

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.



© Gaschwald/iStock/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 zur:

- ✓ Wissenschaftliche Experimente
- ✓ Fernerkundungskontrolle

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

M 1

Ein abiotischer Faktor – die Temperatur

Die zentrale Aufgabe in der Ökologie ist es, die Wechselbeziehungen zwischen einem Lebewesen und seiner Umwelt zu verstehen. Physikalisch-chemische Faktoren wie der pH-Wert, Wasser, Salzgehalt und die Temperatur wirken als abiotische Faktoren. Unter diesen ist die Temperatur für alle Lebewesen von entscheidender Bedeutung, da nur die wenigsten Lebewesen in der Lage sind, ihre Körpertemperatur immer und überall zu regulieren.

Die Erde bietet **unterschiedliche Lebensräume** mit höchst **unterschiedlichen Temperaturen**:

- Pinguine können in der Antarktis bis zu -60 °C ertragen
- Der Gletscherhahnenfuß kommt in den Alpen bis in 4000 m Höhe vor – ein Rekord unter den Blütenpflanzen
- Antarktische Eisfische können bei Temperaturen von -1 °C überleben – das salzhaltige Wasser der Antarktis gefriert erst bei $-1,8\text{ °C}$

Dabei stellt sich die Frage, wie Lebewesen unter derart extremen Temperaturen überleben können.

Was ist Temperatur?

Temperatur entspricht physikalisch dem **Wärme- und Energiezustand des Körpers** und damit der ungerichteten Bewegung seiner Moleküle. Praktisch aller Vorgänge im Stoffwechsel werden durch Enzyme katalysiert. Deshalb hängt der Stoffwechsel und letztlich das Leben eines Organismus davon ab, ob die innere Temperatur, d. h. die Temperatur in der einzelnen Zelle so geregelt werden kann, dass **Enzyme Stoffwechselreaktionen optimal durchführen** bzw. gegebenenfalls auch beschleunigen können – schließlich muss der Laubfrosch gelegentlich dem Angriff einer Ringelnatter entkommen können.

Die Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel (RGT-Regel)

Bei Betrachtung der Temperaturwirkung auf die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion ist es hilfreich, durch den Vergleich der Geschwindigkeiten bei zwei unterschiedlichen Temperaturen einen Temperaturfaktor zu erhalten. Der Temperaturunterschied von 10 °C wurde hier zum Standardbereich als Q_{10} -Wert bezeichnet und mithilfe der Van't-Hoff-Gleichung berechnet werden:

$$Q_{10} = (k_2/k_1)^{10/(t_2-t_1)} \quad \text{bzw.} \quad Q_{10} = (SR_2/SR_1)^{10/(t_2-t_1)}$$

Wobei k_1 und k_2 der Geschwindigkeit der Reaktion (Geschwindigkeitskonstanten) bei der (niedrigeren) Temperatur t_1 bzw. der (höheren) Temperatur t_2 entsprechen. Um die Gleichung auf die Stoffwechselraten (SR) bei den Temperaturen t_1 und t_2 zu beziehen, eignet sich die rechts dargestellte Schreibweise. Vereinfacht wird die Van't-Hoff-Gleichung auch als RGT-Regel bezeichnet.

Günstig an der RGT-Regel ist, dass sie grundsätzlich für **alle biochemischen Reaktionen** in den Zellen der Lebewesen gilt, aber nur in einem verhältnismäßig engen **Temperaturbereich von ca. 0 °C bis 50 °C** . Sie kann sowohl auf einfache Prozesse, z. B. auf eine einzelne enzymatische Reaktion, als auch auf komplexe Prozesse, wie Wachstum, Bewegung usw. angewendet werden.

Der Q_{10} -Wert einer bestimmten enzymatischen Reaktion hängt vom jeweils betrachteten Temperaturbereich ab; daher ist es wichtig, den Temperaturbereich zu kennzeichnen, für den der Q_{10} -Wert ermittelt wurde. Als **Faustregel** gelten für biochemische Reaktionen, aber auch komplexere Vorgänge Q_{10} -Werte von **2–3**.

Aufgaben

1. Formulieren Sie mit Ihren eigenen Worten den Inhalt der RGT-Regel.
2. Berechnen Sie, um wie viel schneller biochemische Reaktionen in den Zellen einer Biene ablaufen, wenn diese von 5 °C auf 35 °C erwärmt werden.
3. Erläutern Sie die biologische Bedeutung von Enzymen. Erklären Sie anschließend die Tatsache, dass die RGT-Regel für Lebewesen nur in einem Temperaturbereich von ca. 0 °C bis 50 °C anwendbar ist.

Der Öko-Faktor Temperatur und die Fotosyntheserate

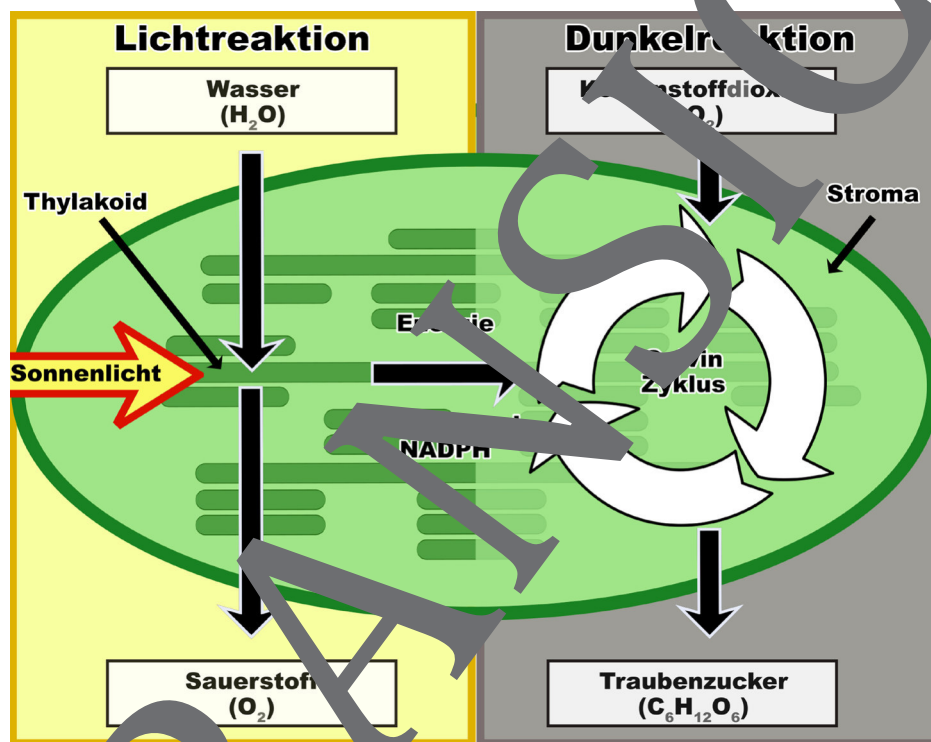
M 2

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:

- **lichtabhängige 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

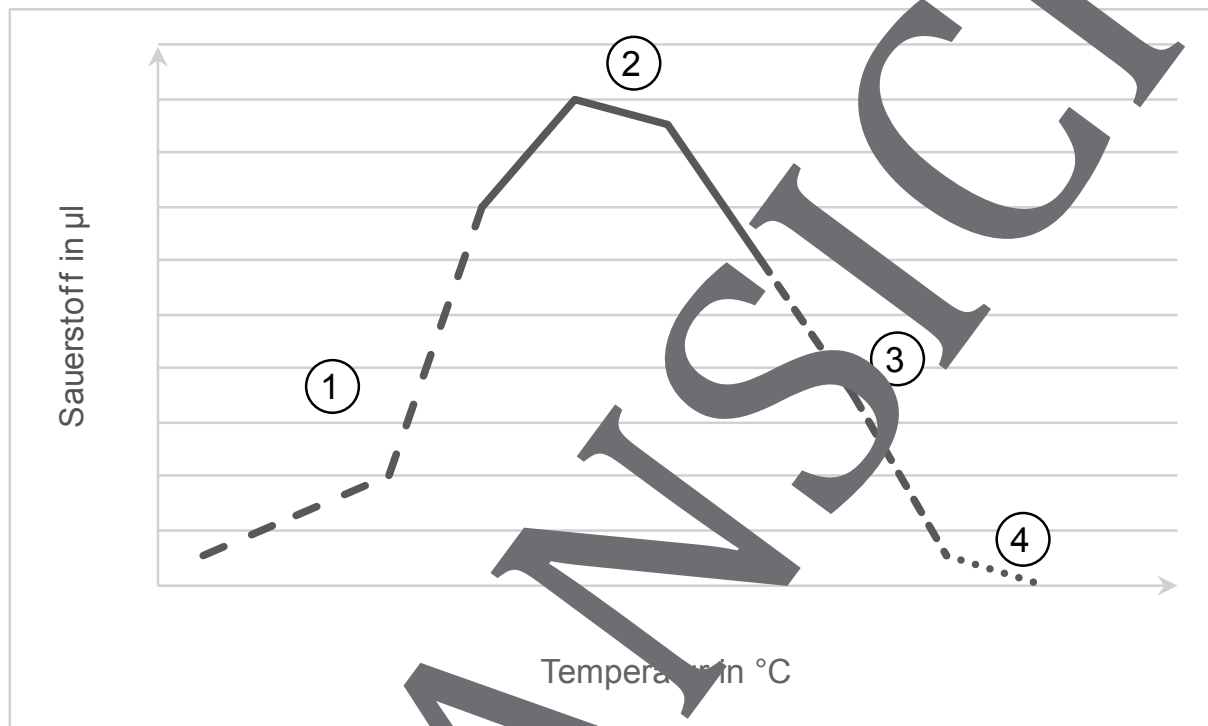
a) Formulieren Sie die Grundgleichung der Fotosynthese.

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

Aufgabe 3

Bei einer Versuchspflanze wurde die Menge des von ihr produzierten Sauerstoffs während einer fünfminütigen Versuchsdauer im Starklicht gemessen. Betrachten Sie die grafisch dargestellten Versuchsergebnisse.

- Erklären Sie, wieso die Sauerstoffproduktion als Indikator für die Fotosyntheseintensität dienen kann.
- Erläutern Sie den Verlauf der Temperaturkurve in jedem der markierten Abschnitte.



Toleranzbereiche von Lebewesen

M 3

Untersucht man die Wirkung unterschiedlicher Temperaturen auf die Fotosyntheserate, die Entwicklungsdauer von Tieren oder die Stoffwechselfähigkeit von Mikroorganismen und stellt dies 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**. In der Natur 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 Anpassungen 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 Vorratschädlinge, 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.

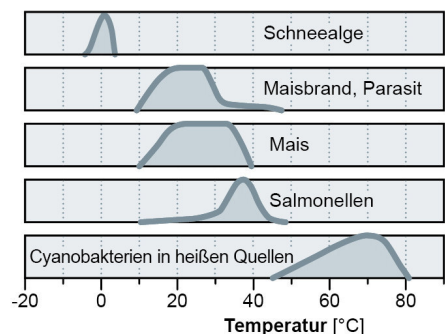


Abbildung 1: Optimale Temperaturen unterschiedlicher Arten

© Matthias Ende

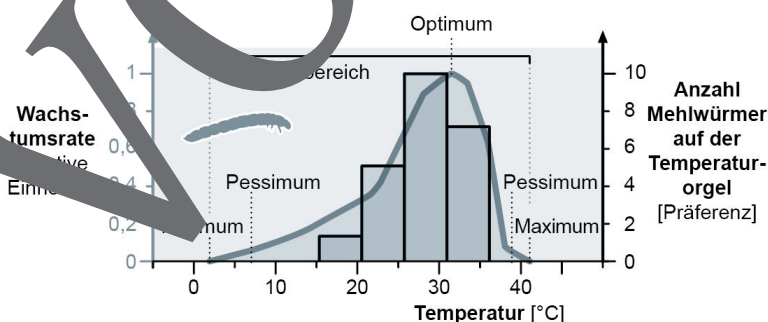


Abbildung 2: Toleranzkurve des Mehlwurms

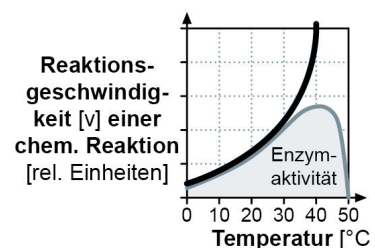


Abbildung 3: Enzymaktivität beim Mehlwurm

© Matthias Ende

Temperatureinfluss auf den Stoffwechsel am Beispiel des Wasserfloh

M 4

Bei unterschiedlichen Temperaturen kann man die Intensität des Stoffwechsels über die Herzschlagfrequenz eines Lebewesens bestimmen.

Material:

☐ Wasserflöhe	☐ Deckgläser	☐ 1 Glasstab	☐ warmes Wasser
☐ 1 Becherglas (100 ml)	☐ 1 Thermometer	☐ 1 Stoppuhr	☐ Eintrichter
☐ Objektträger	☐ 1 Pipette	☐ 1 Wasserkocher	

Durchführung:

- Bereiten Sie in Gruppen in dem kleinen Becherglas Wasser unterschiedlicher Temperatur vor (25 °C, 20 °C, 15 °C, 10 °C, 5 °C).
- Geben Sie einige Wasserflöhe in das Becherglas und warten Sie 2–3 Minuten.
- Legen Sie in der Zwischenzeit einen Objektträger und ein Deckglas bereit.
- Entnehmen Sie dann mit der Pipette einen Wasserfloh, positionieren ihn auf dem Objektträger, decken das Deckglas darüber und mikroskopieren ihn.

Hinweis: Vorher sollten Sie evtl. über den Mund des Wasserflohs absaugen, damit sich die Wasserflöhe nicht zu schnell bewegen.

- Zählen Sie die Herzschläge des Wasserflohs 30 Sekunden lang.
- Wiederholen Sie den Versuch mindestens 2-mal.
- Errechnen Sie am Ende die Herzfrequenz, indem Sie die Werte der Herzschläge auf eine Minute hochrechnen.

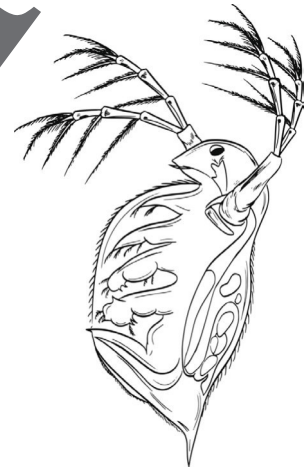


Abbildung 1: Die Anatomie eines Wasserfloh

Temperatur	Herzschläge (pro 30 Sekunden)		Herzfrequenz (Herzschläge pro Minute)	
	1. Durchgang	2. Durchgang	1. Durchgang	2. Durchgang
30 °C				
25 °C				
20 °C				
15 °C				
10 °C				
5 °C				

Aufgaben:

1. Tragen Sie die Ergebnisse im Kurs zusammen und errechnen Sie die Mittelwerte für alle gemessenen Temperaturen.
2. Erklären Sie Ihre Messergebnisse, indem Sie den Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Temperatur erläutern. Stellen Sie einen Zusammenhang zur RGT-Regel her.

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.

Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!

www.raabits.de

