; im Stock „40° rechts von der Senkrechten“ bedeutet in der Natur „40° rechts von der Sonne“ usw.

Additum:

Die Kundschafterin wird bei ihrer Rückkehr zum Stock abgefangen und z. B. drei Stunden im Dunklen eingeschlossen, bevor sie ohne Blick zur Sonne in den Stock zurückgesetzt wird.

Beobachtung: Die Wartezeit wird von der Biene berechnet und der Tanzwinkel entsprechend geändert.

b) Das neue Drei-Phasen-Modell nach Jürgen Tautz

Jürgen Tautz ist emeritierter Professor am Biozentrum der Julius-Maximilian-Universität Würzburg und Spezialist für Honigbienen. U. a. hat er einen kugelförmigen Bienenstock entwickelt. Er ergänzt das traditionelle Modell Karl von Frischs durch neue Erkenntnisse.

Phase 1: Schicken

Die Bienen folgen den Hinweisen der Schwänzeltänzerin und fliegen vom Bienenstock in das vom Tanz angezeigte grob umrissene Areal. (Neue Erkenntnis: Der Schwänzeltanz gibt die Richtung der Futterquelle zwar ziemlich genau an, die Entfernung aber nur recht grob.)

Phase 2: Suchen

Die Bienen erreichen das unscharf abgegrenzte Suchareal, in dem sich das Ziel befindet.

Phase 3: Locken

Die Feinorientierung erfolgt aufgrund der Blütendüfte (die entsprechenden Geruchsstoffe wurden von der tanzenden Biene mitgebracht) und / oder durch Signale von Bienen, welche die Futterstelle bereits kennen und mit auffälligen Flugmanövern die Suchenden zu den Blüten geleiten.

Dazu gibt es ein übersichtliches Poster, das eigens für die Schule entwickelt wurde (Link auf Seite 46 in biuz 1/2024).

c) Evolution des Schwänzeltanzes

Es gibt Bienenarten, die den Schwänzeltanz nicht auf senkrechten Waben, sondern auf horizontalen Flächen durchführen. Dabei weist die Schwänzelsachse immer direkt zur Futterquelle. Auf dieses Verhalten konnten die Vorfahren der Honigbienen also bereits aufbauen.

Wenn am Ende des Schuljahres noch Zeit ist, lohnt sich vielleicht dieser Film:

Historischer Film von Karl von Frisch, München, Stummfilm, schwarz-weiß (der Farbfilm wurde erst später erfunden), gedreht 1926 (insgesamt 7:42):

<https://av.tib.eu/media/12272?hl=Schw%C3%A4nzeltanz>

Der Film behandelt ausschließlich den Rundtanz (auch wenn in der URL etwas anderes steht). Kaum zu erkennen: Die Bienen, die auf der Wabe den Rundtanz beobachten, werden mit einer anderen Farbe markiert als die ersten Kundschafterinnen.

4.5 Die Vielfalt im Stamm der Gliedertiere (1 h)

*Der LehrplanPLUS führt mehrfach die Lerninhalte „ausgewählte Vertreter der Wirbellosen, Formenkenntnis“ auf und erwartet bei den Kompetenzen in Lernbereich 1: „**Die Schülerinnen und Schüler systematisieren u. a. Insekten mithilfe ausgewählter Bestimmungshilfen (z. B. Bestimmungsbuch, digitales Nachschlagewerk) und sind sich dadurch der Artenvielfalt der Wirbellosen bewusst.**“ Dass dieser Aspekt aber im Lernbereich 5 fehlt, ist nicht konsequent. Weil auch der Lernbereich 1 verbindlich ist, füge ich diesen Abschnitt hier an.*

Der ALP-Ordner „Boden und Wirbellose entdecken“ (2026) enthält einfache Bestimmungsschlüssel bzw. Links dazu.

Die Schüler sind bisher im Lernbereich „Wirbellose Tiere“ einer Reihe von Formen begegnet, manchen davon unter verschiedenen Aspekten. Sie sollen nun in die Natürliche Systematik eingeordnet werden. Hierbei kommt es nicht so sehr darauf an, dass die Schüler möglichst viele Stämme, Klassen, Ordnungen und Familien kennenlernen, sondern dass sie die Gruppenmerkmale als Kriterien der Zuordnung einsetzen. Dazu dienen ihnen einfache Bestimmungshilfen. Zusätzlich sollten sie weitere Formen begründet zuordnen.

Weil die Zeit knapp ist, ist es sinnvoll, wenn die Schüler einen auf den Unterricht zugeschnittenen Bestimmungsschlüssel erhalten, in dem die jeweiligen Gruppenmerkmale aufgeführt sind. Arbeitsteilig systematisieren die Schüler wirbellose Tiere und präsentieren ihre Ergebnisse. Das muss zunächst unter der Anleitung der Lehrkraft geschehen, weil die Schüler zu wenig Erfahrung damit haben. Die begründete Einordnung weiterer Formen kann als Hausaufgabe gestellt werden.

Fast alle Formen, die in diesem Skript genannt wurden, sind in die folgenden Materialien einbezogen.

Dazu folgende Medien:

Arbeitsblatt mit Stammbaum einiger Tierstämme [[word](#)] [[pdf](#)]

Arbeitsblatt zu den 4 Klassen der Gliedertiere [[word](#)] [[pdf](#)]

Arbeitsblatt zu einigen Ordnungen der Insekten [[word](#)] [[pdf](#)]

Artenzahl: Die Insekten bilden diejenige Gruppe der Lebewesen, welche die meisten beschriebenen Arten enthält nämlich fast die Hälfte. Innerhalb der Insekten sind die Käfer die Ordnung mit den meisten Arten (350.000). Die Zahl der beschriebenen Wirbeltierarten ist mit etwa 70.000 (davon mehr als die Hälfte Fische) wesentlich kleiner. Ein außerirdischer Beobachter, der für seinen Bericht über die Erde extrem vereinfachen muss, würde zwar über den sehr großen Einfluss des Menschen auf das Ökosystem Erde berichten, aber auch formulieren: „Die Erde ist vorwiegend von Käfern bewohnt.“ (Das wäre immerhin ein wenig differenzierter als: „Mostly harmless“ wie Ford Prefects stark gekürzter Eintrag für den Reiseführer „Per Anhalter durch die Galaxis“.)