

Toleranzkurven und der Öko-Faktor Temperatur

Ein Beitrag von Dr. Christoph Weiglin, Berlin
Mit Illustrationen von Matthias Emde, Frankfurt

Die physikalischen und chemischen Umweltfaktoren, die auf Lebewesen einwirken, heißen abiotische Faktoren. Die Variation dieser Umweltfaktoren bestimmt den Bereich der Lebewesen, in dem sie für diesen Umweltfaktor lebensfähig sind. Durch Toleranzkurven für den jeweiligen Umweltfaktor kann diese Abhängigkeit beschrieben werden.

Von den abiotischen Faktoren spielt die Temperatur eine entscheidende Rolle. Bei der Auswirkung dieses Faktors auf Tiere haben sich Anpassungen ergeben, die als Klimaregeln formuliert wurden. Auch Pflanzen zeigen deutliche Abhängigkeiten vom Temperaturfaktor, wie dies bei der Höhenzonierung im Gebirge deutlich wird.

Ihre Schüler erhalten in dieser Einheit das Rüstzeug, Toleranzbereiche von Lebewesen zu interpretieren und das Vorkommen von Lebewesen in Abhängigkeit zum Temperaturfaktor zu verstehen.



© Gatschwald / Stock/Getty Images Plus



© DmitryND/E+

Warum besitzt der Fennek so viel größere Ohren als der Polarfuchs und was hat der Öko-Faktor Temperatur damit zu tun?

Der Beitrag im Überblick

Niveau: Sekundarstufe II

Dauer: 10 Stunden

Der Beitrag enthält Materialien für:

- ✓ Wissenschaftliche Experimente
- ✓ Lernerfolgskontrolle

Kompetenzen:

- Toleranzkurven beschreiben
- Stoffwechsel und RGT-Regel in Beziehung zu Toleranzkurven beschreiben
- Endothermie und Ektothermie unterscheiden
- Bergmann'sche und Allen'sche Regel erkennen und ihren Gültigkeitsbereich angeben
- Endothermie und Ektothermie kritisch bei Anpassungen von Tieren an Extremstandorten bewerten
- Höhenzonierung bei Pflanzen als Anpassungen an den Standort benennen

Fachwissenschaftliche Orientierung

Stoffwechsel und Temperatur

Alle Lebensvorgänge sind an temperaturabhängige **biochemische Vorgänge** geknüpft. Dies wird sehr deutlich durch die **Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel** (RGT-Regel), nach der eine Temperatursteigerung um 10 °C die Stoffwechselfvorgänge um das 2-3fache steigert. Diese Regel gilt für biologische Systeme jedoch nur in einem Temperaturbereich von ca. 0–50 °C, da sowohl bei sehr niedrigen als auch bei sehr hohen Temperaturen Proteine denaturieren und damit ihre Funktion verlieren. Unter 0 °C gefriert auch das Wasser in den Zellen, was zu teilweise irreversiblen Schädigungen im Gewebe führt. Diese Zusammenhänge erklären das Zustandekommen der physiologischen Toleranzkurven.

Der Öko-Faktor Temperatur bestimmt zentral die Bereiche, die von einem Lebewesen gerade noch ertragen werden können. Die Spanne zwischen Minimum und Maximum stellt den **Toleranzbereich** der Lebewesen dar. Dieser kann mehr oder weniger eng oder breit sein, was mit den Begriffen **stenotherm** oder **eurytherm** beschrieben wird.

Temperaturregulation bei Tieren

Tiere sind an die Temperaturbereiche ihres Lebensraums angepasst. Bezüglich der Temperaturregulation unterscheidet man gewöhnlich **endotherme** oder **homoiotherme** (auch homöotherm) und **ektotherme** oder **poikilotherme Tiere**.

Zu den endothermen bzw. homoiothermen Tieren gehören Säugetiere und Vögel, zu den ektothermen bzw. poikilothermen Tieren die übrigen Wirbeltiere und die Wirbellosen. Beide Begriffspaare werden häufig synonym verwendet, kennzeichnen jedoch unterschiedliche Merkmale.

Die Begriffe **endotherm** und **ektotherm** beziehen sich auf die Herkunft der **Körpertemperatur**. Diese kann entweder vorrangig aus der **Umgebungstemperatur** stammen (ektotherm) oder durch **Abwärme des Stoffwechsels** erzeugt werden (endotherm). Auch ektotherme Tiere erzeugen natürlich Stoffwechselwärme, besitzen aber **kein isolierendes Fell- oder Federkleid** und sind daher weit mehr als diese von der Umgebungstemperatur abhängig. Auch ist ihre **Stoffwechselrate** meistens deutlich niedriger, so dass die erzeugte Wärmeproduktion im Stoffwechsel für eine gleichbleibende hohe Körpertemperatur in aller Regel nicht ausreicht.

Das Begriffspaar **homoiotherm** und **poikilotherm** wird gelegentlich mit den Begriffen „gleichwarm“ und „wechselwarm“ übersetzt. Beide Termini kennzeichnen aber häufig nicht die Realität: So variiert die Körpertemperatur bei den sogenannten „Gleichwarmen“ öfter in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen, beispielsweise während des **Winterschlafs**. Auch Kolibris und andere kleine Vögel verfallen häufig unter ungünstigen äußeren Bedingungen stundenweise in einen dem Winterschlaf ähnelnden Ruhezustand (**Torpor**), in welchem sie die Körpertemperatur deutlich absenken. Tiere in extrem kalten Lebensräumen, wie z. B. Pinguine, erhalten häufig nur im **Körperkern eine gleichbleibende Körpertemperatur** aufrecht, während die **Extremitäten deutlich auskühlen** können. Umgekehrt halten die Wechselwarmen häufig eine gleichbleibende Körpertemperatur durch **thermoregulatorisches Verhalten** (z. B. Sonnenbaden von Eidechsen) in Kombination mit Anpassungen im Blutkreislaufsystem aufrecht. Tiefseefische, die ganzjährig in einer homogenen kalten Umgebung leben, zeigen häufig eine gleichbleibende (kalte) Körpertemperatur.

Daraus lässt sich auch schließen, dass die traditionellen Bezeichnungen Warmblüter für die Homoiothermen und Kaltblüter für die Poikilothermen nicht zutreffen. Letztere können beispielsweise durch **Muskelzittern** ihre Körpertemperatur weit über die Umgebungstemperatur anheben, wie dies z. B. für Hummeln im Flug gezeigt werden konnte.

Von allen genannten Termini sind lediglich die **Begriffe endotherm und ektotherm am weitesten anwendbar, da bei Endothermen** die Körpertemperatur

ektotherme Tiere bei ihrer Temperaturregulation in weit größerem Maße von der Umgebungstemperatur abhängen. Allerdings verfügen auch einige Fische, wie z. B. Thunfische, über spezielle Einrichtungen zur Erzeugung von Wärme und halten dadurch die Temperatur von Muskeln, Gehirn oder Augen um 10 °C oder mehr über der Umgebungstemperatur. Daher wird heute in der Wissenschaft für derartige Fälle der Begriff **heterotherm** verwendet.

Aber auch bei endothermen Tieren kalter Regionen wird häufig nur die **Kerntemperatur des Körpers** konstant gehalten. Körperanhänge wie **Extremitäten**, können beispielsweise bei Pinguinen und arktischen Wölfen erheblich auskühlen. Ebenso ist von zahlreichen **Säugetieren und Vögeln** bekannt, dass sie ihre **Körpertemperatur über einen weiten Bereich schwanken** lassen können, wie z. B. das Kamel unter Wassermangel.

Klimageographische Regeln

Da **endotherme Tiere** in weit größerem Maß auf **konstante Körpertemperaturen** angewiesen sind als ektotherme, sind hier spezielle **Anpassungen an Extrembiotope** besonders auffällig, da nicht nur ein unkontrollierter Wärmeverlust, sondern auch Überhitzung zum Tod führen können.

Ändert sich die Größe eines Körpers, so ändert sich auch das **Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen**. Hierbei wächst bei Vergrößerung des Körpers die Oberfläche langsamer als das Volumen, denn die Oberfläche wächst nur mit der 2. Potenz, das Volumen dagegen mit der 3. Potenz. Dies zeigt sich, wenn man die Formel zur Berechnung der Oberfläche einer Kugel ($O = 4 \pi r^2$) und die für die Berechnung ihres Volumens ($V = 4/3 \pi r^3$) vergleicht. Da der Wärmeaustausch von Körpern mit der Umgebung über die Oberfläche erfolgt, hat ein großer Körper durch das geringere Oberfläche-Volumen-Verhältnis einen geringeren Wärmeaustausch. Je größer der Körper eines endothermen Tieres ist, desto geringer ist seine Körperoberfläche im Verhältnis zum Körpervolumen im Vergleich zu kleineren Tieren. Diese haben ein sehr hohes **Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis** und damit in einem kalten Lebensraum einen hohen Wärmeverlust. Größere Tiere können sich in kalten Gebieten besser gegen Wärmeverlust schützen, weil ihre Körperoberfläche (im Verhältnis zum Körpervolumen) kleiner wird.

Bergmann'sche Regel

Die **Bergmann'sche Regel** beschrieb 1847 der Göttinger Anatom und Physiologe Carl Bergmann: Endotherme Arten eines Verwandtschaftskreises die in kalten Gebieten leben, sind in der Regel größer, als ihre Verwandten aus wärmeren Gebieten. Bei nahe verwandten Arten nimmt demzufolge die durchschnittliche Körpergröße mit der geographischen Breite zu, d. h. je näher der Lebensraum der Tiere an den Polargebieten liegt, desto größer sind sie. Die Bergmannsche Regel beobachtet man vor allem bei Tieren mit großer geographischer Verbreitung, wie z. B. bei Braunbären, Wildschweinen, Füchsen oder Pinguinen. Die Regel wird heute auch auf verschiedene Arten innerhalb eines höheren Verwandtschaftskreises, wie z. B. einer Gattung oder Familie angewendet und es werden neben dem Temperaturgradienten der geographischen Breite auch der Temperaturgradient der Höhe über dem Meeresspiegel berücksichtigt.

Allen'sche Regel

Die **Allen'sche Regel** des amerikanischen Zoologen Joel Asaph Allen (1838–1921) besagt, dass bei nahen Verwandten von endothermen Tieren die relative Länge der Körperanhänge (Extremitäten, Schwanz, Ohren) in kalten Klimazonen geringer ist, als bei verwandten Arten in wärmeren Gebieten. Auch hier ist der biologische Zusammenhang in der Temperaturregulation zu sehen. Alle Extremitäten bewirken eine Vergrößerung der Körperoberfläche, und daher ist es in kälteren Gebieten vorteilhaft, eine möglichst geringe Körperoberfläche zu besitzen. In wärmeren Gebieten sind umgekehrt auffällig große Körperanhänge vorteilhaft, wodurch die Kühlung des Körpers durch eine verstärkte Wärmeabgabe erleichtert wird. Tiere in heißen Gebieten haben zudem oft besonders lange Beine (wie z. B. das Kamel), weil möglicherweise der größere Abstand vom hitzestrahrenden Boden einen (Selektions-)Vorteil darstellt.



Die **klimageographischen Regeln**, wie die Bergmann'sche Regel und die Allen'sche Regel, sind **nur bei endothermen Tieren** und auch nur im Vergleich nahe verwandter Arten oder Unterarten bzw. Populationen einer Art in unterschiedlichen Klimaregionen anwendbar. Dass es sich hierbei nur um Regeln handelt, zeigen die Ausnahmen: Bei Luchsen sind beispielsweise die Ohren lang, obwohl sie in sehr kalten Regionen leben.

Anpassungen bei Pflanzen

Wendet man die oben genannte Begrifflichkeit auf **Pflanzen** an, so sind diese als **ektotherm** zu kennzeichnen, da sie als standortgebundene Lebewesen in weitaus größerem Maß von der Umgebungstemperatur abhängig sind als ektotherme Tiere. Eine Temperaturregulation ist meist nicht möglich, die Kühlung durch Transpiration ist von geringer Bedeutung. Daher findet man bei **Pflanzen extremer Standorte** vorwiegend **Blattabwurf bzw. das Zurückziehen des oberirdischen Vegetationskörpers** in den Boden und die **Überdauerung mittels unterirdischer Speicherorgane** als Anpassungen. Hier sind jedoch in unterschiedlichen Klimazonen bzw. bei der Höhenzonierung im Gebirge bezüglich der **Überdauerungs und Erneuerungsorgane** deutliche Unterschiede erkennbar. Dies hat beispielsweise für Mitteleuropa zu den „Lebensformen“ des Göttinger Pflanzensoziologen Ellenberg geführt. Er unterscheidet

- **Phanerophyten** (Baum/Strauch, meist mehr als 5 m, Erneuerungsknospen oberirdisch)
- **Chamaephyten** (Zwergstrauch, meist unter 0,5 m, z. B. Heidelbeere)
- **Hemikryptophyten** (Erdschüffepflanzen, Erneuerungsknospen nahe Erdoberfläche, z. B. Löwenzahn)
- **Geophyten** (Erdpflanzen, Erneuerungsknospen unterirdisch, meist als Speicherorgane, wie Zwiebeln, z. B. Tulpe, Knollen oder Rhizome, z. B. Schlüsselblume)
- **Therophyten** (einjährige Pflanzen, Überdauerung als Samen).

Didaktisch-methodische Orientierung

Der Teil der Ökologie, der sich mit der Abhängigkeit der Organismen und ihrer Lebensäußerungen von den Bedingungen der unbelebten Umwelt beschäftigt, bildet zu Recht den Beginn des Ökologieunterrichts sowohl in der Mittelstufe als auch in den Kursen der gymnasialen Oberstufe. Die Möglichkeit, die Wirkung der Umwelt in einzelne Faktoren aufzugliedern, bietet hier einen guten Einstieg, da der Ursachen-Wirkungszusammenhang meist leicht durchschaubar ist und gut durch die experimentelle Forschung belegt ist. Zudem lassen sich die Abhängigkeiten einzelner Arten leichter analysieren als die weitaus komplexeren biotischen und biozönotischen Beziehungen, Ökosysteme usw. Aufgrund des leichten Zugangs besteht nicht selten die Gefahr einer überdimensionierten Behandlung im Unterricht auf Kosten der anderen komplexeren Teilgebiete der Ökologie.

Daher bietet es sich an, die Behandlung der abiotischen Faktoren auf die „großen drei“ Öko-Faktoren **Temperatur, Licht** und **Wasser** zu beschreiben. Diese werden auch meist in den zentralen Abiturprüfungen thematisiert und sind den Schülerinnen und Schülern* aus ihrer Erfahrungswelt meist vertrauter als Faktoren wie beispielsweise Salinität oder pH-Wert.

In dieser Einheit wird der **Faktor Temperatur** thematisiert, da er das Leben vieler Organismen als Minimum- oder Maximalfaktor entscheidend prägt. Zudem bietet er sich an, um auch Themenbereiche wie Toleranzkurven in den Unterricht einzuführen, die ebenfalls ein wichtiges Thema im Zentralabitur spielen. Diese Einheit beginnt daher mit diesem Thema, um dann auf den Temperaturfaktor hinzuführen.

Verschiedentlich lässt sich auch wiederholend an Themen der Mittelstufe anknüpfen und eventuell noch vorhandenes Grundwissen reaktivieren, z. B. Überdauerungsorgane von Pflanzen, Anpassungen von Vertebraten an Temperatur, Winterschlaf, Sommer- und Winterfell etc.

* In der Originalversion wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit nur „Schüler“ verwendet.

Eine **fächerübergreifende Zusammenarbeit** bietet sich bei den Themen Vegetationszonen und Höhenzonierung der Vegetation sowie evtl. Klimamessung und Klimadiagramme an.

Der Bezug zum Öko-Faktor Wasser wird in diesem Beitrag an einigen Stellen cursorisch gestreift. Hier bietet es sich an verschiedenen Stellen an, darauf hinzuweisen, dass beide Öko-Faktoren in Verbindung miteinander stehen. Beispielsweise ist das Hecheln bzw. Schwitzen zur Temperatorkühlung bei Wüstentieren häufig mit hohen Wasserverlusten verbunden und die Transpirationskühlung ist bei Pflanzen aus denselben Gründen problematisch. Die Vegetationszonen werden ebenfalls durch die Öko-Faktoren Temperatur und Wasser bestimmt. Diese Themenbereiche eignen sich insbesondere zur Hinführung zum Minimumgesetz bzw. zum Gesetz der limitierenden Umweltfaktoren, das am Ende dieses ersten Teils im Kurshalbjahr Ökologie stehen sollte.

Verlauf

Material	Verlauf	Stunde
M 1	<u>Einstieg:</u> Mithilfe dieses Arbeitsblattes erarbeiten sich die Schüler die physikalischen Grundlagen mit Bezug zur Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel (RGT-Regel) und der Wirkungsweise von Enzymen.	1
M 2	Die Lernenden erarbeiten sich am Beispiel Fotosynthese die Kennzeichen einer komplexen enzymatischen Reaktion. Sie lernen dabei ein Diagramm zu interpretieren. Das Arbeitsblatt soll damit auf die Toleranzkurven in Arbeitsblatt M 3 vorbereiten.	
M 3	Die Lernenden erarbeiten sich Toleranzbereiche von Lebewesen, unterscheiden die Begriffe stenotherm und eurytherm und beziehen diese auf das Vorkommen von Lebewesen. Anhand der Toleranzkurve des Mehlwurms wird ein Bezug zur RGT-Regel und zu Enzymaktivitäten hergestellt.	2
M 4	Durchführung eines einfachen Experimentes (Zählung der Herzschlagfrequenz beim Wasserfloh) in arbeitsteiliger Gruppenarbeit. Damit können die Kardinalpunkte von Toleranzkurven (Minimum, Optimum, Maximum) sowie die RGT-Regel von den Schülern nachvollzogen werden.	
M 5	Bei diesem Arbeitsblatt werden die Toleranzbereiche von Lebewesen in Beziehung zur Temperaturregulation gestellt. Die Lernenden sollen erkennen, dass die Begriffe eurytherm und stenotherm häufig mit „gleichwarm“ und „wechselwarm“ korrelieren.	3
M 6	Die Lernenden erkennen, dass die gängige Einteilung von „gleichwarm“ und „wechselwarm“ häufig zu einfach ist. Sie lernen damit, sich mit Fachbegriffen kritisch auseinander zu setzen. Ebenso wird ein Bezug hergestellt zur Stoffwechselintensität sowie Wundernetze und das Gegenstromprinzip. Erarbeitung der Teilthemen A, B und C in Gruppenarbeit.	4

M 7	<u>Einstieg:</u> Auf der Farbfolie werden verschiedene Pinguin- und Fuchsarten vorgestellt. Der Bezug zu den tiergeographischen Regeln (Bergmann'sche und Allen'sche Regel) wird besprochen.	5
M 8	<u>Erarbeitung:</u> Die Lernenden erarbeiten sich die Bergmann'sche und die Allen'sche Regel und überprüfen ihre Gültigkeit.	
M 9	<u>Experiment:</u> Die Schüler führen in Kleingruppen den Modellversuch zur Bergmann'schen Regel durch. Sie erkennen den Modellcharakter der Experimente und führen eine Modellkritik durch.	6
M 10	<u>Experiment:</u> Die Schüler führen in Kleingruppen den Modellversuch zur Allen'schen Regel durch und werten diesen aus.	7
M 11	Es werden die Überwinterungsstrategien ektothermer und endothermer Tiere thematisiert, insbesondere Winterstarre, Winterruhe und Winterschlaf.	8
M 12	An den Beispielen Phänologie, Lebensformen (Überwinterungsstrategien) und Höhenzonierung in den Alpen wird das Thema Temperatur und Pflanzen aufgegriffen. Erarbeitung der Teilthemen in Gruppenarbeit.	9
M 13	<u>Lernerfolgskontrolle</u> Übungen zum Öko-Faktor Temperatur	10

Minimalplan

Ist die Zeit für die Einheit knapp bemessen, wenn diese beispielsweise im Grundkurs unterrichtet wird, erarbeiten Sie mit dem **Arbeitsblatt M 2** die Grundlagen der Toleranzkurven und stellen mit dem **Arbeitsblatt M 5** Toleranzbereiche in Bezug zur Temperaturregulation her. Dann erarbeiten Ihre Schüler mithilfe der **Farbfolie M 7** sowie dem **Arbeitsblatt M 8** und der **Experimente M 9** und **M 10** die Bergmann'sche und die Allen'sche Regel und behandeln abschließend in Gruppenarbeit mit dem **Arbeitsblatt M 12** das Thema Temperatur und Pflanzen. Die **Lernerfolgskontrolle M 13** kann auch als Hausaufgabe oder Klausur eingesetzt werden.

Materialübersicht

- M 1 (Ab) Ein abiotischer Faktor – die Temperatur
- M 2 (Ab) Der Öko-Faktor Temperatur und die Fotosyntheserate
- M 3 (Ab) Toleranzbereiche von Lebewesen

M 4 (Ex) Temperatureinfluss auf den Stoffwechsel am Beispiel des Wasserflohs

Materialien für die arbeitsteilige Gruppenarbeit

Pro Arbeitsgruppe

- Wasserflöhe
- 1 Becherglas (100 ml)
- Objektträger
- Deckglas
- 1 Thermometer
- 1 Pipette
- 1 Glasstab
- 1 Stoppuhr
- 1 Wasserkocher
- warmes Wasser
- Eiswürfel

M 5 (Ab) Temperaturtoleranz bei Tieren**M 6 (Ab) Temperaturregulation bei Lebewesen****M 7 (Fo) Tiergeographische Regeln****M 8 (Ab) Tiergeographische Regeln nach Bergmann und Allen****M 9 (Ex) Modellversuch zur Bergmann'schen Regel**

Materialien für die Gruppenarbeit

Pro Schüler

- 1 Schutzbrille

Pro Arbeitsgruppe

- 4 Rundkolben (100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml)
- 4 Thermometer
- 4 durchbohrte Stopfen
- 1 Wasserkocher
- Wasser
- 1 Stoppuhr

M 10 (Ab) Modellversuch zur Allen'schen Regel

Materialien für die Gruppenarbeit

Pro Schüler

- 1 Schutzbrille

Pro Arbeitsgruppe

- 2 gleich große heiße Kartoffeln (festkochend, 15 min gekocht)
- 2 Kupferblechrohren
- 2 Thermometer
- 1 Stoppuhr

M 11 (Ab) Überwinterung bei Tieren**M 12 (Ab) Einfluss der Temperatur auf Pflanzen****M 13 (LEK) Übungen zum Öko-Faktor Temperatur**

Der Öko-Faktor Temperatur und die Fotosyntheserate

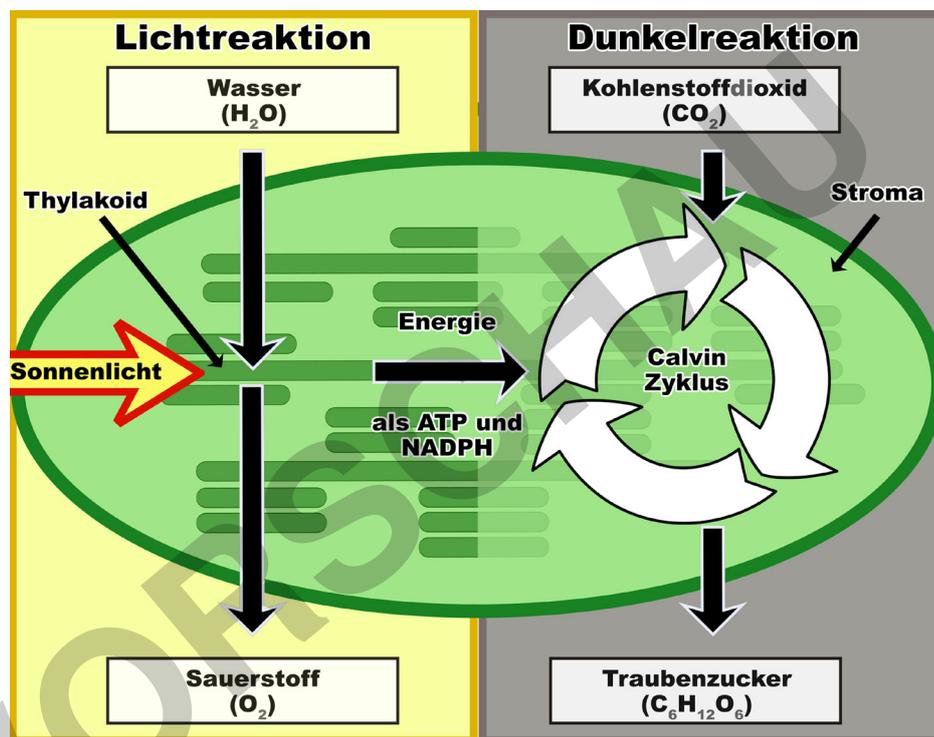
M 2

Sie kennen bereits aus Ihrem früheren Unterricht den Prozess der Fotosynthese. Hierbei werden mittels der Energie des Sonnenlichts aus den energiearmen Ausgangsstoffen Kohlendioxid und Wasser energiereiche Stoffe wie Glucose und Stärke aufgebaut und Sauerstoff abgegeben. Damit wird unmittelbar deutlich, dass die Fotosyntheserate einer Pflanze von dem abiotischen Faktor Licht bestimmt wird.

Aufgabe 1

Überlegen Sie, wieso auch der Öko-Faktor Temperatur einen Einfluss auf die Fotosyntheserate hat.

Betrachten sie hierzu die nachstehende Abbildung:



Mithilfe der Abbildung wird deutlich, dass der Prozess der Fotosynthese aus zwei unabhängigen Teilkomponenten besteht, den

- **lichtabhängigen Reaktionen**, auch Primärreaktionen (früher Lichtreaktionen): hierbei werden mithilfe der Lichtenergie die energiereichen Ausgangssubstanzen **ATP und NADPH + H⁺** bereitgestellt

und den

- **lichtunabhängigen Reaktionen**, auch Sekundärreaktionen (früher Dunkelreaktionen): hierbei wird in einem komplizierten Kreislaufprozess, dem **Calvin-Zyklus**, das energiearme CO_2 auf die energiereiche Stufe der Kohlenhydrate angehoben. Es handelt sich dabei um enzymatische Reaktionen, bei denen das ATP und NADPH + H⁺ benötigt wird.

Aufgabe 2

a) Formulieren Sie die Grundgleichung der Fotosynthese.

b) Erklären Sie, warum die Fotosyntheserate einer Pflanze von der Temperatur abhängt.

Toleranzbereiche von Lebewesen

M 3

Untersucht man die Wirkung unterschiedlicher Temperaturen auf die Fotosyntheserate, die Entwicklungsdauer von Tieren oder die Stoffwechsellätigkeit von Mikroorganismen und stellt diese grafisch dar, so wird man immer ähnliche Kurvenverläufe erhalten. Denn innerhalb eines mehr oder weniger großen Toleranzbereichs verläuft die untersuchte Lebenstätigkeit (= Vitalität) optimal, bei tieferen oder höheren Temperaturen verschlechtert sie sich immer mehr, bis sie nicht mehr messbar ist.

Stellt man diesen Sachverhalt grafisch dar, erhält man eine Optimumskurve, die durch die sogenannten Kardinalpunkte Minimum, Pessimum, Optimum, Präferenzbereich und Maximum charakterisiert werden kann. Der Temperaturbereich zwischen Minimum und Maximum entspricht dem Toleranzbereich des untersuchten Lebewesens; er wird auch als ökologische Potenz (= Toleranz) bezeichnet.

Temperatur und Anpasstheit

Vergleicht man den Temperaturbereich, indem ein Lebewesen über längere Zeit leben und sich entwickeln kann, ergeben sich große Unterschiede:

Arten mit weiter Temperaturtoleranz bezeichnet man als **eurytherm**, solche mit enger Temperaturtoleranz als **stenotherm**. Bei vielen Arten besteht außerdem ein Zusammenhang zwischen den Temperaturverhältnissen in ihrem Lebensraum und ihrer Temperaturtoleranz. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer ökologischen Toleranz, die auch Teil der arttypischen Anpassung von Lebewesen an ihre Umwelt ist.

Info

Die ökologische Toleranz gibt die Toleranzbreite eines Lebewesens gegenüber den Intensitäten eines Umweltfaktors an.

Aufgabe 1

Auf der Abbildung 1 erkennen Sie das Gedeihen verschiedener Arten in Abhängigkeit von der Temperatur. Unterscheiden Sie eurytherme und stenotherme Arten und ordnen Sie den Arten mögliche Lebensräume zu.

Aufgabe 2

Die Larven des Mehlkäfers sind Vorratsschädlinge, die aber auch in Zoohandlungen als Futtertiere bezogen werden können. Stellen Sie Vermutungen an, wie die in Abbildung 2 gezeigte Toleranzkurve experimentell ermittelt werden konnte. Vergleichen Sie die Toleranzkurve mit der Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität.

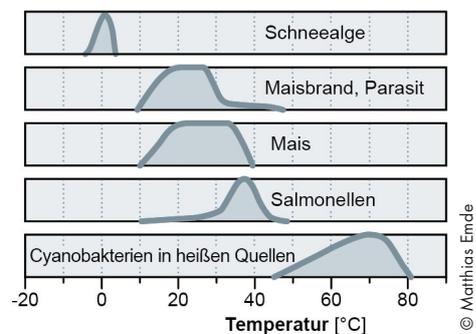


Abbildung 1: Optimale Temperaturen unterschiedlicher Arten

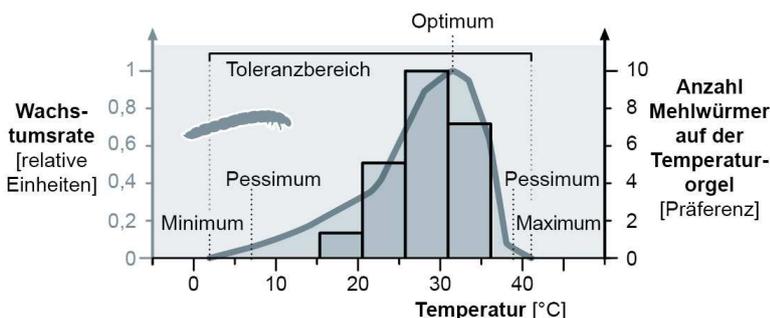


Abbildung 2: Toleranzkurve des Mehlwurms

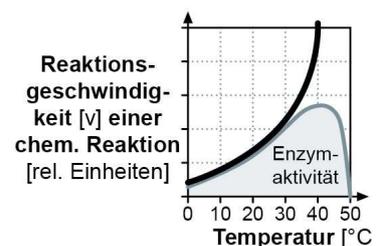


Abbildung 3: Enzymaktivität beim Mehlwurm

Temperaturregulation bei Lebewesen

M 6

A. Begriffsklärungen

Die traditionelle Einteilung der Tiere in gleichwarme (homoiotherme = homöotherme) und wechselwarme (poikilotherme) basiert auf der vorherrschenden Temperaturregulation:

- Wenn **homoiotherme** Tiere sich verändernden Luft- oder Wassertemperaturen ausgesetzt sind, halten sie ihre Körpertemperatur weitgehend konstant bzw. regulieren sie innerhalb eines engen Bereiches. Bei den meisten Säugetieren liegt dieser Bereich zwischen 37–38 °C und bei den Vögeln bei nahen 40 °C.

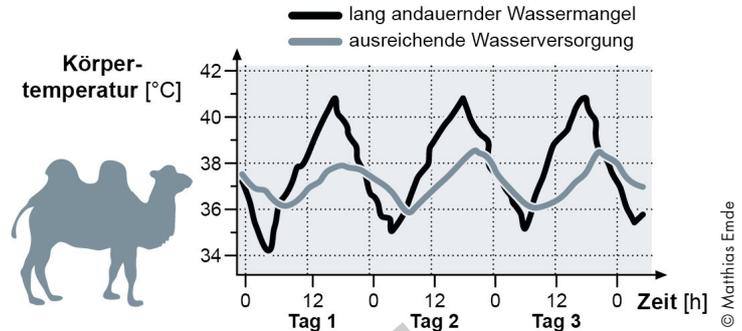


Abbildung 1: Schwankungen der Körpertemperatur beim Kamel

- Als **poikilotherme** Tiere werden solche Tiere bezeichnet, deren Körpertemperatur sich mehr oder weniger der Umgebungstemperatur angleicht, wenn sich die Luft- oder Wassertemperaturen ändern. Hierzu zählt man bei dieser Einteilung alle Fische, Amphibien, Reptilien und alle Wirbellosen.

Bei dieser Einteilung sollte Folgendes beachtet werden:

- Einige Tiefseefische haben eine konstantere Körpertemperatur als viele Säugetiere und Vögel, da sie in einem sehr konstanten Temperaturbereich leben und nicht wirklich wechselwarm sind, sondern eher gleichwarm bzw. -kalt sind.
- Viele poikilotherme Tiere, z. B. Eidechsen, sind in der Lage, in ihrem natürlichen Lebensraum ihre Körpertemperatur durch thermoregulatorisches Verhalten recht gut auf einem gleichbleibenden Niveau zu regulieren, z. B. durch Sonnenbaden bzw. Aufsuchen schattiger Bereiche; allerdings ist diese Fähigkeit durch die Menge der zur Verfügung stehenden Umgebungswärme begrenzt.
- Von zahlreichen Säugetieren und Vögeln ist bekannt, dass sie ihre Körpertemperatur über einen weiten Bereich schwanken lassen können, wie z. B. beim Kamel unter Wassermangel.

Umgangssprachlich werden öfter die Bezeichnungen Warmblüter für homoiotherme und Kaltblüter für poikilotherme Tiere verwendet. Hier ist zu berücksichtigen, dass poikilotherme Tiere ziemlich warm werden können. So können bei einer Wanderheuschrecke während des Fluges oder bei einer Eidechse, die über den heißen Wüstensand läuft, Bluttemperaturen auftreten, die höher sind als diejenigen warmblütiger Säugetiere.

Eine weitere Einteilungsmöglichkeit bezieht sich auf die Herkunft der Körperwärme. Tiere sind demzufolge endotherm, wenn ihre Körperwärme vorwiegend von innen, also aus dem Stoffwechsel kommt, während ektotherme Tiere ihre Wärmeenergie vorwiegend aus äußeren Quellen beziehen.

Aufgaben

1. Diskutieren Sie die verschiedenen Einteilungsmöglichkeiten zur Temperaturregulation bei Tieren.
2. Erklären Sie den Anpassungswert der Temperaturschwankungen beim Kamel.

M 8

Tiergeographische Regeln nach Bergmann und Allen

Die Bergmann'sche Regel

Tiger hatten ursprünglich ein riesiges Verbreitungsgebiet in Asien, das vom Kaukasus und dem russischen Föderationskreis Ferner Osten über Ost-China, den indischen Subkontinent und Hinterindien bis Sumatra, Java und Bali reichte. Heute ist er aus großen Teilen seines ehemaligen Verbreitungsgebietes verschwunden und auf isolierte Schutzgebiete beschränkt. Tiger gelten als stark gefährdet und es gibt Schätzungen zufolge nur noch 3000 bis 5000 wildlebende Tiger. Es werden derzeit bis zu neun Unterarten unterschieden, von denen drei bereits ausgestorben sind. Tiger bewohnen eine Vielzahl verschiedener Lebensräume, von tropischen Regenwäldern, subtropischen Bergwäldern und Mangrovensümpfen über Savannen- und Sumpfgebiete bis hin zu gemäßigten und borealen Nadel-, Laub- und Mischwäldern.

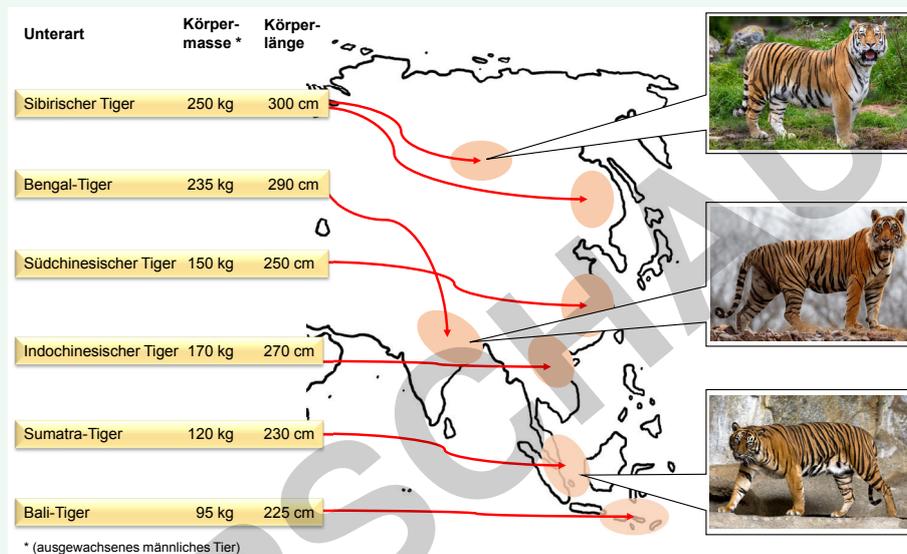


Abbildung 1: Karte des Verbreitungsgebietes unterschiedlicher Tigerarten in Asien

Vergleicht man die Größen der verschiedenen Unterarten, so ergeben sich interessante Besonderheiten. Bereits 1847 formulierte der Göttinger Zoologe Carl Bergmann (1814–1865) dazu eine Regel.

Aufgabe 1

Betrachten Sie die gezeigte Folie und die Abbildung 1. Versuchen Sie mit Ihren eigenen Worten die Regel des Zoologen Carl Bergmann zu formulieren.

Aufgabe 2

Betrachten Sie nun die untenstehende Übersicht und wenden Sie die **Bergmann'sche Regel** auf das Beispiel an.

	Smaragdeidechse	Zauneidechse	Waldeidechse
Nördlichstes Verbreitungsgebiet	Frankreich, Italien	Südschweden	Nordskandinavien
Länge	14 cm	9 cm	7 cm
Schwanzlänge	26 cm	15 cm	12 cm

Erklären Sie den Gültigkeitsbereich der Bergmann'schen Regel und erläutern Sie die physiologischen Hintergründe der Regel.

Modellversuch zur Bergmann'schen Regel

M 9

Die Wärmeabgabe unterschiedlich großer Tiere kann in einem Modellversuch mit unterschiedlich großen Rundkolben gemessen werden.

Material

- | | | |
|---|--|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 4 Rundkolben (100 ml, 250 ml, 500 ml, 1000 ml) | <input type="checkbox"/> 4 durchbohrte Stopfen | <input type="checkbox"/> Wasser |
| <input type="checkbox"/> 4 Thermometer | <input type="checkbox"/> 1 Wasserkocher | <input type="checkbox"/> 1 Stoppuhr |
| <input type="checkbox"/> 1 Schutzbrille je Schüler | | |

Durchführung:

Bauen Sie den Versuch entsprechend der nebenstehenden Abbildung auf. Füllen Sie heißes Wasser in die Kolben und temperieren Sie das Wasser in den Kolben auf ca. 60 °C. Messen Sie die Temperatur 15 Minuten lang in Abständen von je 1 Minute und protokollieren Sie die Messwerte.



Vorsicht: Die Rundkolben sind heiß!



© Dr. Christoph Weiglin

Minute	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rundkolben 100 ml															
Rundkolben 250 ml															
Rundkolben 500 ml															
Rundkolben 1000 ml															

Auswertung:

- Stellen Sie die Messwerte grafisch dar. Berechnen Sie dazu die prozentuale Temperaturabnahme pro Minute in Bezug zur Anfangstemperatur (Messwert nach 1, 2 ... Minuten / Anfangstemperatur x 100). Verwenden Sie unterschiedliche Farben bzw. Striche oder Punktlinien für die unterschiedlichen Kolben.
- Berechnen Sie das Volumen ($V = 4/3 \pi r^3$) und die Oberfläche ($O = 4 \pi r^2$) sowie die relative Oberfläche (O/V) der verwendeten Rundkolben
- Erläutern Sie anhand der Berechnungen und Ihrer grafischen Darstellung die **Bergmann'sche Regel** und führen Sie eine Modellkritik durch.