



**ILLUSTRIERENDE PRÜFUNGSAUFGABEN  
FÜR DIE SCHRIFTLICHE ABITURPRÜFUNG**

**Teil 1: Beispielaufgaben**

Die Illustrierenden Prüfungsaufgaben (Teil 1: Beispielaufgaben, Teil 2: Lösungsvorschläge, Teil 3: Erläuterungen) dienen der einmaligen exemplarischen Veranschaulichung von Struktur, Anspruch und Niveau der Abiturprüfung auf grundlegendem bzw. erhöhtem Anforderungsniveau im neunjährigen Gymnasium in Bayern.

**Biologie**  
**erhöhtes Anforderungsniveau**

**Arbeitszeit: 300 Minuten**

Bearbeiten Sie drei der vier Aufgaben.

Als Hilfsmittel darf ein zugelassener Taschenrechner verwendet werden.

## A 1 Alpen

Die Alpen sind v. a. terrestrischer Lebensraum für verschiedene Tiere wie Alpensteinbock (*Capra ibex*) und Gämse (*Rupicapra rupicapra*), beinhalten aber auch aquatische Ökosysteme wie Seen, Flussläufe und Bäche, die z. T. auch vom Menschen, beispielsweise zur Forellenzucht, genutzt werden.

	<b>BE</b>
<b>1.1</b> Fertigen Sie ein Diagramm der Populationsentwicklung des Alpensteinbocks im Kanton Graubünden im Zeitraum von 1923 bis 2020 an und beschreiben Sie allgemein die darin erkennbaren Phasen einer Populationsentwicklung. (M 1)	8
<b>1.2</b> Leiten Sie die Fortpflanzungsstrategie des Alpensteinbocks im Vergleich zu der des Gemeinen Holzbocks ab. (M 1)	4
<b>2</b> Vergleichen Sie die Bildung von ATP durch die Atmungskette in braunen Fettzellen bei geschlossenem und geöffnetem UCP-1-Protein auf der Grundlage der chemiosmotischen Theorie. (M 2) Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, warum die Öffnung des UCP-1-Proteins im braunen Fettgewebe zum Wärmehaushalt der Tiere beiträgt. (M 2)	6
<b>3.1</b> Interpretieren Sie das in Abbildung 2 dargestellte Diagramm. (M 3)	5
<b>3.2</b> Planen Sie ein hypothesengeleitetes Experiment zum Einfluss der Lichtqualität auf die Vermehrung der Vielwurzigen Teichlinse. (M 3)	7
<b>4</b> Vergleichen und erklären Sie die Tiefenverbreitung von Regenbogenforellen im Frühjahr und Sommer auf der Grundlage der in Abbildung 3 gezeigten abiotischen Faktoren. (M 4) Skizzieren Sie eine allgemeine, beschriftete Darstellung einer ökologischen Toleranzkurve und beurteilen Sie, ob eine Toleranzkurve zum Faktor Temperatur für die Regenbogenforelle auf der Grundlage der in Abbildung 3 dargestellten Daten erstellt werden kann. (M 4)	10

**40**

## Material 1: Alpensteinböcke

Im Jahr 1920 war der Alpensteinbock im Schweizer Kanton Graubünden ausgerottet. Nach der Auswilderung weniger Tiere in diesem Jahr hat sich der Bestand dieser Tierart dort wie folgt entwickelt (Tab. 1):

Tab. 1: Bestandsentwicklung des Alpensteinbocks in Graubünden<sup>1</sup>

Jahr	1923	1933	1943	1953	1963	1973	1983	1993	2003	2006	2020
Individuenzahl	25	100	600	400	1200	3500	5100	6200	4800	5700	6000

Durch den Klimawandel bedingt dringt im Alpenraum die Zeckenart Gemeiner Holzbock (*Ixodes ricinus*) in immer höher liegende Lebensräume vor. Die Weibchen dieser Zeckenart ernähren sich als Parasit vom Blut von Säugetieren. Dies könnte dazu führen, dass der Gemeine Holzbock dort auch mit den Alpensteinböcken in Kontakt kommt. Folgende Tabelle 2 fasst Informationen zum Alpensteinbock und zum Gemeinen Holzbock vergleichend zusammen:

Tab. 2: Informationen zu Alpensteinbock und Gemeinem Holzbock

	maximale Lebensdauer in Jahren	durchschnittliche Körpermasse der Weibchen	durchschnittliche Zahl an Nachkommen pro Jahr	Eintritt der Geschlechtsreife nach
Alpensteinbock	14	45 kg	1 bis 2	2,5 Jahren
Gemeiner Holzbock	6	0,3 g	2000 (Eier)	3 Jahren

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 2: Wärmehaushalt bei Gämsen

Eine Anpasstheit von Gämsen an das Leben im Hochgebirge ist ihr braunes Fettgewebe, das unter anderem durch Wärmeproduktion Schutz vor Unterkühlung bietet. Die Fähigkeit des braunen Fettgewebes, den Körper auch bei extrem niedrigen Temperaturen zu wärmen, geht auf ein spezielles Protein, das UCP-1, in der inneren Mitochondrienmembran zurück. UCP-1 ist ein Tunnelprotein für Protonen, das bei Kälte geöffnet werden kann (Abb. 1).

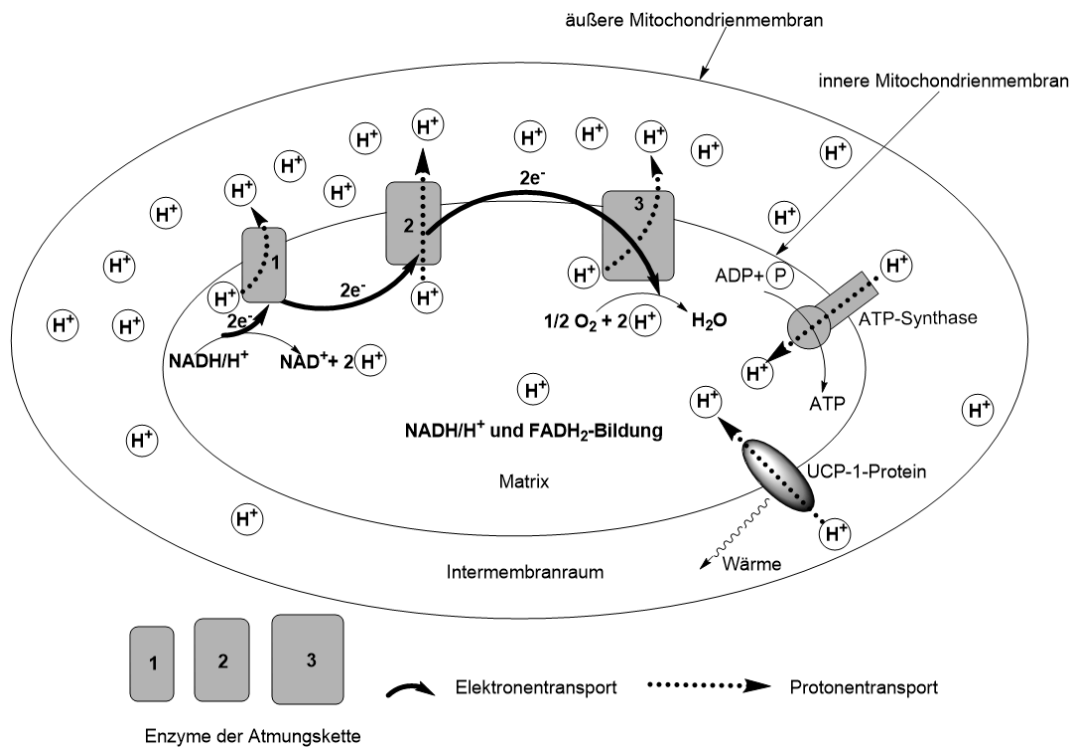


Abb. 1: chemiosmotische Vorgänge im Mitochondrium<sup>2</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

### Material 3: Forellenzucht im Alpenvorland

Im bayerischen Alpenvorland wird Fischzucht betrieben. Ein Fischteich nahe Rosenheim mit einer Wasseroberfläche von ca. zwei Hektar wird zur Zucht von Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) genutzt. Der Teich und seine beiden Zuflüsse sind von landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben. In das Gewässer wurde von Wasservögeln die Vielwurzelige Teichlinse (*Spirodela polyrhiza*) eingebracht. Dabei handelt es sich um auf der Wasseroberfläche treibende Pflanzen mit wenigen, linsengroßen Blättchen, die sich ungeschlechtlich vermehren und somit im Sommer ein Gewässer innerhalb weniger Wochen komplett bedecken können.

In einer Seminararbeit zur Charakterisierung dieses Gebiets wurde der Nitratgehalt der Zuflüsse und des Ablaufs des Fischteichs über fast ein halbes Jahr hinweg regelmäßig bestimmt. Die erhaltenen Messwerte sind in der folgenden Abbildung 2 zusammengefasst:

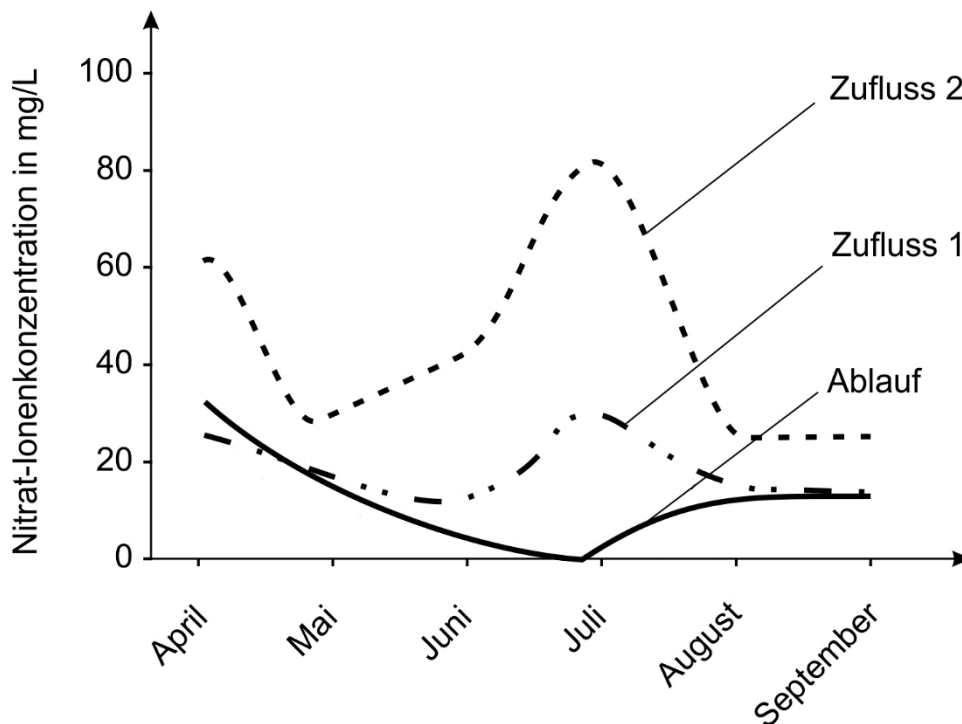


Abb. 2: Nitrat-Ionenkonzentrationen in den Zuflüssen und im Ablauf des Fischteichs in mg/L

In einer weiteren Seminararbeit soll der Einfluss der Lichtqualität auf die Vermehrung der Vielwurzeligen Teichlinse untersucht werden. Dazu stehen neben den üblichen Laborgeräten und Chemikalien baugleiche Lichtquellen mit einem roten, grünen sowie einem blauen Farbfilter (Farbfilter lassen nur Licht einer bestimmten Farbe passieren) zur Verfügung.

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 4: Abiotische Umweltfaktoren bei Regenbogenforellen

Regenbogenforellen bevorzugen kaltes, sauerstoffreiches Wasser. Bei Temperaturen über 23 °C und einem Sauerstoffgehalt unter 2,5 mg/L können sie nicht überleben. Die Diagramme in Abbildung 3 zeigen die Faktoren Temperatur und Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von der Wassertiefe eines Alpensees sowie die Tiefenverbreitung von Regenbogenforellen in diesem Gewässer zu unterschiedlichen Jahreszeiten.

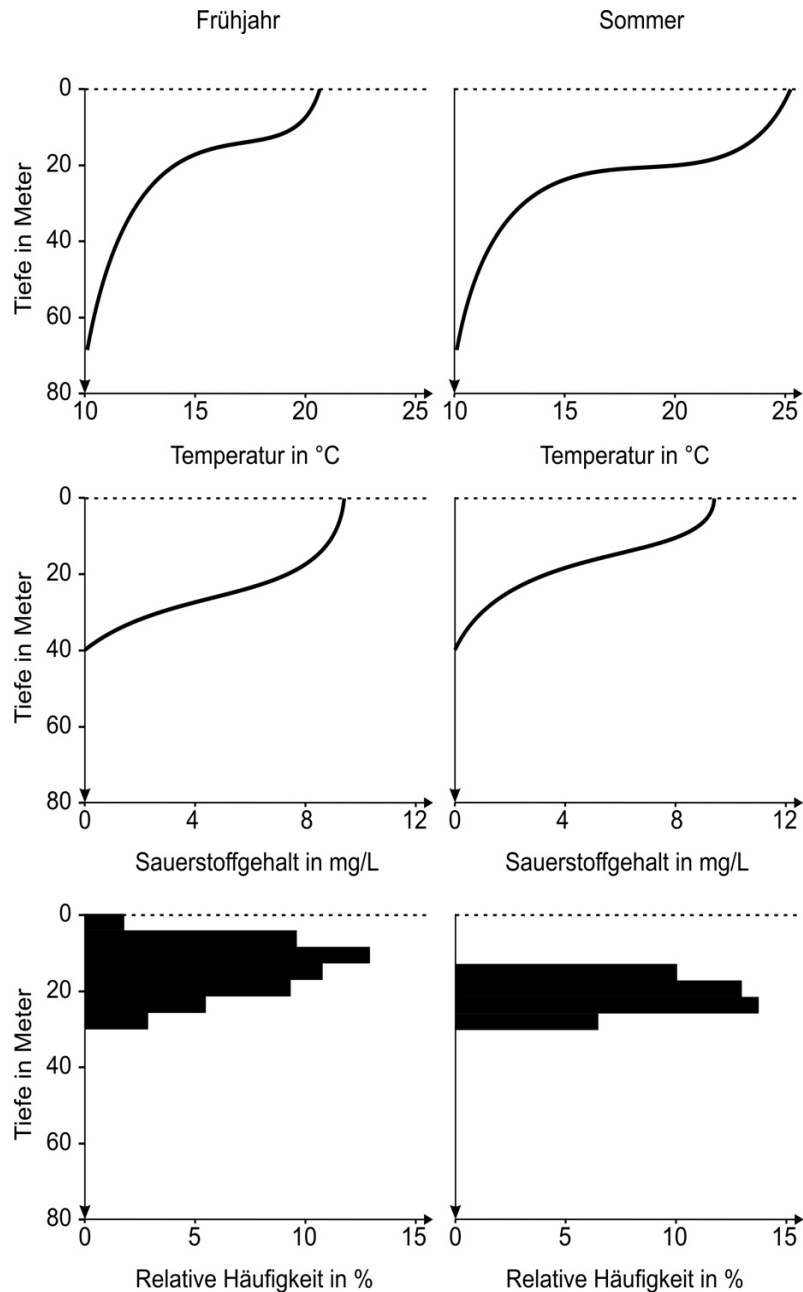


Abb. 3: Tiefenverbreitung von Regenbogenforellen, Temperatur und Sauerstoffgehalt in einem Alpensee im Frühjahr und Sommer<sup>3</sup>

Quellen:

- <sup>1</sup> Daten aus: G. Brosi: 30 Jahre Steinwildjagd in Graubünden. Amt für Jagd und Fischerei Graubünden (2007)
- <sup>2</sup> Cannon, B. & Nedergaard, J. (2004). Brown Adipose tissue: Function and physiological significance. *Physiological Reviews*, 84(1), 277–359.
- <sup>3</sup> Rowe, D. K. & Chisnall, B. L. (1995). Effects of oxygen, temperature and light gradients on the vertical distribution of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in two North Island, New Zealand, lakes differing in trophic status. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29(3), 421–434.

## A 2 Anolis

Anolis, auch Saumfingerechsen genannt, sind kleine baumbewohnende Echsen, die zu den Leguanartigen zählen. Der Verbreitungsschwerpunkt der Gattung liegt in der Karibik. Hier werden die verschiedenen Inseln von über 100 verschiedenen Arten besiedelt.

	<b>BE</b>
<b>1.1</b> Beurteilen Sie, ob sich anhand der Ähnlichkeit der einzelnen Ökomorphen von verschiedenen Inseln die Stammesgeschichte rekonstruieren lässt. Wählen Sie dazu mindestens zwei Arten als konkretes Beispiel. (M 1)	6
<b>1.2</b> Definieren Sie den Begriff molekulare Homologie und ordnen Sie die Basensequenzen A, B und C den Arten <i>Anolis cuvieri</i> , <i>A. acutus</i> und <i>A. grahami</i> zu. (M 1)	6
<b>2.1</b> Erklären Sie anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse das Verhalten des Anolis-Männchens und erklären Sie die Partnerwahl des Weibchens mithilfe des Handicap-Prinzips. (M 2)	6
<b>2.2</b> Erklären Sie die Kommunikation zwischen männlichen und weiblichen Anolis auf Grundlage des Sender-Empfänger-Modells und entwickeln Sie eine Hypothese zur Entstehung der UV-reflektierenden Kehlfahne bei <i>Anolis conspersus</i> . (M 2)	5
<b>3</b> Beschreiben Sie die in Material 3 gezeigten Untersuchungsergebnisse und beurteilen Sie, ob die Untersuchungsergebnisse geeignet sind, den evolutiven Erklärungsansatz von Lamarck zu stützen. Differenzieren Sie dabei aus heutiger Sicht zwischen naturwissenschaftlichen und nicht-naturwissenschaftlichen Aspekten. (M 3)	7
<b>4</b> Erläutern Sie die gute Eignung des Tyrosinase-Gens zur Erprobung eines molekularbiologischen Werkzeugs wie CRISPR-Cas9 und beurteilen Sie, ob es sich bei den Nachkommen eines gentechnisch modifizierten Anolis-Weibchens um Knock-Out-Organismen handeln könnte. (M 4)	10
	<b>40</b>

## Material 1: Stammbaum und Verbreitung von Anolis in der Karibik

Auf den klimatisch ähnlichen Karibikinseln Puerto Rico, Hispaniola und Jamaika kommen jeweils drei Anolisarten vor. So leben auf diesen Inseln jeweils eine sehr große Anolisart, welche die Baumkronen bewohnt (Baumkronenanolis), eine mittelgroße und kräftige Art, die Stämme besiedelt (Stammanolis), und eine zierliche Art, die im Gras lebt (Grasanolis). Die verschiedenen Formen sind mit ihrem Körperbau an den jeweiligen Lebensraum angepasst und werden als Ökomorphen bezeichnet (Abb. 1).

Um deren evolutive Entstehung erklären zu können, wurde die Basensequenz eines bestimmten Gens (COI) der verschiedenen Arten auf jeder der drei Inseln verglichen. Aufgrund der molekularen Homologie der Gene lässt sich daraus ein Stammbaum erstellen (Abb. 2):

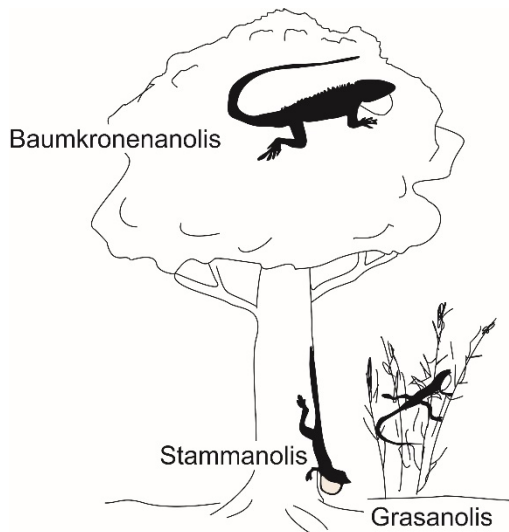


Abb. 1: Schematische Darstellung von drei verschiedenen Ökomorphen der Gattung *Anolis*<sup>1</sup>

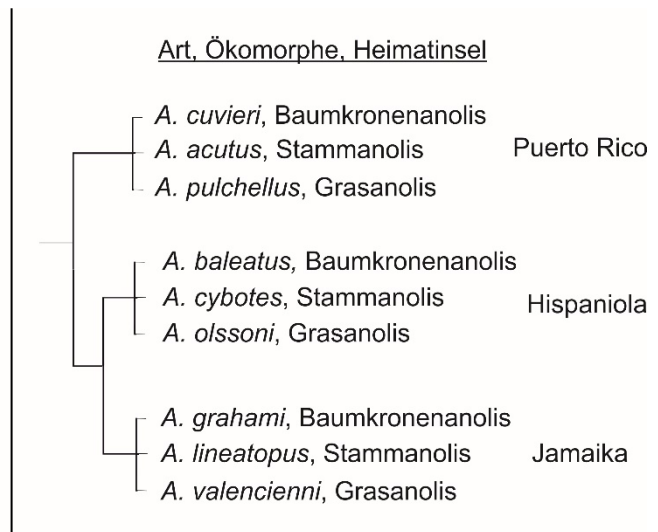


Abb. 2: Stammbaum von jeweils drei Anolisarten auf den Karibikinseln Puerto Rico, Hispaniola und Jamaika<sup>1</sup>

In der Abbildung 3 sind die homologen Abschnitte von Basensequenzen des COI-Gens von *Anolis cuvieri*, *A. acutus* und *A. grahami* dargestellt.

- A) AGT CGG CAC AGC AAG TTT AAT
- B) AGC CAC CGT AGC CCG TGG AAT
- C) AGT CGT CAC AGC AAG TCT AAT

Abb. 3: homologe Abschnitte von Basensequenzen des COI-Gens von *Anolis cuvieri*, *A. acutus* und *A. grahami*



## Material 2: Kehlfahne

Anolis sind kleine, wehrlose Echsen, die ins Nahrungsspektrum von zahlreichen Vögeln, Kleinsäu-  
gern oder auch Schlangen passen. Durch gute Tarnung und unauffälliges Verhalten versuchen  
Anolis daher möglichst nicht entdeckt zu werden.

Männliche Anolis besitzen jedoch eine auffällige Kehlfahne (Abb. 4), die sie beim Anblick eines  
Weibchens mehrmals hintereinander aufstellen und wieder einklappen. Sind die Körper der Anolis  
meist in Braun- oder Grüntönen gehalten, so hebt sich die Farbe der Kehlfahne maximal vom Hin-  
tergrund ab. Anolisarten, die ein offenes Habitat bewohnen, besitzen oft rote Kehlfahnen, und Wald-  
bewohner eher gelblich-weiße Kehlfahnen, die vor dem dunklen Hintergrund fast zu leuchten schei-  
nen. Weibchen wählen als potenzielle Partner bevorzugt Männchen mit besonders großen und auf-  
fälligen Kehlfahnen.

Im Laufe der Evolution sind bei den Männchen von *Anolis conspersu*, einer mit *Anolis grahami* eng  
verwandten Art, Kehlfahnen entstanden, die für unsere Augen eher unauffällig dunkelblau gefärbt  
sind, jedoch stark ultraviolettes (UV-) Licht reflektieren. Wie alle anderen Echsen auch können A-  
nolis Licht im UV-Bereich wahrnehmen.

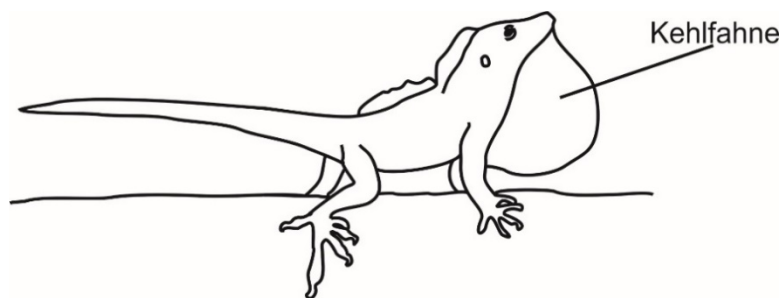


Abb. 4: männlicher Anolis mit aufgestellter Kehlfahne

### Material 3: Hinterbeinlängen

In der Natur haben Anolis-Individuen, die auf breiten Ästen leben, längere Beine als diejenigen, die auf schmalen Ästen leben.

Forschende fragten sich, ob diese Anpasstheit auf natürlicher Selektion beruht oder ob sich die Beinlänge innerhalb der Individualentwicklung anpassen könne. Dazu wurde in einem Experiment eine Gruppe frisch geschlüpfter Anolis der Art *Anolis sagrei* auf zwei Terrarien aufgeteilt, von denen unter sonst gleichen Bedingungen das eine ausschließlich mit schmalen Ästen und das andere nur mit breiten Ästen bestückt wurde. Zu Beginn des Experiments sowie ein halbes Jahr später wurden jeweils die Hinterbeinlängen der Anolis in beiden Terrarien gemessen. Anhand der Messungen wurde die relative Zunahme der Hinterbeinlängen ermittelt (Abb. 5).

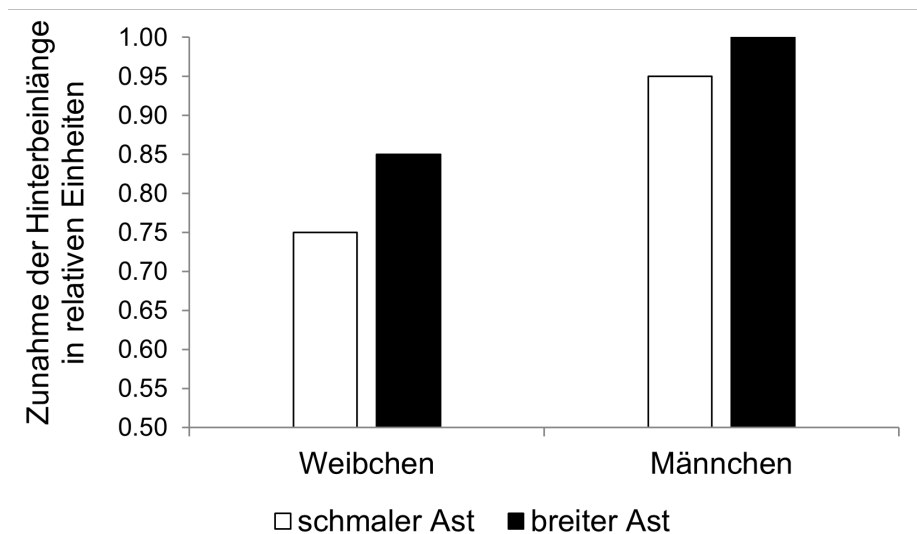


Abb. 5: Zunahme der Hinterbeinlänge von weiblichen und männlichen Anolis, die auf schmalen bzw. breiten Äste aufgezogen wurden<sup>2</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 4: CRISPR-Cas9

Das erste Reptil, das gentechnisch verändert wurde, war ebenfalls ein Anolis. In die unreifen Eizellen im Körper eines Anolis-Weibchens wurde das molekularbiologische Werkzeug CRISPR-Cas9 injiziert, um gezielt Mutationen im zweiten Exon des Gens für das Enzym Tyrosinase hervorzurufen. Dieses Enzym ist an der Synthese des braunen Farbstoffs Melanin beteiligt, der die Dunkelfärbung der Haut bewirkt. Im Folgenden sind der codogene Strang eines Abschnitts dieses Exons des Wildtyps sowie eine mutierte Variante des Wildtyps abgebildet:

Wildtyp:            3' –    GAC   CTT   CGG   CTC   CAC   AGG   – 5'  
 Mutation:        3' –    GAC   CTT   CGG   ATC   CAC   AGG   – 5'

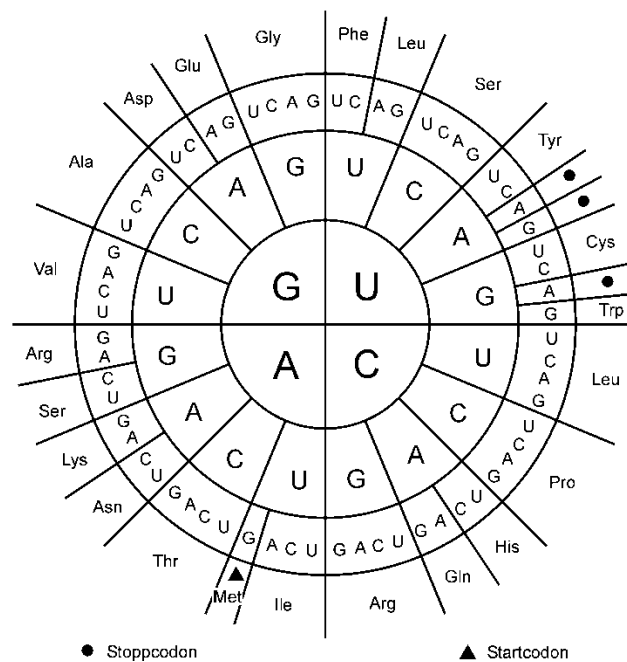


Abb. 6: Code-Sonne

### Quellen:

- <sup>1</sup> J. B. Losos (2009): Lizards in an evolutionary tree: ecology and adaptive radiation of anoles. University of California Press, S. 507
- <sup>2</sup> J. B. Losos et al. (2000): Evolutionary implications of phenotypic plasticity in the hindlimb of the lizard *Anolis sagrei*. In: *Evolution*, 54(1), S. 301-305.

### A 3 Pflanzen unter neurobiologischer Perspektive

Auch Pflanzen müssen Informationen aus ihrer Umwelt aufnehmen und diese verarbeiten, um auf sie reagieren zu können. Dabei bedienen sie sich teilweise ähnlicher Mechanismen, wie sie aus der neuronalen Informationsverarbeitung im Tierreich bekannt sind. Gleichzeitig produzieren Pflanzen auch eine Vielzahl an Stoffen, die Informationsverarbeitungsprozesse im Körper des Menschen positiv oder negativ beeinflussen können.

	<b>BE</b>
<b>1.1</b> Erklären Sie den Verlauf eines Aktionspotentials an der Membran einer tierischen Nervenzelle auf der Grundlage der Ionentheorie und vergleichen Sie das pflanzliche Aktionspotential bei der Armlauchteralge mit dem Aktionspotential einer typischen tierischen Nervenzelle hinsichtlich dreier Gemeinsamkeiten und dreier Unterschiede. (M 1)	9
<b>1.2</b> Leiten Sie auf der Grundlage von Abbildung 2 das Vorhandensein einer Refraktärphase bei pflanzlichen Zellen sowie einen Schätzwert für die Dauer dieser Refraktärphase ab. (M 2)	4
<b>2.1</b> Erklären Sie die molekularen Ursachen einer Depression nach der Monoamin-Hypothese und beurteilen Sie auf deren Grundlage die prinzipielle Eignung der Stoffe Reserpin sowie Hyperforin für die Behandlung von Depressionen. (M 3)	8
<b>2.2</b> Erklären Sie den Zusammenhang zwischen den in Abbildung 4 veranschaulichten Untersuchungsergebnissen und den in Abbildung 3 dargestellten Prozessen. (M 3)	5
<b>3.1</b> Beurteilen Sie, inwiefern die in Abbildung 5 dargestellten Ergebnisse die Fragestellung der Untersuchung beantworten, und beschreiben Sie zwei mögliche Fehlerquellen bei der Planung bzw. Durchführung dieser Untersuchung. (M 4)	4
<b>3.2</b> Bewerten Sie die Durchführung der in Material 4 beschriebenen Studie aus ethischer Perspektive unter Einbezug je eines Pro- und eines Kontraarguments. (M 4)	4
<b>4</b> Beschreiben Sie die Funktion von Rhodopsin bei der Signaltransduktion im menschlichen Auge und nennen Sie zwei Gemeinsamkeiten der Funktionsweisen von Rhodopsin und dem Phytochrom-System in Pflanzen. (M 5)	6

**40**

## Material 1: Aktionspotentiale bei Armleuchteralgen

Voraussetzung für Reaktionen bei Tieren ist üblicherweise das Vorhandensein eines Nervensystems. Ähnlich wie bei tierischen Nervenzellen können auch bei bestimmten Pflanzenzellen, wie z. B. bei Zellen der Armleuchteralgen (Characeae), mit vergleichbaren Methoden sowohl Ruhepotentiale als auch nach Reizung Aktionspotentiale gemessen werden.

In der folgenden Abbildung ist der Verlauf des Aktionspotentials an einer Zellmembran einer Armleuchteralgen-Zelle abgebildet:

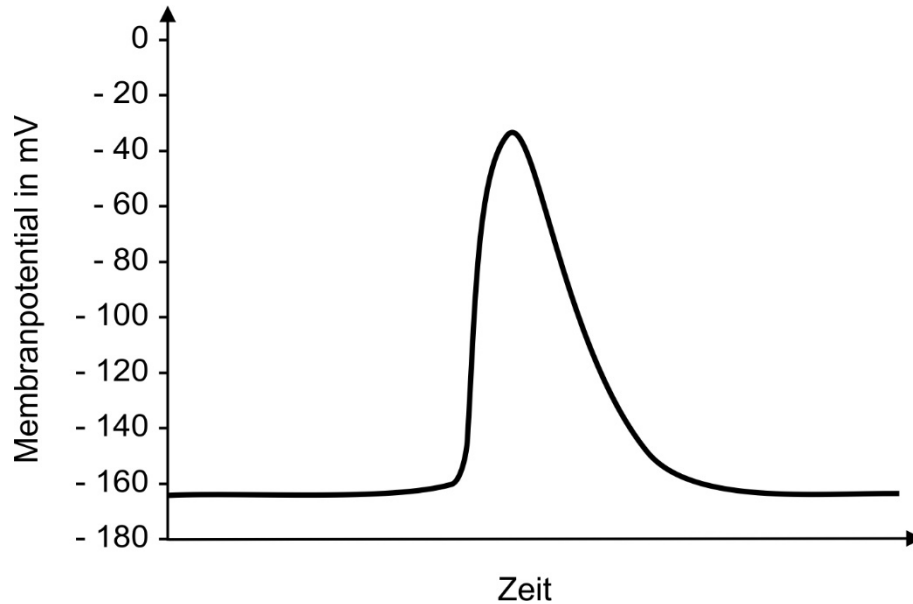


Abb. 1: Aktionspotential einer Armleuchteralgen-Zelle<sup>1</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 2: Refraktärphase bei Pflanzenzellen

Die Abbildung 2 zeigt Daten zu Veränderungen des Membranpotentials bei Pflanzenzellen nach jeweils überschwelliger Reizung.

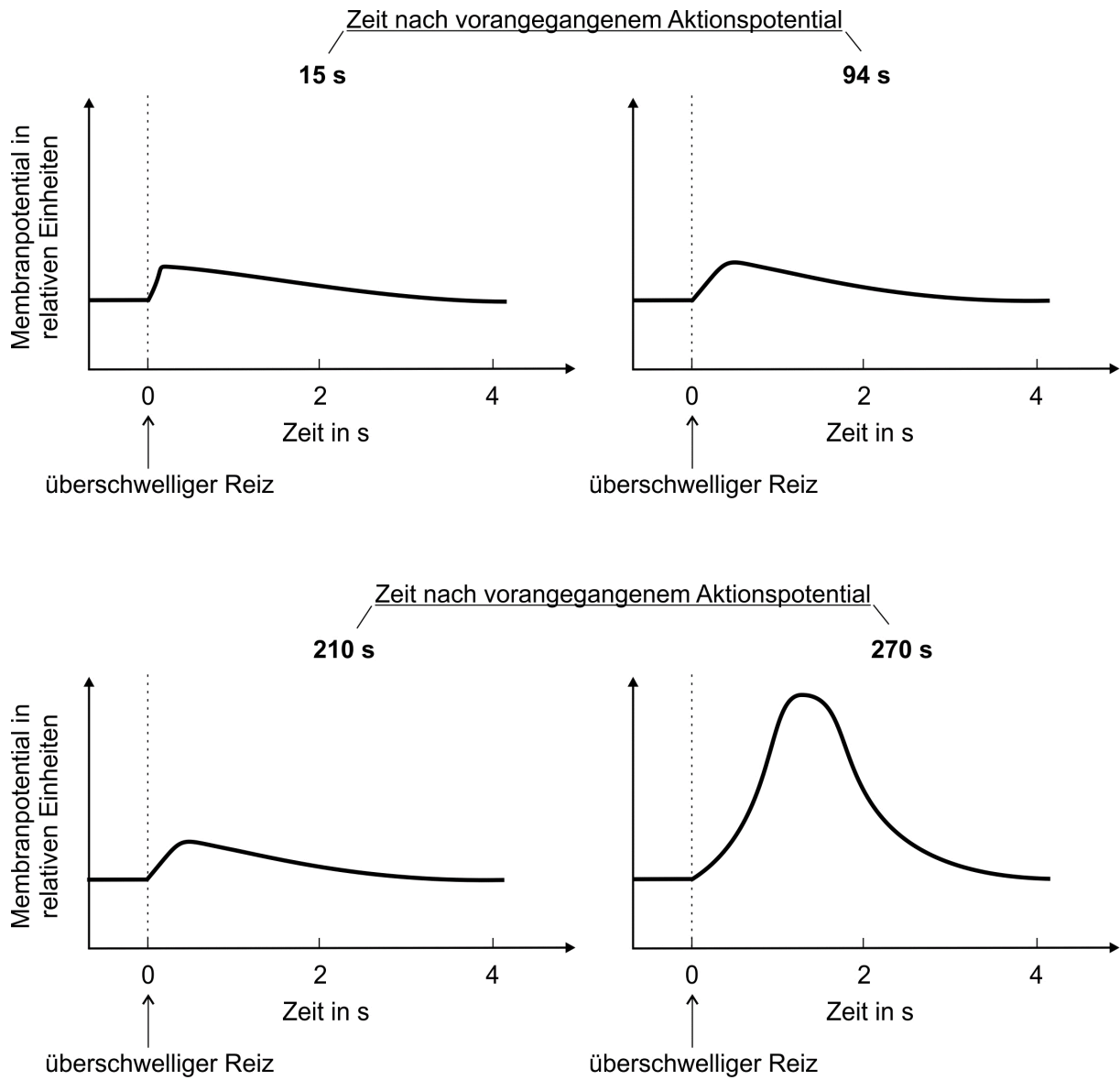


Abb. 2: Änderungen des Membranpotentials bei der überschwelligen Reizung von Pflanzenzellen<sup>2</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

### Material 3: Rolle pflanzlicher Arzneistoffe bei Depressionen

Aus vielen Pflanzen können Arzneimittel gewonnen werden, die sich zur Behandlung neurologischer Erkrankungen eignen oder aber auch in unerwünschter Weise neurobiologische Prozesse beeinflussen und so Nebenwirkungen hervorrufen können.

Die indische Schlangenzunge (*Rauvolfia serpentina*), eine Kletterpflanze aus der Familie der Hundsgiftgewächse, produziert beispielsweise den Stoff Reserpin. Dieser hat in der neurobiologischen Grundlagenforschung große Aufmerksamkeit erhalten. Reserpin hemmt u. a. den vesikulären Monoamintransporter VMAT2. Der VMAT2 ist ein Transportprotein in der Membran präsynaptischer Vesikel in Nervenzellen, das die Aufnahme von Neurotransmittern wie Noradrenalin, Dopamin und Serotonin in die Vesikel erleichtert, bevor diese mit der präsynaptischen Membran verschmelzen und ihren Inhalt in den synaptischen Spalt ausschütten können.

Ein anderer medizinisch relevanter Stoff ist Hyperforin, der aus den Blüten des Echten Johanniskrauts (*Hypericum perforatum*) isoliert werden kann. Hyperforin beeinflusst die Wiederaufnahme von Neurotransmittern wie Serotonin, Dopamin oder Noradrenalin aus dem synaptischen Spalt in das Endknöpfchen der präsynaptischen Zelle. Diese Wiederaufnahme erfolgt über spezifische Membranproteine; ihr Mechanismus ist stark vereinfacht in Abbildung 3 dargestellt. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse eines Laborexperiments, in dem der Einfluss von Hyperforin auf kultivierte Zellen untersucht wurde.

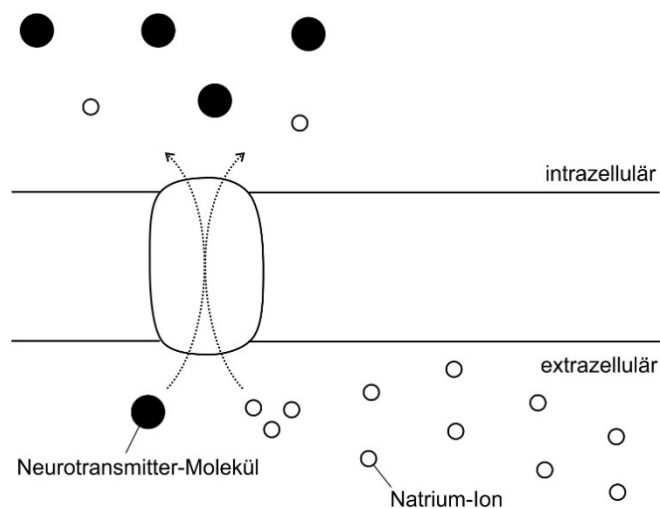


Abb. 3: Transportmechanismus

(Fortsetzung nächste Seite)

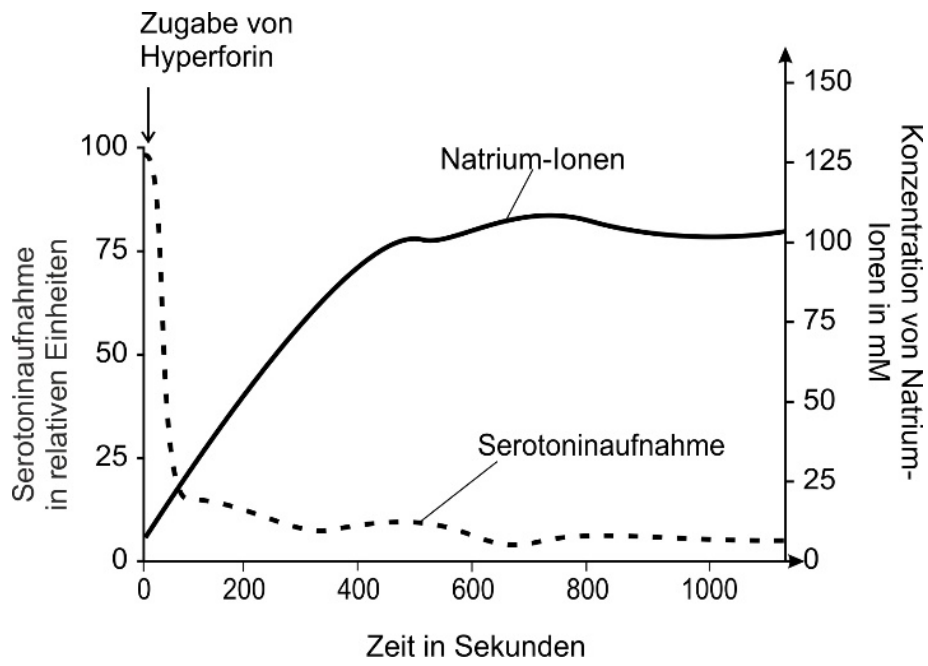


Abb. 4: Wirkung von Hyperforin auf die Serotonin-Wiederaufnahme und die intrazelluläre Natrium-Ionenkonzentration<sup>3</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)



#### Material 4: Cytisin im Rahmen der Tabakentwöhnung

Aus den Samen, Blüten und Blättern des Gemeinen Goldregens (*Laburnum anagyroides*) kann das Alkaloid Cytisin gewonnen werden. Diese Substanz wechselwirkt mit einem bestimmten Rezeptor, der auch an der Suchtentstehung durch Nikotin, dem wirksamen Bestandteil des Tabakrauchs, beteiligt ist. In einigen Ländern wurde Cytisin deshalb über viele Jahre hinweg zur Tabakentwöhnung eingesetzt. Untersuchungen zu Wirksamkeit und Sicherheit von Cytisin lagen allerdings lange Zeit nicht vor.

In einer Studie wurde die Eignung von Cytisin im Vergleich zu einer konventionellen Nikotinersatztherapie (NET) hinsichtlich der beiden Aspekte Wirksamkeit und Sicherheit verglichen. Erwachsene Raucher, die freiwillig an der Studie teilnahmen, erhielten dabei entweder für einen Zeitraum von 25 Tagen täglich Cytisin oder für acht Wochen eine Nikotin-Ersatztherapie.

Die Teilnehmer der Cytisin-Gruppe wurden angewiesen, ihren Nikotin-Konsum so zu reduzieren, dass sie am Tag 5 nicht mehr rauchten. Parallel sollten sie nach einem vorgegebenen Schema die Einnahme von Cytisin von täglich sechs Tabletten auf täglich zwei Tabletten innerhalb des Untersuchungszeitraums reduzieren.

Die Nikotin-Ersatztherapie (z. B. Nikotinpflaster oder -kaugummis) in der Parallelgruppe wurde von Rauchstopp-Beratern individuell festgelegt.

Erhoben wurde die Selbstauskunft der Probanden über ihre Tabak-Abstinenz zu verschiedenen Zeitpunkten. Abbildung 3 zeigt Ergebnisse der Untersuchung.

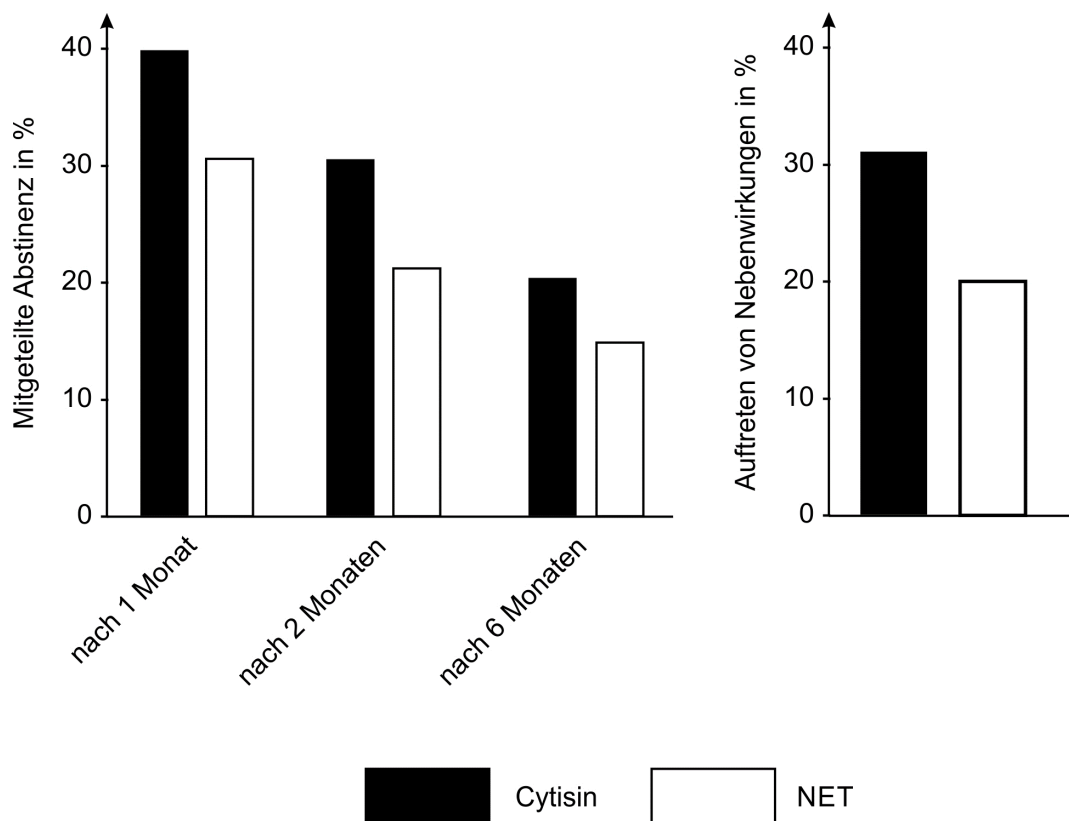


Abb. 5: Ergebnisse der Studie. Links: Mitgeteilte Abstinenz zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Beendigung der Studie. Rechts: Auftreten unerwünschter Nebenwirkungen (v. a. Übelkeit, Erbrechen, Schlafstörungen)<sup>4</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 5: Das Phytochrom-System

Ähnlich wie Tiere über verschiedenste Sinnesorgane verfügen, mit denen Informationen aus der Umwelt aufgenommen werden können, besitzen auch Pflanzen die Möglichkeit, Reize zu empfangen und so auf bestimmte äußere Bedingungen zu reagieren, z. B. auf das Vorhandensein von Licht. Licht ist für Pflanzen nicht nur als Energiequelle für die Photosynthese bedeutsam, sondern steuert auch zahlreiche Entwicklungsprozesse. Entscheidend daran beteiligt ist das Phytochrom-System (Abb. 6). Phytochrome bestehen aus an Proteine gebundenen Farbstoffmolekülen, die Licht einer bestimmten Wellenlänge absorbieren. Bei Lichtabsorption verändern die Farbstoffmoleküle ihre chemische Struktur, wodurch es auch zu einer Strukturänderung der Proteine kommt. Die beiden Zustände des Phytochroms-Systems, die als  $P_r$  bzw.  $P_{fr}$  bezeichnet werden und durch Absorption von Licht der passenden Wellenlänge wechselseitig ineinander umgewandelt werden können, haben unterschiedliche funktionale Eigenschaften: Während  $P_r$  funktional inaktiv ist, kann die Form  $P_{fr}$  eine Kette verschiedener physiologischer Prozesse in Gang setzen, z. B. die Bildung von Farbstoffen für Blüten und Früchte.

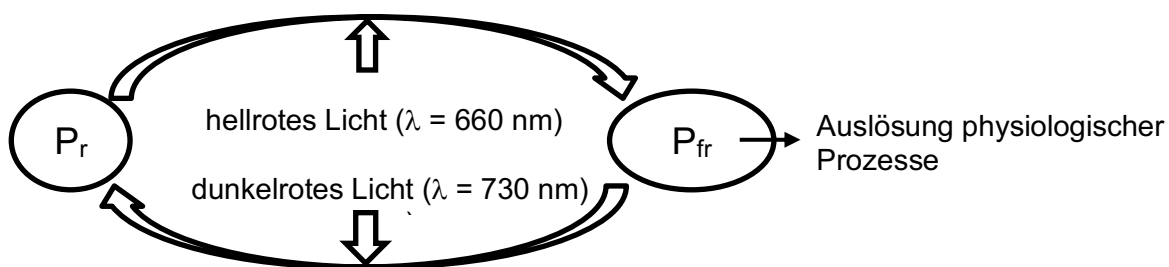


Abb. 6: Phytochrom-System

### Quellen:

- <sup>1</sup> Mohr, H., Schopfer, P., Mohr, H., & Schopfer, P. (1978). Physiologie elektrischer Phänomene. *Lehrbuch der Pflanzenphysiologie*, 536-541.
- <sup>2</sup> U. Lüttge et al.: Botanik. Wiley-VCH, 1999, S. 514
- <sup>3</sup> Hyperforin activates nonselective cation channels (NSCCs), *British Journal of Pharmacology* (2005) 145, 75–83, S. 77
- <sup>4</sup> West, R. A., Zatonski, W., Cedzynska, M., Lewandowska, D., Pazik, J., Aveyard, P. & Stapleton, J. (2011). Placebo-Controlled Trial of Cytisine for smoking cessation. *The New England Journal of Medicine*, 365(13), 1193–1200.

## A 4 Welternährung

Auf der Welt herrscht eine ungleiche Verteilung von Ressourcen und Nahrungsmitteln. Die ausreichende Ernährung der gesamten Weltbevölkerung ist eines der globalen Nachhaltigkeitsziele der Agenda 2030 der Vereinten Nationen.

	<b>BE</b>
<b>1</b> Analysieren Sie die Abbildungen 1 und 2 hinsichtlich der Wirksamkeit von Düngemitteln zur langfristigen Ernährungssicherung. (M 1)	3
<b>2.1</b> Stellen Sie für den vereinfachten Stoffwechselweg bei der Herstellung von Kimchi unter Verwendung der in Abbildung 3 dargestellten Namen und Formeln eine Bruttogleichung auf und vergleichen Sie die Energiebilanz dieses vereinfachten Stoffwechselweges mit den Energiebilanzen der Zellatmung und der alkoholischen Gärung. (M 2)	5
<b>2.2</b> Erstellen Sie unter Bezug auf Abbildung 4 ein beschriftetes Liniendiagramm, das die Populationsentwicklung von <i>Leuconostoc</i> zeigt, und ordnen Sie die Phasen eines idealen Wachstums zu. (M 2)	6
<b>3</b> Stellen Sie die Vorgänge, die bei den lichtabhängigen Reaktionen der Photosynthese zur Bildung von NADPH führen, skizzenhaft als energetisches Modell dar und leiten Sie davon die Wirkung von Atrazin als Herbizid ab. (M 3)	10
<b>4</b> Erklären Sie unter Einbezug von Abbildung 6 auf molekularer Ebene die Wirkung des Stoffes 8-MOP auf die Enzymaktivität des Enzyms Glutathion-S-Transferase. (M 4)	6
<b>5</b> Interpretieren Sie das Diagramm in Abbildung 7 zusammen mit dem Fachtext und formulieren Sie darauf basierend eine Hypothese wie CAM-Pflanzen dem Dilemma zwischen Kohlenstoffdioxid-Aufnahme und Austrocknungsgefahr begegnen. (M 5)	10
	<b>40</b>

## Material 1: Düngemittleinsatz

Zur Ertragssteigerung von Anbauflächen werden Düngemittel eingesetzt. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen Ergebnisse von Erhebungen und Prognosen dazu:

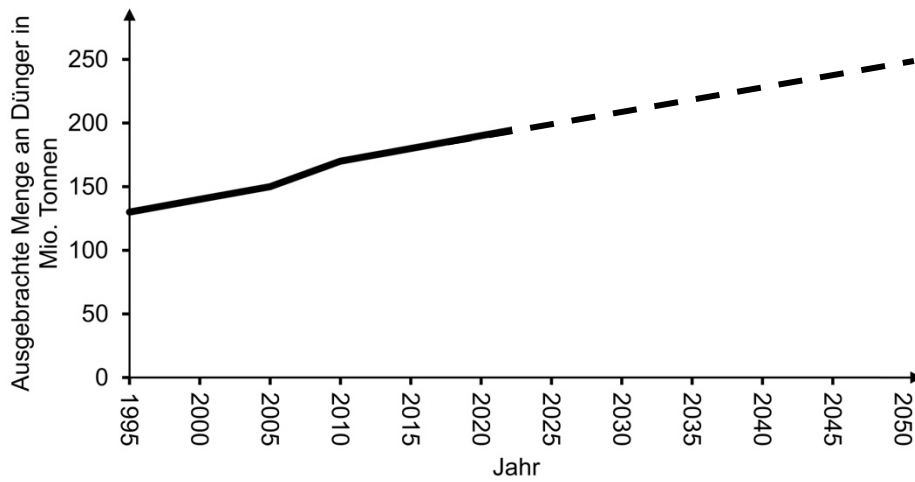


Abb. 1: weltweiter Düngemittleinsatz und Prognose (gestrichelt)<sup>1</sup>

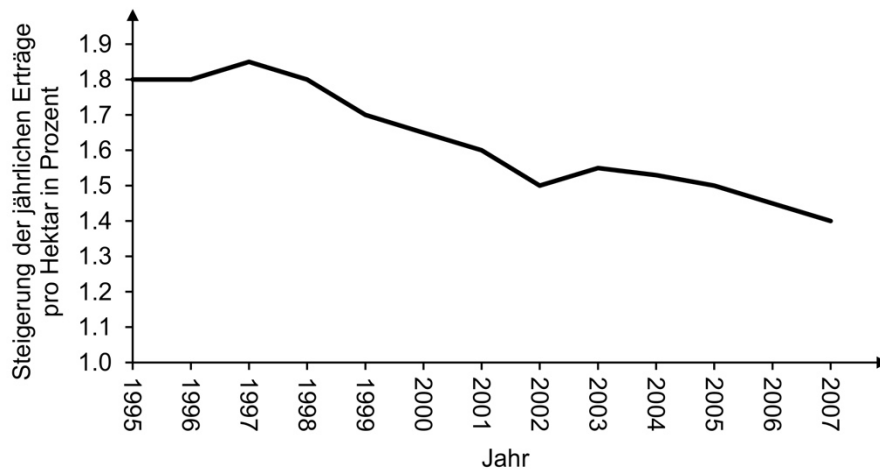


Abb. 2: weltweite Steigerung der jährlichen Erträge pro Hektar in Prozent<sup>1</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 2: Rettich

Viele Pflanzen aus der Familie der Kreuzblütengewächse (Brassicaceae), zu denen auch der Rettich zählt, sind aufgrund ihres würzigen Geschmacks Teil der heimischen und ausländischen Küche und werden weltweit angebaut. In der koreanischen Küche wird Rettich durch Gärung zum Gericht Kimchi verarbeitet. Dabei spielen Bakterien eine entscheidende Rolle.

In Abbildung 3 wird ausgehend von einem Molekül Glucose ein ausgewählter vereinfachter Stoffwechselweg während dieses Gärvorgangs gezeigt.

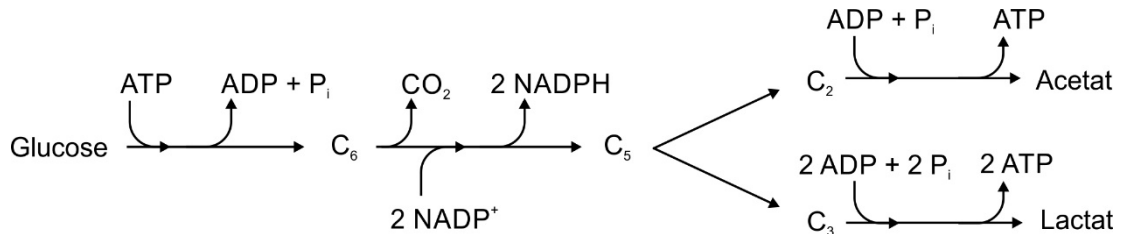


Abb. 3: ausgewählter vereinfachter Stoffwechselweg bei der Herstellung von Kimchi<sup>2</sup>

Zur Untersuchung des Bakterienwachstums während der Produktion von Kimchi wurden an verschiedenen Tagen aus einem Kimchi Bakterienproben entnommen, die jeweils eine vergleichbare Individuenzahl enthielten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt.

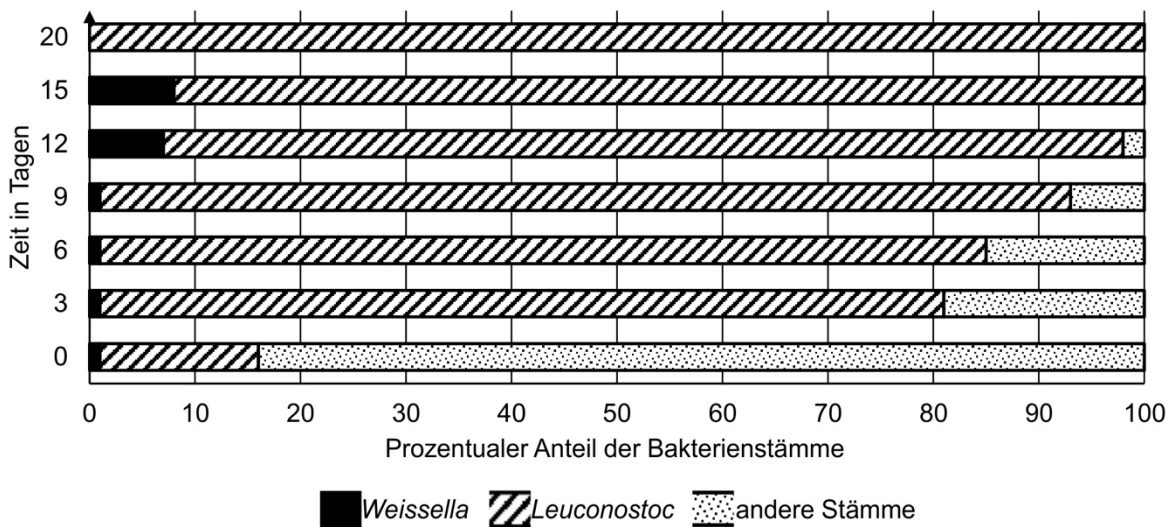


Abb. 4: prozentualer Anteil der Bakterienstämme in Kimchi in Abhängigkeit von der Kulturdauer<sup>3</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

### Material 3: Herbizideinsatz

Zur optimalen Ertragssicherung werden oft Herbizide auf die Anbauflächen aufgebracht, die für die Landwirtschaft nicht nutzbare Pflanzen beseitigen sollen.

Ein hierzu weltweit verbreitetes Herbizid ist Antrazin. Es wurde bereits 1958 eingeführt und 1986 allgemein bekannt, da es durch die chemische Industrie in großen Mengen in den Rhein gelangte und hier zu einem großen Fischsterben führte. Mittlerweile ist der Einsatz in der EU verboten. In vielen Ländern wird es aber nach wie vor eingesetzt.

Die genaue Wirkungsweise des Herbizids konnte aufgeklärt werden. Antrazin-Moleküle blockieren die Elektronentransportkette bei den lichtabhängigen Reaktionen der Photosynthese.

### Material 4: Glutathion-S-Transferase – Pflanzenabwehr gegen Herbizide

Durch den wiederholten Einsatz von Herbiziden reichern sich diese im Boden an und werden u. a. von dort lebenden tierischen Organismen wie Regenwürmern aufgenommen. Um organismusfremde giftige Substanzen unschädlich zu machen, besitzen Regenwürmer das Enzym Glutathion-S-Transferase, das die Bindung von Glutathion-Molekülen an Herbizid-Moleküle katalysiert. Das dabei entstandene Produkt wird dann aus der Zelle transportiert. Die Glutathion-S-Transferase kann durch den Stoff 8-MOP gehemmt werden.

In einem Laborexperiment wird die Wirkung des Hemmstoffs 8-MOP auf die Aktivität der Glutathion-S-Transferase untersucht. Hierzu wird anstelle eines Herbizides das Substrat CDNB verwendet.

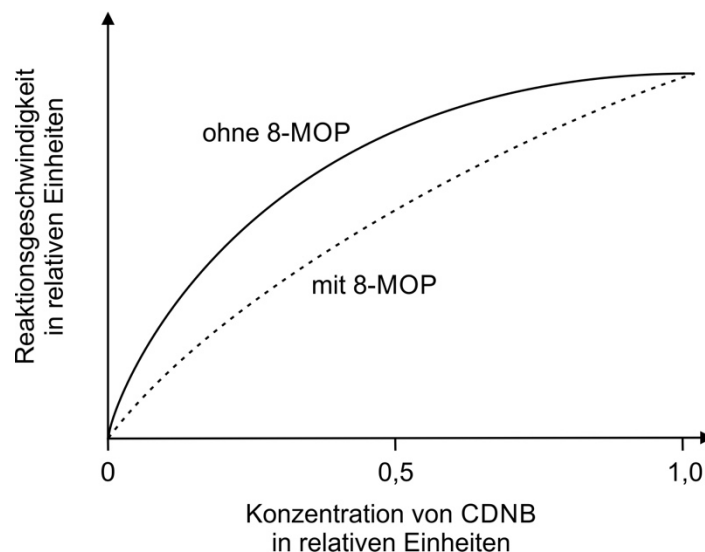


Abb. 6: Reaktionsgeschwindigkeit der von Glutathion-S-Transferase katalysierten Reaktion in Abhängigkeit von der CDNB-Konzentration mit und ohne Beigabe von 8-MOP<sup>4</sup>

(Fortsetzung nächste Seite)

## Material 5: CAM-Pflanzen – eine konvergente Entwicklung zu den C4-Pflanzen

Pflanzen stehen bei trockenen Bedingungen alltäglich vor dem Problem, mit den Spaltöffnungen ihrer Blätter einerseits ausreichend Kohlenstoffdioxid für die Photosynthese aufzunehmen und andererseits den transpirationsbedingten Wasserverlust dabei gering zu halten. Die Lösung dieses Problems ist für das Pflanzenwachstum und somit für die Anzucht von Nutzpflanzen von entscheidender Bedeutung. In der Evolution der Pflanzen sind unter diesem Selektionsdruck konvergent die Stoffwechselwege CAM [Crassulacean Acid Metabolism, z. B. bei der Ananas (*Ananas comosus*)] sowie C4 [z. B. beim Mais (*Zea mays*)] entstanden.

Beiden Stoffwechselwegen ist gemeinsam, dass dem Calvin-Zyklus eine zusätzliche Kohlenstoffdioxid-Fixierung vorausgeht. Die zusätzliche Kohlenstoffdioxid-Fixierung mündet bei CAM-Pflanzen im Zwischenprodukt Äpfelsäure. Biochemisch sind CAM- sowie C4-Stoffwechsel an dieser Stelle vergleichbar.

Vergleicht man lichtmikroskopische Schnitte von Blättern von CAM- sowie C4-Pflanzen fällt auf, dass bei CAM-Pflanzen die typischen Leitbündelscheiden der C4-Pflanzen fehlen, aber dafür die Vakuolen in den Zellen sehr groß sind. In Abbildung 7 sind Messwerte im Tagesablauf einer CAM-Pflanze aufgetragen:

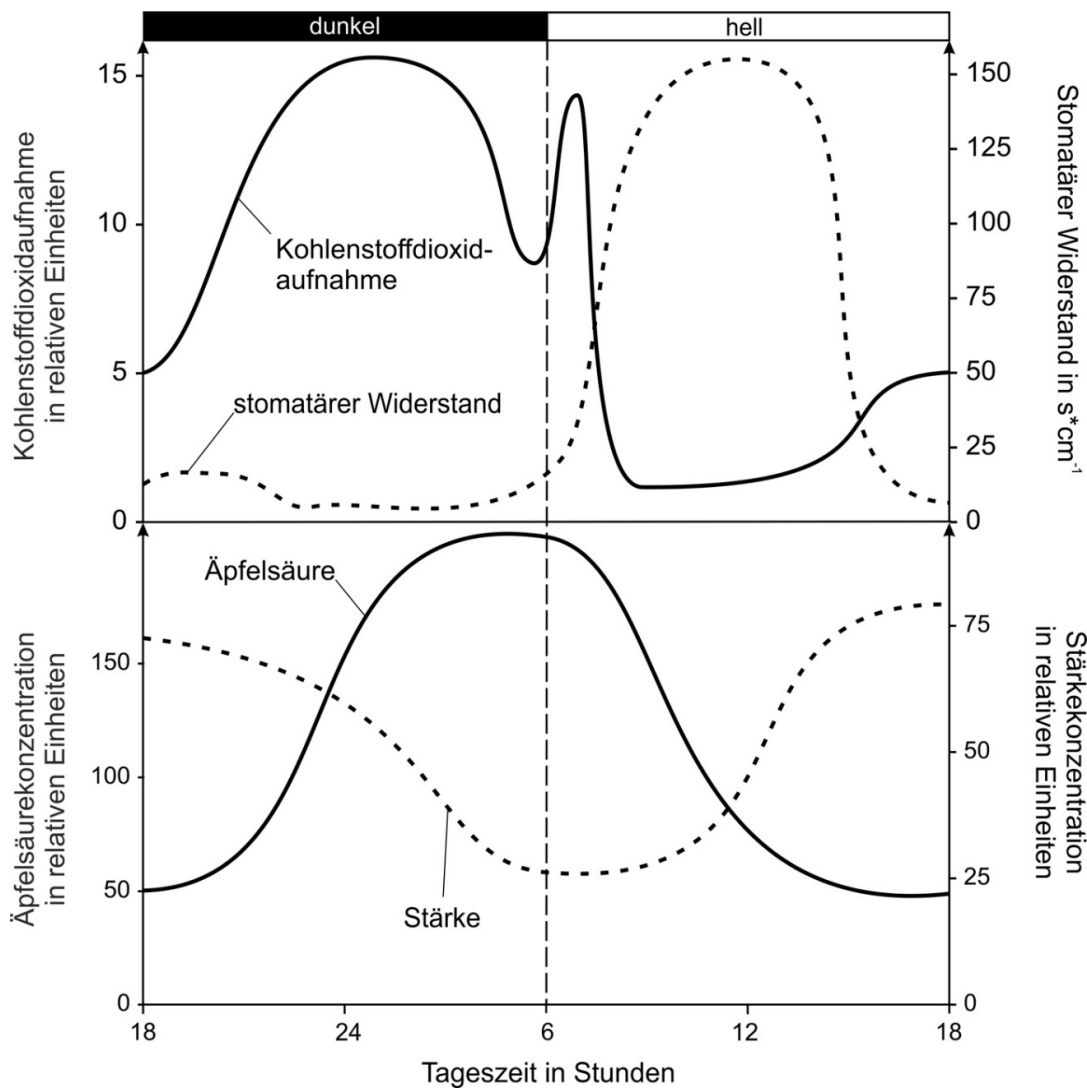


Abb. 7: Kohlenstoffdioxidaufnahme, stomatärer Widerstand, Äpfelsäuregehalt und Stärkegehalt einer CAM-Pflanze während des Tagesablaufs

Der stomatäre Widerstand ist ein Maß für den Öffnungsgrad der Spaltöffnungen.

(Fortsetzung nächste Seite)

Quellen:

- <sup>1</sup> Daten aus: Chemnitz, C., & Weigelt, J. (2015). Bodenpolitik: Mehr als ein Vehikel. In *Bodenatlas. Daten und Fakten über Acker, Land und Erde* (pp. 42-43). Heinrich-Böll-Stiftung, IASS, BUND, Le Monde diplomatique.
- <sup>2</sup> verändert nach: [https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/File:Carbon\\_and\\_energy\\_flow.jpg](https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/File:Carbon_and_energy_flow.jpg)
- <sup>3</sup> Park, D. H. (2018). Effects of carbon dioxide on metabolite production and bacterial communities during kimchi fermentation. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 82(7), 1234–1242.
- <sup>4</sup> De Oliveira, D. M., De Farias, M. T., Teles, A. L. B., Santos, M. C. D., De Cerqueira, M. D., Lima, R. M. F. & El-Bachá, R. D. S. (2014). 8-Methoxypsoralen is a competitive inhibitor of glutathione S-transferase P1-1. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 8, 267-273.
- <sup>5</sup> nach: Lüttge, U., & Kluge, M. (1999). *Botanik: die einführende Biologie der Pflanzen* (pp. 458). John Wiley & Sons.