



„Strukturelle und energetische
Grundlagen des Lebens“
im Biologielehrplan der Oberstufe

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

im Rahmen der Evaluation des aktuellen Lehrplans (Herbst 2011) wurde wiederholt geäußert, dass eine Präzisierung des Niveaus und eine Konkretisierung der Inhalte insbesondere für den Lehrplanunterpunkt „B 11.1 Strukturelle und energetische Grundlagen des Lebens“ für die Umsetzung des Lehrplans im Unterricht hilfreich wären. Dieses Skript greift diese Anregung auf und möchte in analoger Weise zu den Ausarbeitungen für den Chemielehrplan der Oberstufe Ideen und Impulse geben, wie der Biologielehrplan u. a. zu den Themen Enzyme, Assimilation und Dissimilation umgesetzt werden kann. Wir möchten das Augenmerk auf die zentralen Inhalte des Lehrplans legen, die auf jeden Fall im Unterricht aufgegriffen werden sollen. Zusätzlich zur Behandlung dieser Inhalte ist in den im Lehrplan angegebenen Stundenangaben Zeit, die z. B. für eigenständige Schülerarbeiten und/oder zur exemplarischen Vertiefung, die die Lehrkraft individuell für den jeweiligen Kurs gestalten kann, eingeplant. Wir schlagen für diese Stunden in den Stoffverteilungsplänen Praktika vor, wohlwissend, dass dies z. B. aufgrund der Kursgrößen, bisweilen nicht oder nur eingeschränkt durchführbar ist. Wir würden uns freuen, wenn wir Ihnen dadurch die Ausrichtung des Unterrichts im achtjährigen Gymnasium erleichtern.

Dieses Skript folgt weitgehend der Gliederung des Lehrplans. An den Stellen, an denen aus didaktischer Sicht auch eine andere Reihenfolge möglich ist, wurde dies im Skript vermerkt. Zu jedem Lehrplanunterpunkt finden Sie einen Vorschlag für einen Stoffverteilungsplan¹. In der Rubrik „Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans“ haben wir Vorschläge und Hinweise zusammengestellt, die

- die Anknüpfung der Inhalte an den Natur-und-Technik- und Biologieunterricht der vorausgegangenen Jahrgangsstufen 5 bis 10 zeigen,
- die Angaben im Lehrplan zu den Fachinhalten präzisieren,
- das im Unterricht und in Prüfungen angestrebte Niveau aufzeigen,
- auf geeignete Themen zum Aufgreifen der Basiskonzepte und der Kompetenzbereiche Kommunikation, Erkenntnisgewinnung (bzw. Methoden) und Bewertung (bzw. Reflexion) hinweisen und²
- ggf. weiterführende Literatur und Materialien nennen.

Es sind nicht zu jedem Thema alle Aspekte aufgeführt, sondern nur die, die uns bei der Vorbereitung als besonders relevant erschienen.

Mit dem Unterpunkt „Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10“ möchten wir den Blick auf die Bedeutung des Grundwissens und der Grundfertigkeiten lenken und den aufbauenden Charakter des Biologielehrplans sowie seine Verbindung zu anderen Fächern aufzeigen. Diese Angaben sollen bereits bei der Planung des Unterrichts für die Unter- und Mittelstufe helfen, damit die Schülerinnen und Schüler die wesentlichen Zusammenhänge in der Biologie erkennen und das Fach nicht als eine Summe von Einzel-fakten wahrnehmen. Gerade auch die Themen in Jahrgangsstufe 10 ermöglichen es, an eine oberstufengemäße Denkweise heranzuführen und dadurch auf den Unterricht in der Kursphase vorzubereiten.

¹ Die Stoffverteilungspläne sind nicht verbindlich sondern besitzen Vorschlagscharakter.

² In Klammern sind die in den EPA verwendeten Begriffe angegeben, falls sie von den in den KMK-Bildungsstandards verwendeten abweichen.

In der Rubrik „Vorschläge für Experimente“ finden Sie jeweils eine Liste mit Versuchen. Die meisten davon sind in dem Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“ veröffentlicht. Im Schuljahr 2011/12 wurde jedem Gymnasium diese Veröffentlichung zugeschickt. Beim Experimentieren sind stets die Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht an den Schulen in Bayern in der jeweils geltenden Fassung zu beachten.

Moderner naturwissenschaftlicher Unterricht verfolgt nach dem aktuellen und auch zukünftigen Lehrplan zusätzlich zur Vermittlung von Fachinhalten verstärkt auch eine Handlungsdimension. Die Schülerinnen und Schüler sollen mit Arbeitsmethoden und Denkweisen vertraut werden, wie etwa dem Auswerten von Materialien und Experimenten, dem selbständigen Planen und Durchführen von Experimenten und der Reflexion alltagsrelevanter Themen aus dem Blickwinkel der Biologie. Diese Gesichtspunkte werden zunehmend auch in den Aufgaben der Abiturprüfung aufgegriffen werden.

Wir hoffen, dass wir Ihnen mit diesem Skript eine ausgewogene Interpretation der Lehrplaninhalte aufzeigen können und wünschen Ihnen zahlreiche interessante Unterrichtsstunden mit Ihren Schülerinnen und Schülern.

München, im August 2013

Petra Reinold, ISB München

Günther Czerwenka, Gymnasium Starnberg

Michael Glöckner, Gymnasium Füssen

Thomas Nickl, Rupprecht-Gymnasium München

Organisation und Funktion der Zelle

Stoffverteilungsplan

Std.	Lehrplan	Stundeninhalte
1	elektronenoptisch erkennbare Strukturen der Zelle	Bakterienzelle; eukaryotische Zellen: Vergleich pflanzliche und tierische Zelle, Bau und Aufgaben von Zellkern, Chloroplasten und Mitochondrien
2		Praktikum: Mikroskopie
3		Bau und Aufgaben von Biomembranen: Flüssig-Mosaikmodell, freie Diffusion, passiver und aktiver Transport
4	Bedeutung und Regulation enzymatischer Prozesse	Enzyme als Biokatalysatoren der Zelle; Bau und Wirkungsweise von Enzymen: Substrat- und Wirkungsspezifität, aktives Zentrum, Schlüssel-Schloss-Prinzip, Aussagekraft von Modellen
5	experimentelle Untersuchung des Einflusses von - Substratkonzentration - Temperatur - kompetitiver und allosterischer Hemmung	Reaktionsgeschwindigkeit, typischer Kurvenverlauf, Temperaturoptimum, kompetitive und allosterische Hemmung, Aussagekraft von Modellen
6		
7		Praktikum: Enzyme

elektronenoptisch erkennbare Strukturen der Zelle: Bau und Aufgaben von Biomembranen, Chloroplasten, Mitochondrien, Zellkern

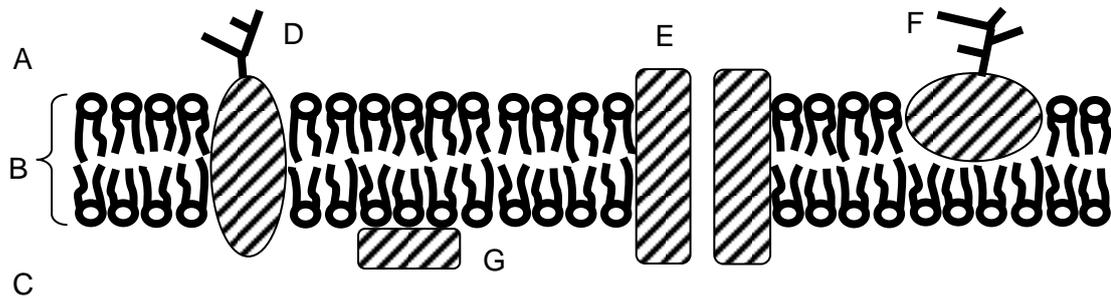
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- NT 5.2.1 Biologie - die Lehre von den Lebewesen: Aufbau aus Zellen
- NT 6.1.2 Bau und Lebenserscheinungen der Blütenpflanzen: Wachstum und Energiebindung
- B 8.1 Einfache Organisationsstufen von Lebewesen: Bakterien; Bau einer prokaryotischen Zelle: Zellwand, Membran, Organisation der genetischen Information; die Entstehung der eukaryotischen Vielfalt; Organellen einer Eukaryotenzelle: Prinzip der Kompartimentierung; Mitochondrien, Chloroplasten, Zellkern mit Chromosomen; Endosymbiontentheorie; mikroskopische Übungen: einzellige Organismen; Vergleich von Tier- und Pflanzenzelle
- B 9.1 Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung durch Nerven- und Hormonsystem: Bau und grundlegende Funktionsweise von Nervenzelle und Synapse
- B 10.1 Ernährung und Verdauung: Resorption (aktive Transportmechanismen)

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Wiederholung aus der Mittelstufe: elektronenoptisch erkennbare Strukturen bakterieller, pflanzlicher und tierischer Zellen (z. B. Zellwand, Zentralvakuole, Cytoplasma, Ribosomen, endoplasmatisches Reticulum), ggf. Vergleich mit Virus
- Bau und Aufgaben des Zellkerns als Steuerzentrale (Chromosomen, Kernhülle mit Poren), der Mitochondrien als Ort der Zellatmung (Außen- und Innenmembran, Matrix, ringförmige DNA, Ribosomen vom Bakterienbautyp), der Chloroplasten als Ort der Photosynthese (Außen- und Innenmembran, Thylakoide, Matrix³, ringförmige DNA, Ribosomen vom Bakterienbautyp, Stärkekörner, Farbstoffe: Carotinoide, Chlorophylle)
- Biomembranen:
 - Bau: Flüssig-Mosaik-Modell (Phospholipid-Doppelschicht (keine Strukturformeln), integrale und periphere Proteine)



Reaktionsräume:

- A extrazellulärer Raum
- B Phospholipid-Doppelschicht
- C Cytoplasma

Membranproteine:

- D integrales Protein mit Kohlenhydratkette
- E Tunnelprotein
- F integrales Protein mit Kohlenhydratkette
- G peripheres (aufgelagertes) Protein

Modell einer Zellmembran als Beispiel für eine Biomembran

- Aufgaben: Kompartimentierung, selektiver Transport (passiv: einfache Diffusion kleiner Teilchen durch die Membran oder durch Tunnelproteine entlang eines Konzentrationsgefälles, aktiv: entgegen eines Konzentrationsgefälles unter Energieverbrauch, z. B. Carrier-Protein), Wiederaufgreifen und Vertiefung im weiteren Unterrichtsverlauf (z. B. Chloroplast, Mitochondrium, Nervenzelle, Blutgruppen)

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Vergleichen von Objekten anhand von grundlegenden, den Schülerinnen und Schülern bekannten Kriterien (z. B. der Basiskonzepte) (Erkenntnisgewinnung)
- Erstellen einer einfachen Zeichnung mit Beschriftung anhand eines mikroskopischen Bildes (Kommunikation)
- Flüssig-Mosaik-Modell: Nutzung von Modellen zur Ableitung neuer Erkenntnisse, Aussagekraft und Grenzen von Modellen (Erkenntnisgewinnung)

Hinweise auf Materialien und Literatur

- Unterricht Biologie, Nr. 380, „Die Zelle“, Dezember 2012, Friedrich-Verlag
- „Chemie? - Aber sicher!“, Experimente kennen und können, Akademiebericht 475

³ In neuerer Fachliteratur wird auch bei Chloroplasten häufig der Begriff Matrix anstelle von Stroma verwendet.

Vorschläge für Experimente

- Mikroskopie von Pflanzenzellen (z. B. Zwiebelhäutchen, Wasserpest, Querschnitt durch ein Fliederblatt)
- Mikroskopie von Mundschleimhautzellen, verhornter menschlicher Haut
- Extraktion von Chlorophyll (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 17-7)
- Dünnschichtchromatographie (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 17-10)
- Dünnschichtchromatographie von Blattfarbstoffen und Aufnahme der Absorptionsspektren (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 03-9)
- Demonstrationsexperiment zur Diffusion (z. B. mit Methyleneblaulösung, Kaliumpermanganat-Kristall)
- Temperaturabhängigkeit der Diffusion (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 05-9)
- Bildung von Berliner Blau oder Eisenthioocyanat durch Diffusion (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 05-10)

Bedeutung und Regulation enzymatischer Prozesse: experimentelle Untersuchung des Einflusses von Substratkonzentration, Temperatur, kompetitiver und allosterischer Hemmung

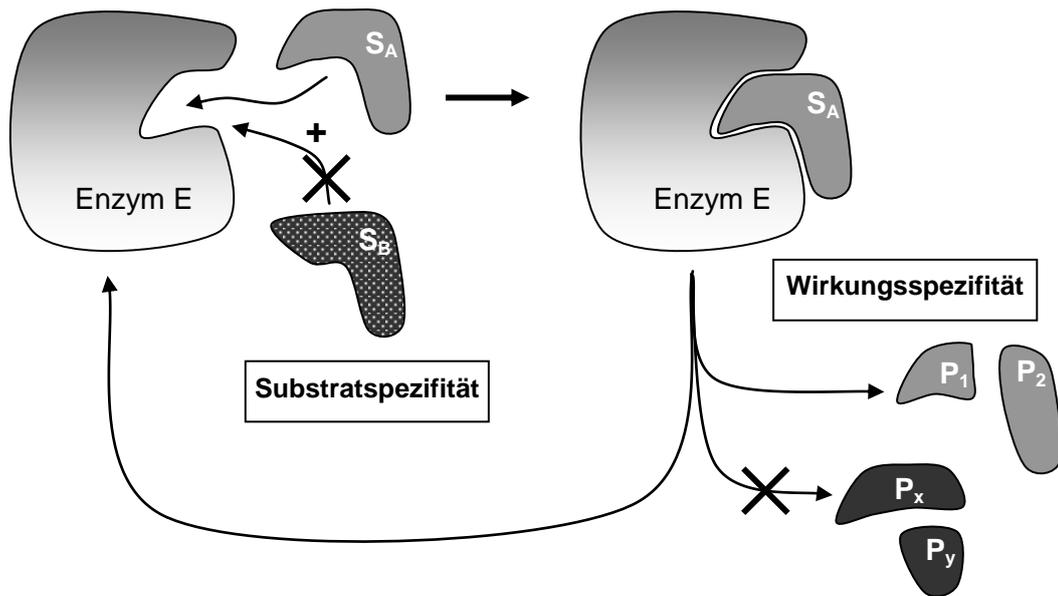
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- B 9.1 Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung durch Nerven- und Hormonsystem: Hormone (Rezeptorbindung)
- B 9.3 Grundlagen der Genetik: Rolle der Proteine bei der Merkmalsausbildung, z. B. als Enzyme, Baustoffe
- B 9.5 Angewandte Biologie: Grundlagen der Gentechnik (gentechnische Veränderung von Bakterienzellen: Restriktionsenzyme, Vektoren)
- B 10.1 Stoffwechsel des Menschen: Enzyme als Biokatalysatoren mit spezifischer Wirkung; Verdauungsorgane als Funktionsräume für enzymatische Vorgänge, Abbau größerer Moleküle
- B 10.3 Grundlegende Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen: Die Umwelt eines Lebewesens (abiotische Umweltfaktoren, z. B. Temperatur; ökologische Potenz, limitierende Faktoren)
- C_{NTG} 8.1 / C 9.1 Stoffe und Reaktionen: Aktivierung chemischer Reaktionen; Katalyse
- C_{NTG} 10.3 / C 10.4 Biomoleküle

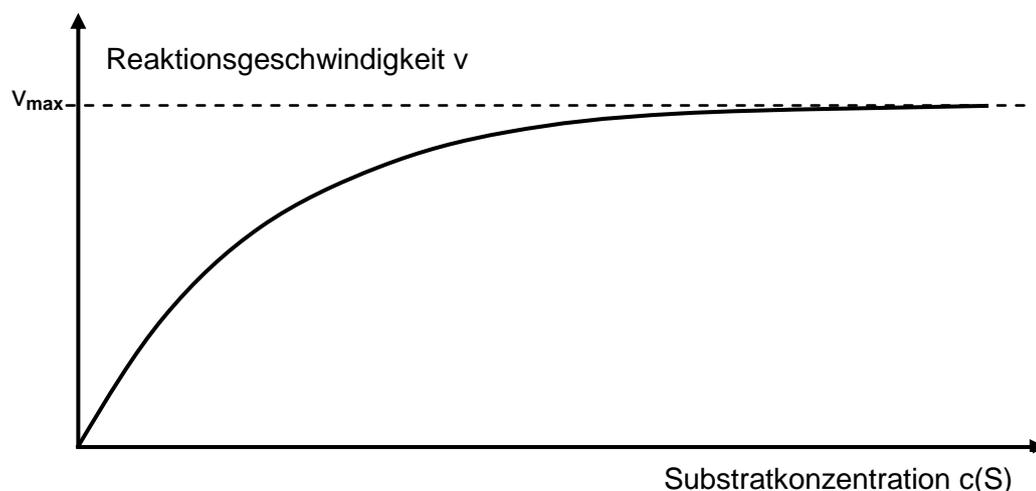
Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Folgende Kenntnisse sollten bereits aus Jgst. 10 (evtl. auch inkl. eines Schülerpraktikums) vorhanden sein und werden in Jgst. 11 kurz wiederholt:
 - Enzyme als Biokatalysatoren: Katalysatoren beschleunigen chemische Reaktionen, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen. Sie gehen unverändert aus der Reaktion hervor. Enzyme bestehen ganz oder im Wesentlichen aus Protein.
 - Modellvorstellungen: aktives Zentrum und Schlüssel-Schloss-Prinzip; Bedeutung im Stoffwechsel als Katalysatoren zum Stoffaufbau und Stoffabbau in allen lebenden Systemen
 - Substratspezifität (katalytische Wirkung ist auf ein bestimmtes Substrat oder eine Substrat-Gruppe beschränkt), Wirkungsspezifität (katalytische Wirkung ist auf eine bestimmte chemische Reaktion beschränkt):



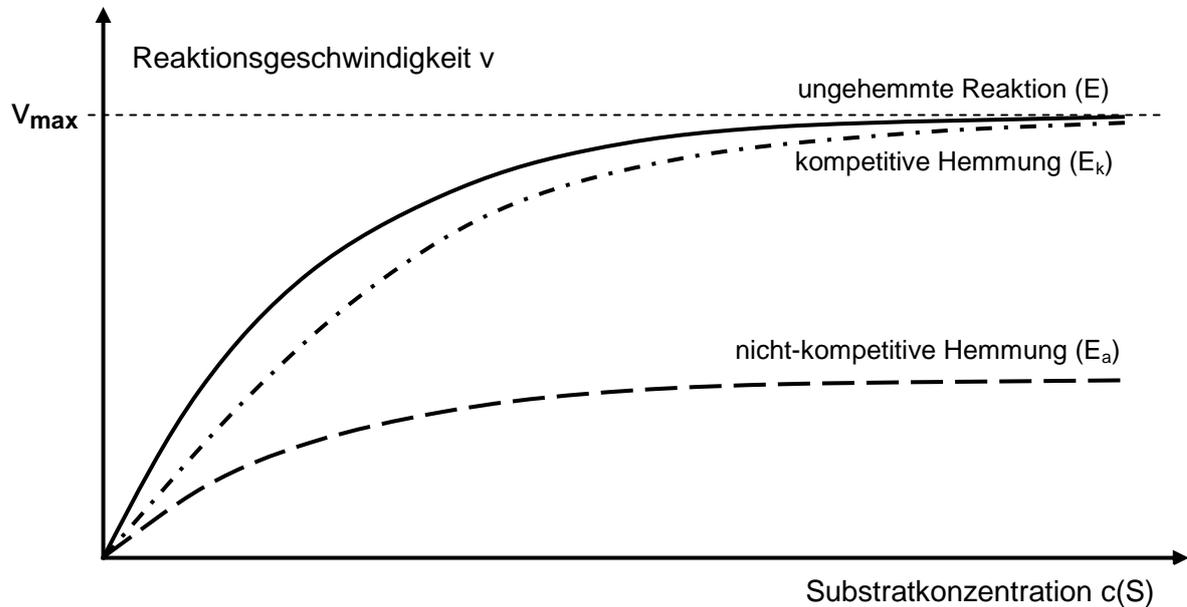
Substrat- und Wirkungsspezifität von Enzymen

- molekulare Struktur von Enzymen: Kette aus Aminosäurebausteinen, komplexe räumliche Struktur eines Enzyms wird vorwiegend durch die Aminosäuresequenz bestimmt (Unterscheidung der Strukturebenen von Primär- bis Quartärstruktur nicht im Lehrplan; keine Strukturformeln; keine Einteilung in Apo- und Co-Enzym)
- Wirkungsweise von Enzymen aufgrund der spezifischen räumlichen Struktur, zwischenmolekulare Kräfte zwischen Enzym und Substrat bzw. Hemmstoff
- Reaktionsgeschwindigkeit als Maß für Enzymaktivität (nur v_{\max} , keine mathematische Herleitung, keine Michaelis-Menten-Kinetik)
- Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration bei konstanter Enzymmenge: Erklärung auf der Teilchenebene mit Enzym-Substrat-Komplex, Erläuterung des Kurvenverlaufs (3 Phasen: niedrige Substratkonzentration: Substratmoleküle treffen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf unbesetzte Enzymmoleküle \rightarrow starker Anstieg der Geschwindigkeit; mittlere Substratkonzentration: Wahrscheinlichkeit des Aufeinandertreffens von Substratmolekülen und unbesetzten Enzymmolekülen wird geringer \rightarrow langsamer Anstieg der Geschwindigkeit; hohe Substratkonzentration: alle Enzymmoleküle an der Reaktion beteiligt \rightarrow Geschwindigkeit steigt nicht weiter an (v_{\max}))



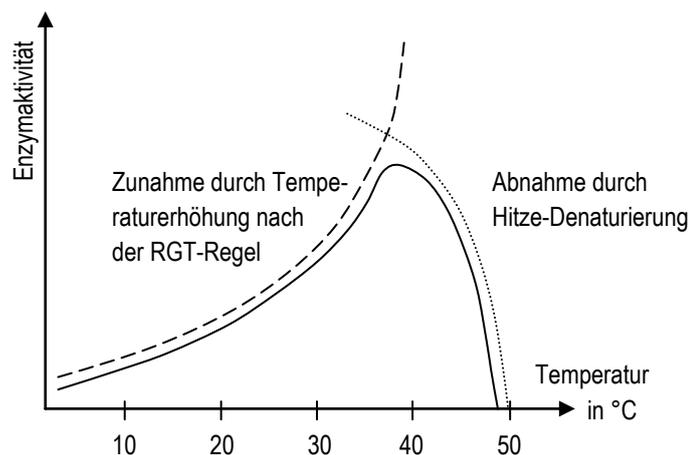
Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration

- Vergleich kompetitive Hemmung (E_k), allosterische Hemmung (E_a , eingeschränkt auf Hemmung durch Anbindung eines Hemmstoffes an einer eigenen Bindungsstelle des Enzyms im Sinn einer nicht-kompetitiven Hemmung) mit einer ungehemmten Enzymreaktion (E); jeweils Vorgänge auf der Teilchenebene (Konkurrenz um aktives Zentrum, Veränderung der räumlichen Struktur), Erläuterung der Kurvenverläufe analog zur ungehemmten Reaktion (irreversible Hemmung (z. B. durch Schwermetallionen) nicht im Lehrplan)



Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Substratkonzentration mit und ohne Hemmstoff

- Temperaturabhängigkeit chemischer Reaktionen anhand der RGT-Regel: Eine Erhöhung der Temperatur um $10\text{ }^\circ\text{C}$ bewirkt ungefähr eine Verdopplung der Reaktionsgeschwindigkeit.
- Erläuterung einer typischen Optimumskurve: RGT-Regel nur begrenzt gültig wegen Hitzedenaturierung



Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur

- Die Bedeutung von Enzymen wird im Lauf des Schuljahres im Rahmen verschiedener Themen des Stoffwechsels und der Genetik veranschaulicht.

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Schlüssel-Schloss-Modell: Aussagekraft und Grenzen von Modellen (Erkenntnisgewinnung)
- Experiment zur Ermittlung der Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit von der Substratkonzentration planen, vorgegebenes Experiment auf Korrektheit überprüfen (Erkenntnisgewinnung)
- Auswertung von Diagrammen (Erkenntnisgewinnung, Kommunikation)

Vorschläge für Experimente

- Zersetzung von Wasserstoffperoxid auf einer Kartoffelscheibe oder durch Hefe, Blut bzw. Braunstein
- Substratspezifität von Urease (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 20-7)
- kompetitive Hemmung von Urease (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 20-4)
- Denaturierung von Katalase aus Kartoffeln (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 20-2)
- Einfluss von Hitze auf die Aktivität von Urease
- Einfluss von Hitze auf die Aktivität von Luziferase (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 20-3)

Energiebindung und Stoffaufbau durch Photosynthese

Stoffverteilungsplan

Std.	Lehrplan	Stundeninhalte
1	Bedeutung der Photosynthese: Aufbau von organischen Verbindungen als Energiespeicher; die Übertragung von Wasserstoff als Möglichkeit zur Energieübertragung	Assimilation, Summgleichung der Photosynthese, ATP-System als Energiespeicher und Energieüberträger, NADP-System als Energiespeicher und Überträger für Wasserstoff-Ionen und Elektronen
2		
	Additum: Bedeutung organischer Kohlenstoffverbindungen als Energieträger in der Technik	fossile Energieträger (Erdgas, Erdöl, Kohle), erneuerbare Energieträger (Biodiesel, Bioethanol)
3	Bedeutsame Experimente zur Aufklärung wesentlicher Photosyntheseschritte; experimentelle Untersuchung und Deutung der Abhängigkeit der Photosyntheserate von Außenfaktoren	Methoden zur Messung der Photosynthese-Rate über die Sauerstoffproduktion; Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Lichtqualität, von der Beleuchtungsstärke, von der Temperatur, von der Kohlenstoffdioxid-Konzentration (vorgezogen); Hinweise auf die Existenz zweier Reaktionssysteme durch Versuche zu Temperatur- und Lichtabhängigkeit; Hill-Reaktion; Absorptions- und Wirkungsspektren; Tracer-Methode
4		
5		
6		
7		Praktikum: Photosynthese
8	energetisches Modell der Lichtreaktionen	chemische Aspekte der Photosynthese: Photosynthese als endotherme Redoxreaktion; Blackbox-Darstellung der Photosynthese
9		Weitergabe von Energie durch Übertragung von Elektronen, beteiligte Prozesse
10	chemiosmotisches Modell der Lichtreaktionen	Aufbau eines Protonengradienten zur ATP-Synthese, Thylakoid-Membran als Beispiel für eine Biomembran; Bruttogleichung der Lichtreaktionen
11	Modellvorstellung der lichtunabhängigen Reaktionen	Verwendung der Kurzzeit-Energiespeicher, wesentliche Schritte des Calvinzyklus, Bruttogleichung
12	<i>(Zusammenfassung)</i>	Zusammenspiel von Lichtreaktionen und lichtunabhängigen Reaktionen
13	Bedeutung der Photosynthese-Produkte für die Pflanze	aufbauender Stoffwechsel (Anabolismus), abbauender Stoffwechsel (Katabolismus), Transport und Speicherung
14	Bedeutung und Anwendung	Anwendung zur Ertragssteigerung in der Landwirtschaft und im Gartenbau

Bedeutung der Photosynthese: Aufbau von organischen Verbindungen als Energiespeicher; die Übertragung von Wasserstoff als Möglichkeit zur Energieübertragung; Bedeutung organischer Kohlenstoffverbindungen als Energieträger in der Technik

Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

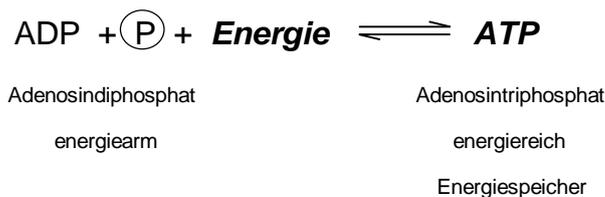
Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- NT 6.1.2 Bau und Lebenserscheinungen von Blütenpflanzen: Wachstum und Energiebindung: Photosynthese (Energie- und Stoffumwandlung; Energiespeicherung)
- B 8.1 Einfache Organisationsstufen von Lebewesen: Ernährungsformen und Stoffwechselformen im evolutionären und ökologischen Zusammenhang: heterotroph, autotroph, anaerob, aerob
- B 10.1 Stoffwechsel in der Zelle: Versorgung des Körpers mit den Hauptnährstoffen als Grundlage des Energie- und Baustoffwechsels
- B 10.1 Stoffwechsel in der Zelle: Reaktion von Sauerstoff mit Glucose (Oxidation in den Mitochondrien; ATP als mobiler und universeller Energieträger), weitere Energieträger (Blutzucker, Glykogen, Fett), Stoffaufbau (Synthese zelleigener Proteine aus Aminosäuren)

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Wiederholung: Summengleichung der Photosynthese:
 - Stoffumwandlung: $6 \text{ H}_2\text{O} + 6 \text{ CO}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
 - Energieumwandlung: Lichtenergie \rightarrow chemische Energie (Glucose)
- Assimilation: Photoautotrophe Organismen sind in der Lage, Lichtenergie zu absorbieren und in Form von chemischer Energie dauerhaft zu binden, indem sie organische Verbindungen („Kurzzeit-Energiespeicher“: ATP; „Langzeit-Energiespeicher“: Glucose, Stärke, Fett) aufbauen. Mit deren Hilfe stellen sie unter Verwendung anorganischer Stoffe sämtliche organischen Stoffe her, aus denen der Organismus aufgebaut ist.
- ATP-System als Energiespeicher und Energieüberträger, NADP-System als Energiespeicher und Überträger für Wasserstoff-Ionen und Elektronen (keine Strukturformeln nötig):

a) Das ATP-System als reversible Reaktion:

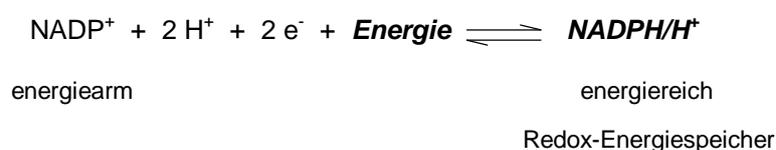


(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

In der Biochemie wird das Phosphat-Ion meist als P in einem Kreis oder als P_i symbolisiert.

(häufiger Schülerfehler: Phosphat wird als Phosphor bezeichnet.)

b) Das NADP-System als reversible Reaktion:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

Alle Stoffwechselreaktionen finden in wässrigem Milieu statt. In der Biochemie ist es aber aus Gründen der Übersichtlichkeit üblich, H^+ anstelle von H_3O^+ zu schreiben.

- **Additivum (fakultativ):** letztlich durch Photosynthese entstandene organische Rohstoffe sowohl bei fossilen Energieträgern (Erdgas, Erdöl, Kohle) als auch bei erneuerbaren Energieträgern (Biodiesel, Bioethanol, Holzpellets)

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung

bedeutsame Experimente zur Aufklärung wesentlicher Photosyntheseschritte

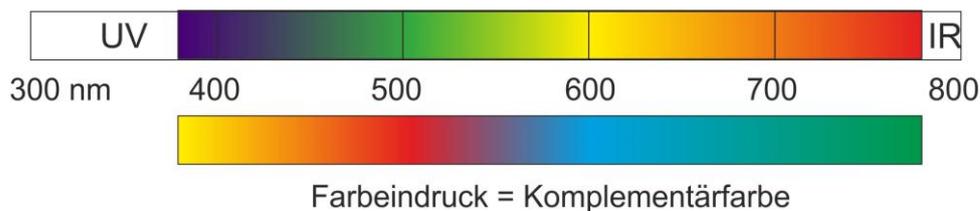
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

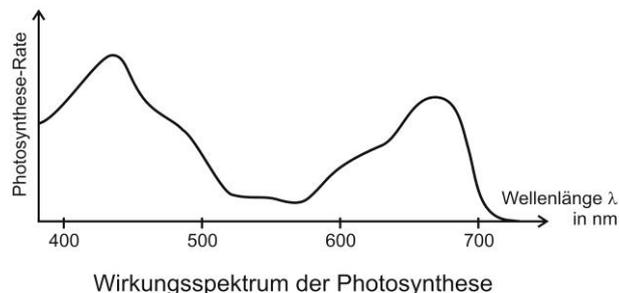
- B 8.1 Die Entstehung der eukaryotischen Vielfalt – Organelle einer Eukaryotenzelle (Chloroplast)
- B 10.3 Grundlegende Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen: Aufbau und Merkmale eines Ökosystems
- NT 7.1.3 Farben: spektrale Zerlegung von weißem Licht
- Ph 10.3 Wellenlehre und Einblick in die Quantenphysik: Wellen- und Teilchencharakter des Lichts, Photonen als Lichtquanten

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Messung der Photosynthese-Rate über die Sauerstoffproduktion: Methoden z. B. Bläschenzählmethode, Volumenmessung, Ansammlung sauerstoffliebender Bakterien
- Vorschlag: Vorziehen des Unterpunktes experimentelle Untersuchung der Photosynthese und Deutung der Abhängigkeit der Photosyntheserate von Außenfaktoren
 - Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Lichtqualität: Farbspektrum des sichtbaren Lichts, angegeben in der Größe Wellenlänge λ mit der Einheit Nanometer (nm)
 - Vorstellung des Prinzips der Farbentstehung durch Absorption: Komplementärfarbe als Farbeindruck, z. B. Arbeiten mit dem Farbkreis



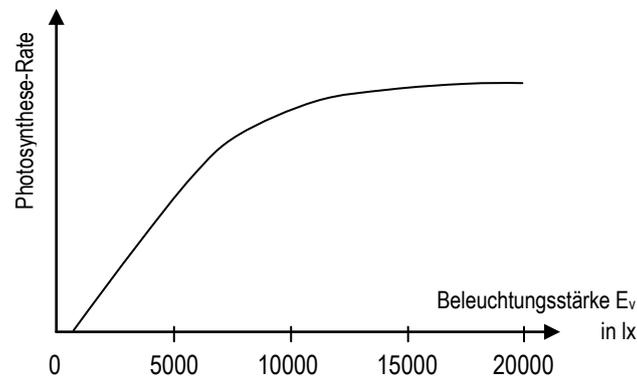
- Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ des Lichts (Lichtqualität)



Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Wellenlänge des Lichts

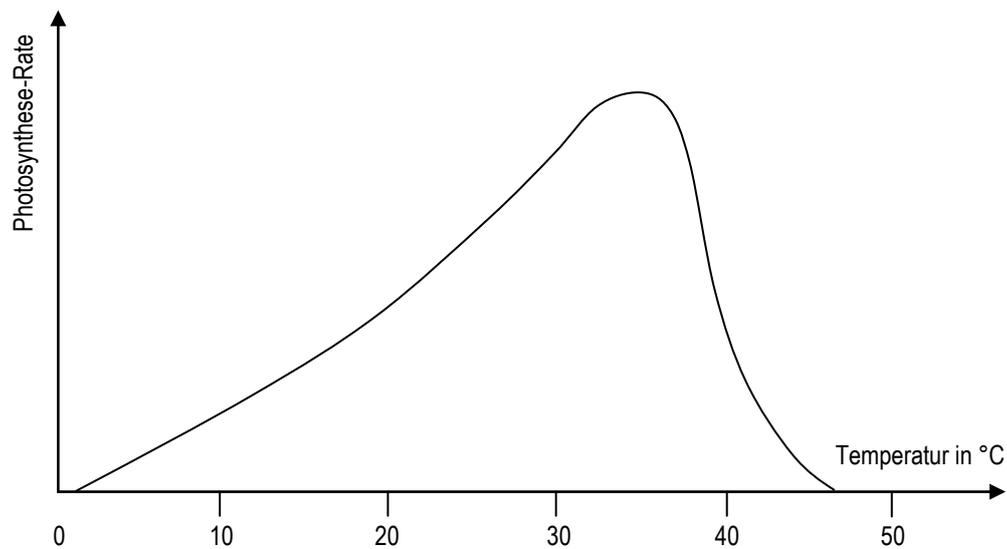
z. B. Engelmann-Versuch

- Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke E_v mit der Einheit Lux (lx)



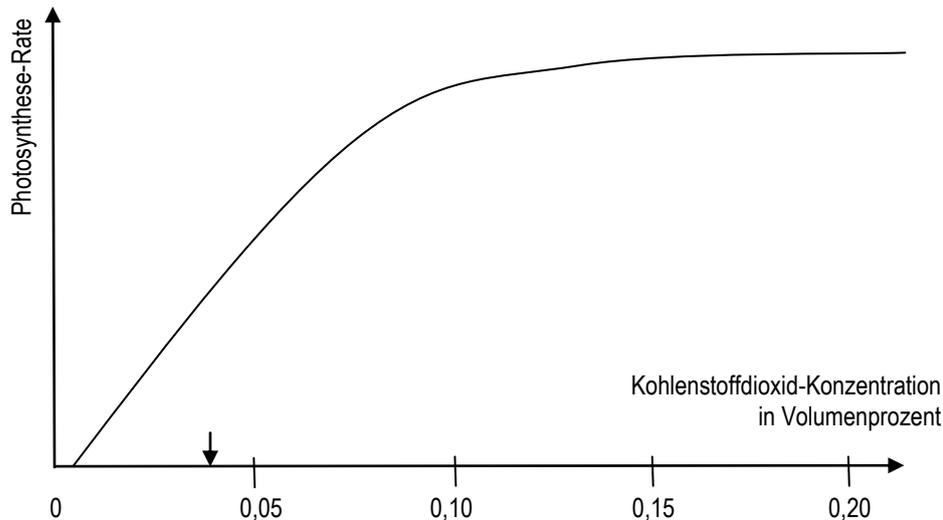
Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Beleuchtungsstärke

- Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Temperatur: Der Verlauf der Kurve deutet auf die Beteiligung enzymatischer Reaktionen hin.



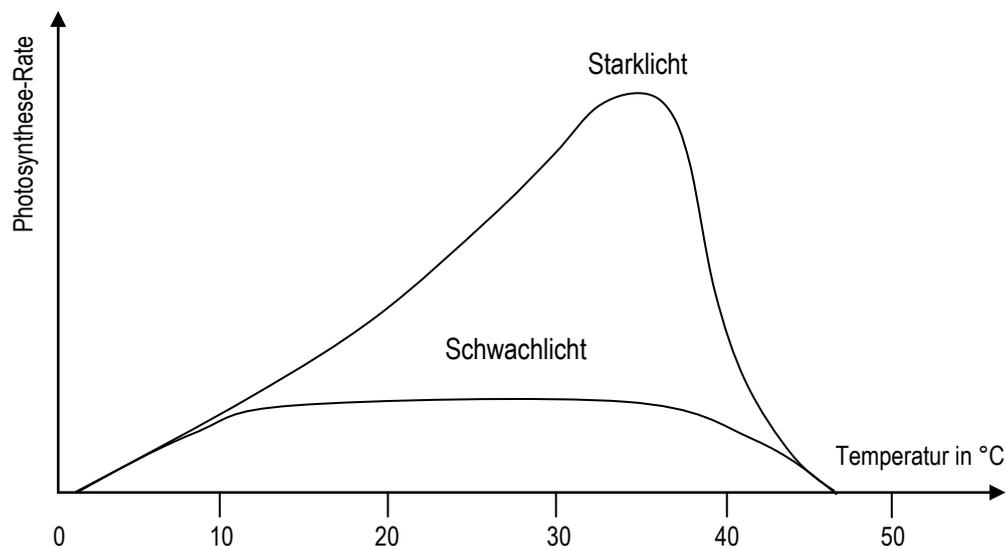
Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Temperatur

- Photosynthese-Rate in Abhängigkeit von der Kohlenstoffdioxid-Konzentration: Unter natürlichen Bedingungen liegt die Kohlenstoffdioxid-Konzentration weit unter dem von Pflanzen nutzbaren Wert. (Vorgezogen, Behandlung auch später möglich.)



Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Kohlenstoffdioxid-Konzentration (Der Pfeil bezeichnet die Konzentration in der natürlichen Atmosphäre 2011: 0,039 Vol%.)

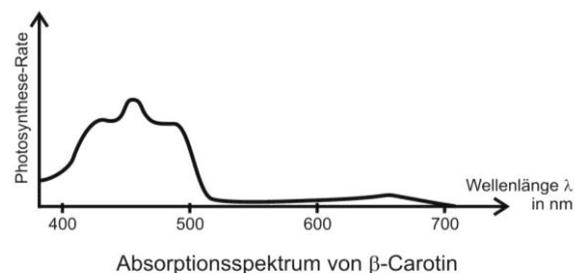
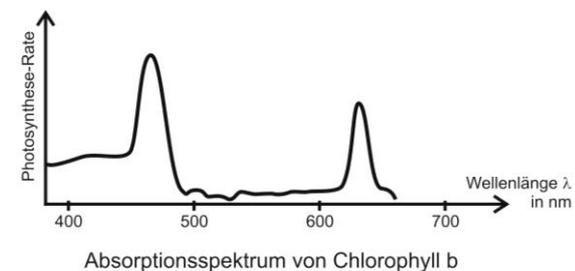
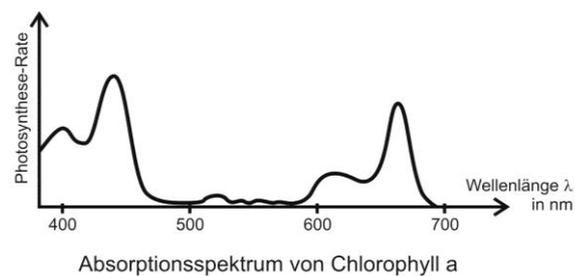
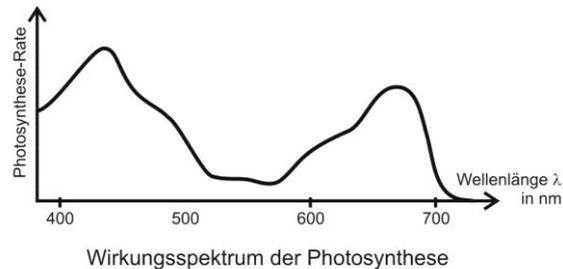
- Hinweis auf zwei Reaktionssysteme (Lichtreaktionen und lichtunabhängige Reaktionen): Unter Starklicht-Bedingungen liegt eine Optimums-Kurve vor. Unter Schwachlicht-Bedingungen verläuft der Graph über ein weites Intervall (ca. 12-37 °C) dagegen temperaturunabhängig. Der unterschiedliche Kurvenverlauf bei Starklicht bzw. Schwachlicht ist ein Hinweis darauf, dass die Photosynthese aus einer weitgehend temperatur-unabhängigen und einer temperatur-abhängigen (enzymatisch gesteuerten) Reaktionsfolge besteht.



Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Temperatur bei Stark- und Schwachlicht

- Hill-Reaktion: Bei Zugabe von Eisen(III)-Ionen produzieren isolierte Chloroplasten in Abwesenheit von Kohlenstoffdioxid Sauerstoff.
 → Die Photosynthese besteht aus zwei Abschnitten: Einer dieser Abschnitte stellt Elektronen zur Verfügung, der andere benötigt Kohlenstoffdioxid und diese Elektronen.
 Eine Diskussion der Elektronenübertragung ist an dieser Stelle nur bei guten Chemiekennnissen der Schülerinnen und Schüler zu empfehlen; alternativ: Behandlung der Hill-Reaktion nach der Besprechung der Photosynthese-Reaktionen

- Absorptionsspektrum und Wirkungsspektrum:
 - präzises Wirkungsspektrum ggf. im Vergleich mit Engelmann-Versuch; Zusammenhang zwischen Wellenlänge bzw. Lichtfarbe und Photosynthese-Rate
 - Auswertung der Absorptionsspektren von Chlorophyll und einem weiteren akzessorischen Blattfarbstoff (z. B. β -Carotin), Vergleich mit dem Wirkungsspektrum
 → Absorption der Chlorophylle wird durch Absorption weiterer Blattfarbstoffe ergänzt.



- Tracer-Methode: Aufklärung chemischer Reaktionen durch Markierung von Molekülen; Markierung erfolgt durch Einbau seltener Isotope (z. B. schwerer Sauerstoff ^{18}O oder radioaktiver Kohlenstoff ^{14}C), z. B. Herkunft des freigesetzten Sauerstoffs



Erweiterung der Gleichung nötig, da auf der Eduktseite nur halb so viele markierte Sauerstoffatome vorhanden sind wie auf der Produktseite:



Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung
- Hypothesen aufstellen, Versuche beschreiben, Versuchsergebnisse und Diagramme auswerten (Erkenntnisgewinnung): z. B. Hypothesen zur Erklärung des Wirkungsspektrums: „Das Wirkungsspektrum hängt v. a. von den Absorptions-Eigenschaften des Blattfarbstoffs Chlorophyll ab.“
- Versuchsergebnisse in Tabellen und Diagrammen darstellen und interpretieren (Kommunikation): z. B. Blattfarbstoffe durch Vergleich von Absorptions- und Wirkungsspektrum als „Lichtantennen“ für die Photosynthese identifizieren

Hinweise auf Materialien und Literatur

- Preisfeld, Angelika; Grotjohann, Norbert: *Deep under*. In Unterricht Biologie 320 (Dezember 2006), S. 28-33 (Wirkungsspektren und Artbeschreibungen von Algen aus 3 Tiefenzonen sowie Absorptionsspektren von Algenpigmenten: Vertiefung und Transfer)

Vorschläge für Experimente

- Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Beleuchtungsstärke bzw. von der Kohlenstoffdioxid-Konzentration des Wassers: Versuche mit Wasserpest (*Elodea canadensis*)

Energetisches und chemiosmotisches Modell zur Beschreibung der Lichtreaktionen (Bruttogleichung)

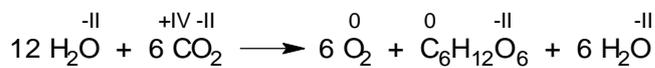
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- B 10.1 Stoffwechsel des Menschen: Stoffwechsel in der Zelle: ATP als mobiler und universeller Energieträger
- C_{NTG} 8.1 bzw. C 9.1 Stoffe und Reaktionen: Reaktionsenergie, Energiediagramm
- C_{NTG} 9.5 bzw. C 10.3 Elektronenübergänge: Redoxreaktionen als Elektronenübergänge, Oxidationszahl
- C_{NTG} 10.2 Sauerstoffhaltige organische Verbindungen bzw. C 10.4 Reaktionsverhalten organischer Verbindungen: sauerstoffhaltige organische Verbindungen (reversible Reaktion)

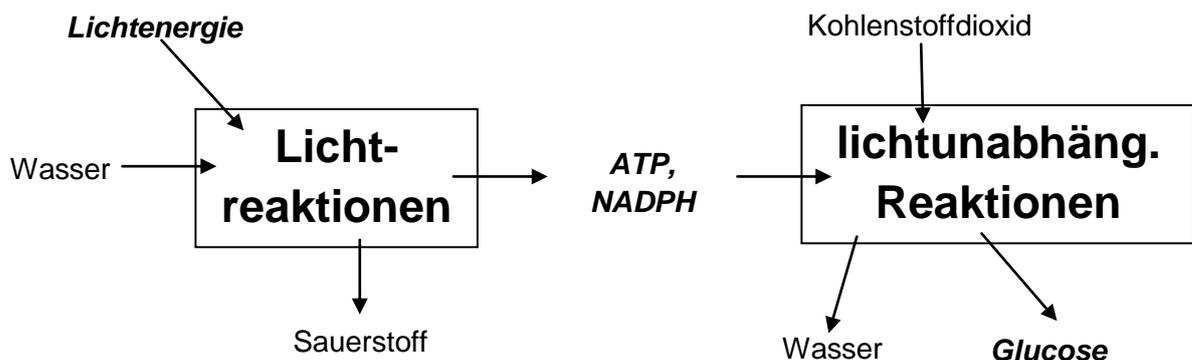
Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Photosynthese als endotherme Redoxreaktion:



Zur Reduktion der Kohlenstoffatome (von Oxidationsstufe +IV auf 0) sind Elektronen sowie Energie notwendig. Die Elektronen entstammen der Oxidation der Sauerstoffatome aus den Wassermolekülen. Die Energie stammt v. a. von den blauen und roten Anteilen des Sonnenlichts (häufige Schülerfehlvorstellung: Wärmestrahlung der Sonne als Energielieferant für die Photosynthese). Elektronen und Energie müssen zunächst in Überträger-Substanzen (ATP als Kurzzeit-Energiespeicher und NADPH⁴ als Reduktionsmittel und gleichzeitig Kurzzeit-Energiespeicher) zwischengespeichert werden. vgl. Hill-Versuch: Ein Reaktionssystem der Photosynthese setzt Elektronen und Energie frei.

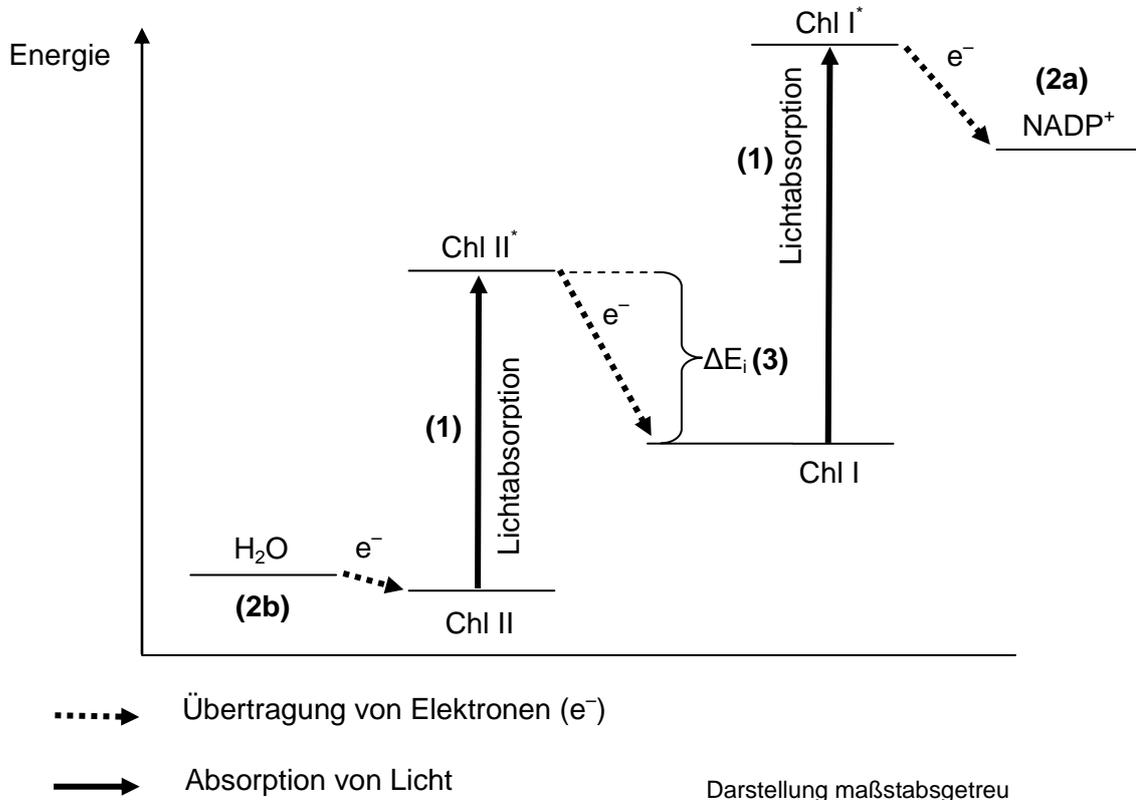
- Blackbox-Darstellung der Photosynthese:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

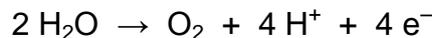
⁴ Im Fließtext wird in neuerer Fachliteratur nur NADH bzw. NADPH verwendet. H⁺ als Zusatz wird nur in Reaktionsgleichungen angegeben.

- energetisches Modell der Lichtreaktionen:** Weitergabe von Energie durch Übertragung von Elektronen; chemische Reaktionen werden nicht dargestellt, deshalb werden in diesem Schema die Wasserstoff-Ionen nicht berücksichtigt. Das Schema entspricht daher nicht einem Energiediagramm einer chemischen Reaktion.



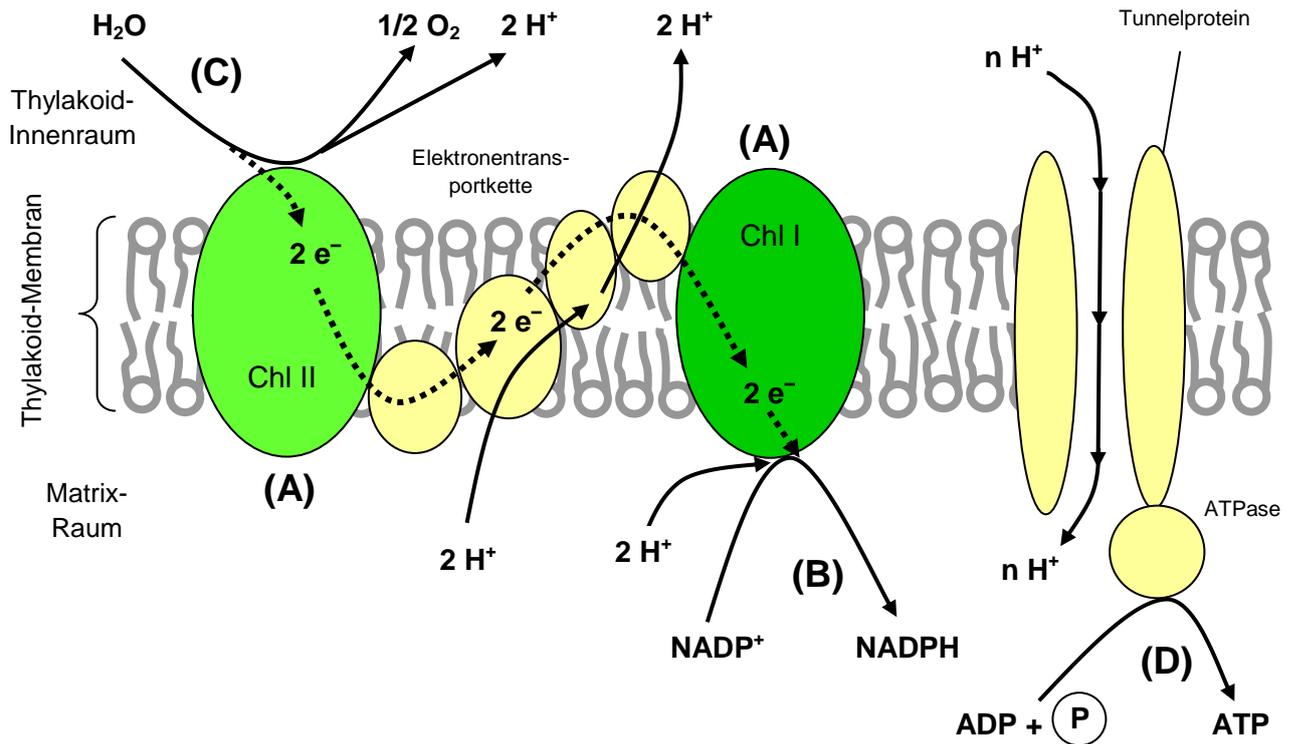
Folgende Prozesse sind beteiligt:

- (1) Lichtabsorption: Lichtenergie wird in Chlorophyll-Molekülen als innere Energie kurzfristig gespeichert (Anhebung auf ein höheres Energieniveau).
- (2) Übertragung von Elektronen:
- (2a) Reduktion von NADP^+ zu NADPH: Übertragung eines Teils der zuvor absorbierten Lichtenergie durch Übertragung von Elektronen auf NADP^+
- (2b) Photolyse: Spaltung des Wassermoleküls, Übertragung der Elektronen auf Chlorophyll II:



- (3) ATP-Synthese: große Energiedifferenz zwischen Chlorophyll II* und Chlorophyll I (ΔE_i) dient v. a. dem Aufbau von ATP
- zyklische Phosphorylierung nicht nötig

- chemiosmotisches Modell der Lichtreaktionen:** Aufbau eines Protonengradienten, der als Antrieb für die Synthese des Kurzzeit-Energiespeichers ATP genutzt wird; Thylakoid-Membran als Beispiel für eine Biomembran, Kompartimentierung in Reaktionsräume (Chloroplast: Matrix-Raum, Thylakoid-Innenraum; beide abgetrennt vom Cytoplasma):



- (A) Anregung des Chlorophylls durch Lichtabsorption
- (B) Synthese von NADPH durch Reduktion von NADP^+
- (C) Photolyse des Wassers
- (D) ATP-Synthese

Für den Aufbau des Konzentrationsunterschieds der Wasserstoff-Ionen zu beiden Seiten der Thylakoidmembran (= Protonengradient) sorgen drei Mechanismen:

- Freisetzung von Wasserstoff-Ionen im Thylakoid-Innenraum durch die Photolyse des Wassers
- Transport von Wasserstoff-Ionen vom Matrix-Raum in den Thylakoid-Innenraum unter Energieaufwand (entspricht dem Energiesprung zwischen Chlorophyll II* und Chlorophyll I) durch eine Elektronentransportkette
- Verbrauch von Wasserstoff-Ionen im Matrix-Raum bei der Synthese von NADPH

Synthese von ATP: Verringerung des Protonengradienten (in sehr geringem Maß) aufgrund der Diffusion von Wasserstoff-Ionen durch ein Tunnelprotein (= ATPase), Nutzung der Energiedifferenz zum Aufbau von ATP

- Bruttogleichung der Lichtreaktionen:



Alternative:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

Photonen können, müssen aber nicht in der Gleichung berücksichtigt werden; kein chemischer Aufbau der Energiespeichermoleküle.

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Darstellung des energetischen und chemiosmotischen Modells mit Skizzen (Kommunikation)

Hinweise auf Materialien und Literatur

- Groppengießer, Harald; Zabel, Jörg: Die Zelltheorie – neu entdeckt für den Biologieunterricht. In: *Unterricht Biologie* 380 (Dezember 2012), Abb. 2 und 3 plasmatische und nicht-plasmatische Kompartimente einer Zelle nach Kattmann (S. 6 f.)
- Arbeitsblatt mit Übungsaufgabe (s. Anhang)

Vorschläge für Experimente

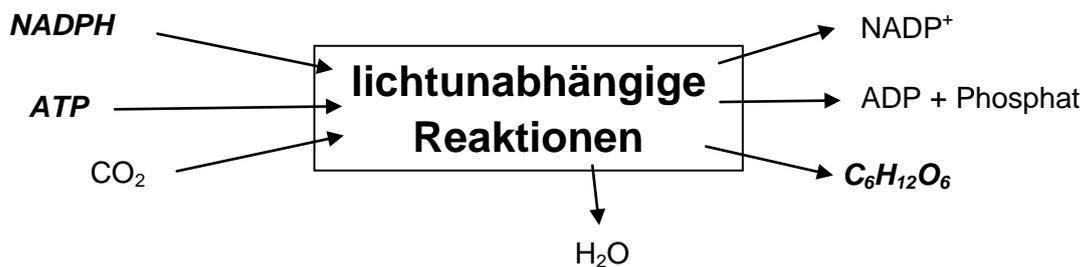
- Modellversuch zu Redoxreaktionen: Magnesium-Iod-Batterie / Zink-Iod-Batterie (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 13-4)
- Modellversuch zur Analyse: Elektrolyse einer CuCl_2 -Lösung oder ZnI_2 -Lösung im Tropfenmaßstab (z. B. nach Akademiebericht Nr. 475 „Chemie? – Aber sicher!“, Versuch 13-3)

Modellvorstellung der lichtunabhängigen Reaktionen

Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

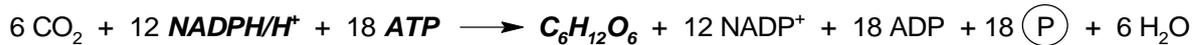
- Verwendung der Kurzzeit-Energiespeicher: Erarbeitung z. B. eines (zunächst nicht-stöchiometrischen) Blackbox-Schemas der lichtunabhängigen Reaktionen, um den Zusammenhang zwischen den beiden Abschnitten der Photosynthese herzustellen:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

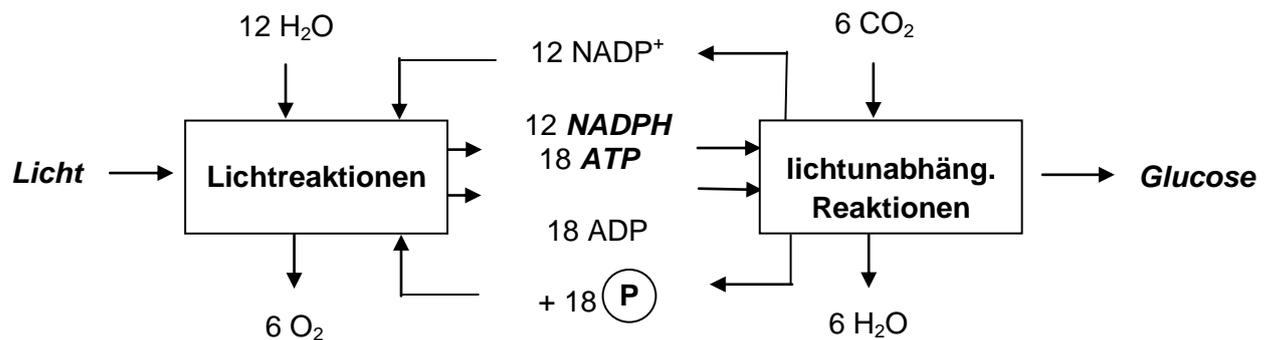
- Calvinzyklus: Aus einem energiearmen anorganischen Stoff (Kohlenstoffdioxid) entsteht in mehreren Schritten ein energiereicher organischer Stoff (Glucose):
 - Fixierungsphase: Reaktion von Kohlenstoffdioxidmolekülen mit organischen Akzeptormolekülen
 - Reduktionsphase: endotherme Reduktion des Kohlenstoffatoms um vier Oxidationsstufen; ATP als Energielieferant, NADPH als Lieferant von Energie, Elektronen und Wasserstoff-Ionen
 - Synthese von Glucose im Anschluss an die Reduktionsphase
 - Regenerationsphase: Herstellung der organischen Akzeptormoleküle unter ATP-Verbrauch

Bruttogleichung:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

- Zusammenfassung: Die Photosynthese im Überblick - Zusammenspiel von Lichtreaktionen und lichtunabhängigen Reaktionen: Kombination der beiden Abschnitte z. B. als Blackboxen, Darstellung der Verknüpfung über die energiereichen und -armen Formen der beiden Kurzzeit-Energiespeicher:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung
- Grundprinzipien der Biochemie anwenden und darstellen: Stoffwechselwege setzen sich aus Teilschritten zusammen, energetische Verknüpfung von Teilschritten

Hinweise auf Materialien und Literatur

- Arbeitsblatt mit Übungsaufgaben (s. Anhang)

Bedeutung der Photosyntheseprodukte für die Pflanze: Anabolismus und Katabolismus, Transport, Speicherung

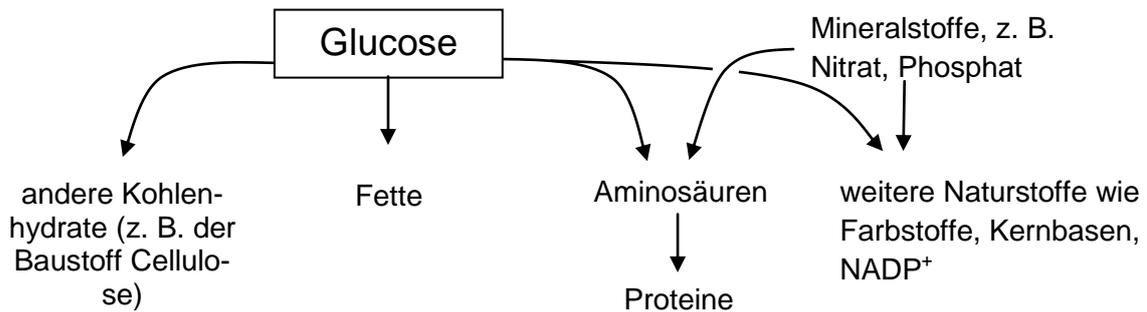
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- NT 5.2.2 Der Körper des Menschen: Zellatmung (Energie- und Stoffumwandlung, Energiefreisetzung)
- NT 6.1.2 Bau und Lebenserscheinungen der Blütenpflanzen: Gliederung des Pflanzenkörpers (Aufgaben und Zusammenwirken der verschiedenen Organe); Wachstum und Energiebindung (Photosynthese und Zellatmung)
- B 10.1 Stoffwechsel des Menschen: Stoffwechsel in der Zelle (Reaktion von Sauerstoff mit Glucose: Oxidation in den Mitochondrien, Stoffaufbau: Synthese zelleigener Proteine aus Aminosäuren)

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Der aufbauende Stoffwechsel (Anabolismus): alle aufbauenden Stoffwechselfvorgänge

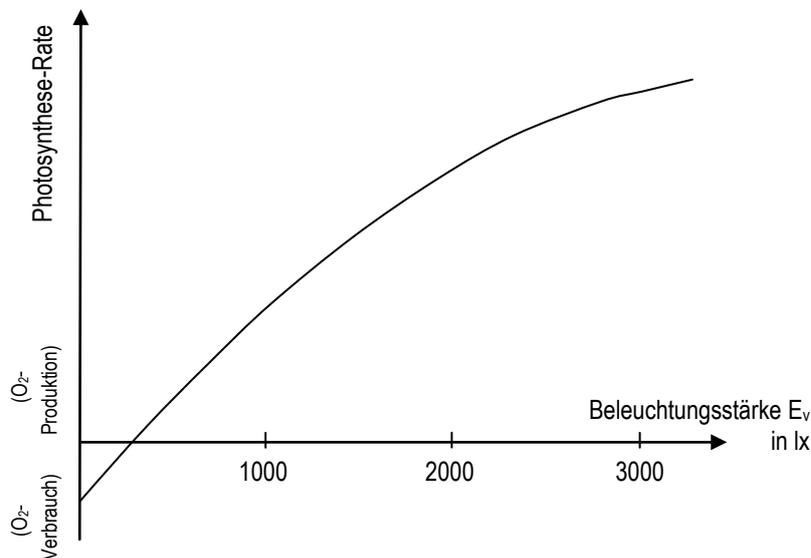


- Der abbauende Stoffwechsel (Katabolismus): alle abbauenden Stoffwechselfvorgänge, v. a. Reaktionen zur Bereitstellung von Energie z. B.:



(*kursiv* entspricht einem hohen Energieinhalt)

- Zusammenhang zwischen Anabolismus und Katabolismus im Energiestoffwechsel: Bedeutung des Kompensationspunktes (Schnitt des Graphen mit der x-Achse: Rate von Zellatmung und Photosynthese gleich groß):



Abhängigkeit der Photosynthese-Rate von der Beleuchtungsstärke E_v

- Transport und Speicherung: Pflanzen besitzen Leitungssysteme (Leitbündel) zum Transport von wässrigen Lösungen verschiedener Stoffe (z. B. Glucose); Verteilung von Stoffen in alle Pflanzenorgane; keine Anatomie der Leitsysteme; Sauerstoff verlässt die Pflanzen über dieselben Öffnungen im Blatt (Spaltöffnungen), durch die Kohlenstoffdioxid hineindiffundiert; keine Anatomie des Laubblattes; Speicherung energiereicher Stoffe (v. a. Stärke und Fette) zur Überbrückung photosynthesefreier Zeiten (Nacht, Winter) und zur Versorgung der Keimlinge in den Samen; Speicherorte: z. B. Wurzel, Stamm, Samen

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Organismus Pflanze als System

Vorschläge für Experimente

- Nachweis des Sauerstoffaustritts auf der Unterseite von Laubblättern (z. B. von Alpenveilchen) unter Wasser mit Indigocarmin
- Stärke- und Fettnachweis in Samen (z. B. Mandeln, Haselnüsse, Paranüsse, Sonnenblumenkerne, Weizenkörner) und Speicherorganen (z. B. Kartoffel)

experimentelle Untersuchung und Deutung der Abhängigkeit der Photosynthese von weiteren Außenfaktoren: Bedeutung und Anwendung**Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans**Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- NT 6.1.2 Bau und Lebenserscheinungen der Blütenpflanzen: Wachstum und Energiebindung (Photosynthese: Energie- und Stoffumwandlung, Energiespeicherung)
- B 10.3 Grundlegende Wechselbeziehungen zwischen Lebewesen: Die Umwelt eines Lebewesens (abiotische Umweltfaktoren z. B. Temperatur, Licht, Wasser, Boden)

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Betrachtung folgender Faktoren: Lichtqualität, Beleuchtungsstärke, Temperatur, Kohlenstoffdioxid-Gehalt, Mineralstoffe; jeweils bei geeigneten Unterpunkten zur Photosynthese (s. o.)
- Anwendung zur Ertragssteigerung in der Landwirtschaft und im Gartenbau: z. B. Ausstattung von Gewächshäusern mit geeigneter Beleuchtung, Erhöhung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts; Abdeckung mit Folien; Düngung

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Planung und Auswertung von Experimenten und ggf. Durchführung

Grundprinzipien der Energiefreisetzung durch Stoffabbau

Stoffverteilungsplan

Std.	Lehrplan	Stundeninhalte
1	Energiefreisetzung durch anaeroben Stoffabbau	Bedeutung der Glucose, von Glucose zu Brenztraubensäure (Glykolyse: Bruttogleichung), NADH und ATP als Energiespeicher, Milchsäuregärung und ihre Bedeutung, alkoholische Gärung und ihre Bedeutung
2		
3		Praktikum: Gärung
4	Energiefreisetzung durch aeroben Stoffabbau	Zellatmung: Von Glucose über Brenztraubensäure zu Kohlenstoffdioxid und Wasser, Analyse der Bruttogleichung, Glucose als reduzierte Kohlenstoffverbindung
5	Stoff- und Energiegesamtbilanz des anaeroben und aeroben Stoffabbaus	Vergleich Gärungen und Zellatmung

Energiefreisetzung durch anaeroben Stoffabbau: Milchsäuregärung und alkoholische Gärung

Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

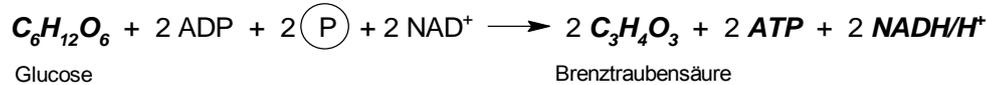
- B 8.1 Einfache Organisationsstufen von Lebewesen: Reiche der Lebewesen; Bakterien: Ernährungsformen und Stoffwechselformen im evolutionären und ökologischen Zusammenhang

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Nutzung des Photosyntheseprodukts Glucose als Energiequelle, Speicherung der Energie in Form von ATP für z. B. Anabolismus, Bewegung, aktiven Transport
- Manche Organismen können z. B. Glucose auch bei Abwesenheit von Sauerstoff als Energiequelle nutzen. Die Kohlenstoffatome im Glucosemolekül können dann nicht vollständig zur Oxidationsstufe +IV oxidiert werden. Der Glucose kann somit deutlich weniger Energie entzogen werden.
- Stoffabbau ohne Sauerstoff = anaerober Stoffabbau (anaerobe Gärungen)
- Milchsäuregärung:
 - Vorkommen bei Milchsäurebakterien, in Muskelzellen
 - Bedeutung: z. B. Lebens- und Futtermittelproduktion (Sauermilchprodukte, Sauerkraut, Silage), konservierende Wirkung, Denaturierung von Proteinen (z. B. Verfestigung der Milch im Joghurt), Probiotika, ATP-Bereitstellung im Muskel bei Sauerstoffmangel

- Gärungsprozess:
Schritt 1: Umsetzung von Glucose zu Brenztraubensäure unter Bildung von ATP (direkte Energiespeicherung) und NADH

Bruttogleichung der Glykolyse:

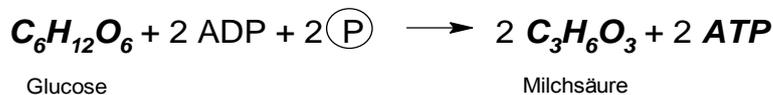


- Schritt 2: Regeneration des Oxidationsmittels NAD⁺ für die Glykolyse durch Umsetzung von Brenztraubensäure zu Milchsäure

evtl. Bruttogleichung der Regeneration:



- Bruttogleichung der Milchsäuregärung:



- ATP-Bilanz: 2 Moleküle ATP pro Molekül Glucose

- alkoholische Gärung:

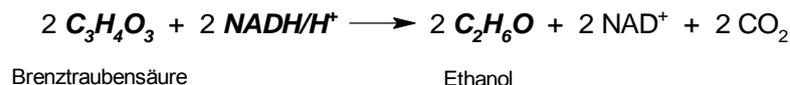
- Vorkommen unter anaeroben Bedingungen bei Hefen (einzellige Pilze; ubiquitär, auch Gärungsprozesse in der freien Natur), spezielle Zuchtstämme (Bäckerhefen, Bierhefen, Weinhefen); unter aeroben Bedingungen betreiben Hefen Zellatmung.
- Verwendung: z. B. Herstellung alkoholischer Getränke (Ethanol), Bioethanol als Treibstoff

- Gärungsprozess:

Schritt 1: Glykolyse s. o.

Schritt 2: Regeneration des Oxidationsmittels NAD⁺ für die Glykolyse durch Umsetzung von Brenztraubensäure zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid

evtl. Bruttogleichung der Regeneration:



- Bruttogleichung der alkoholischen Gärung:



- ATP-Bilanz: 2 Moleküle ATP pro Molekül Glucose

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung
- Variabilität und Anpassbarkeit
- Versuche beschreiben, auswerten, planen; Versuchsergebnisse in Tabellen und als Grafiken darstellen (Erkenntnisgewinnung)

Hinweise auf Materialien und Literatur

- Kessler, Kai; Kunz, Peter M.; Sommer, Isabell: *Das Experiment - Die Fermentation von Sauerkraut*. In: *Biologie in unserer Zeit* 2/2010 (40), Wiley-VCH Verlag, Weinheim, S.122-130

Vorschläge für Experimente

- Herstellung von Joghurt durch Beimpfen von Milch mit Milchsäurebakterien aus Naturjoghurt
- Herstellung von Sauerkraut (Langzeitversuch)
- Vergärung von Glucose mit Hefe; Nachweis von Ethanol und Kohlenstoffdioxid (z. B. „Chemie? Aber sicher!“ Akademiebericht 475, Versuch 15-2)
- Vergleich der Vergärbarkeit verschiedener Zucker (z. B. Glucose, Fructose, Saccharose, Lactose) durch Hefe
- „Wasserteig“: Klöße aus Hefeteig in Gefäße mit Wasser unterschiedlicher Temperatur sinken zu Boden und steigen nach unterschiedlich langer Zeit (Minutenbereich) zur Oberfläche

Energiefreisetzung durch aeroben Stoffabbau: Zellatmung

Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- NT 5.2.2 Der Körper des Menschen und seine Gesunderhaltung: Stoffaufnahme für Wachstum und Energieversorgung
- B 10.1 Stoffwechsel des Menschen: Ernährung und Verdauung; Stoffwechsel in der Zelle
- C_{NTG} 9.2 und C 10.3 Elektronenübergänge: Oxidationszahl

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Die Zellatmung als exotherme Redoxreaktion; Nutzung der Photosyntheseprodukte (Glucose und Folgeprodukte) als Energiequelle; Speicherung der Energie als ATP für z. B. Anabolismus, Bewegung, aktiven Transport
- Wiederholung:



- Zellatmungsprozess:
 - Schritt 1: Glykolyse im Cytoplasma s. o.
 - Schritt 2: vollständiger Abbau der Brenztraubensäure zu Kohlenstoffdioxid im Mitochondrium, Zwischenspeicherung der dabei freiwerdenden Elektronen und Wasserstoff-Ionen im Kurzzeit-Energiespeicher NADH
 - Schritt 3: Regeneration von NAD⁺ durch Übertragung von Wasserstoff-Ionen und Elektronen auf Sauerstoff im Mitochondrium, Bildung großer Mengen an ATP
- Vergleich mit Photosynthese: chemiosmotisches Modell der ATP-Bildung an der inneren Mitochondrienmembran (Aufbau eines Protonengradienten, ATPase)
- Bruttogleichung der Zellatmung: z. B.



- ATP-Bilanz: Bildung von ca. 30 Molekülen ATP pro Molekül Glucose⁵, keine exakte Berechnung über Teilschritte

Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung

⁵ s. z. B. Alberts, B. et al: *Molekularbiologie der Zelle*. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2011, 5. Auflage, S. 129; Berg, J.M.; Tymoczko, J.L.; Stryer, L.: *Biochemie*. Spektrum Akademischer Verlag, 2007, 6. Auflage, S. 592

Vorschläge für Experimente

- Nachweis von Kohlenstoffdioxid in der ausgeatmeten Luft beim Menschen
- Nachweis von Kohlenstoffdioxid aus der Zellatmung keimender Pflanzensamen

Stoff- und Energiegesamtbilanz des anaeroben und des aeroben Stoffabbaus

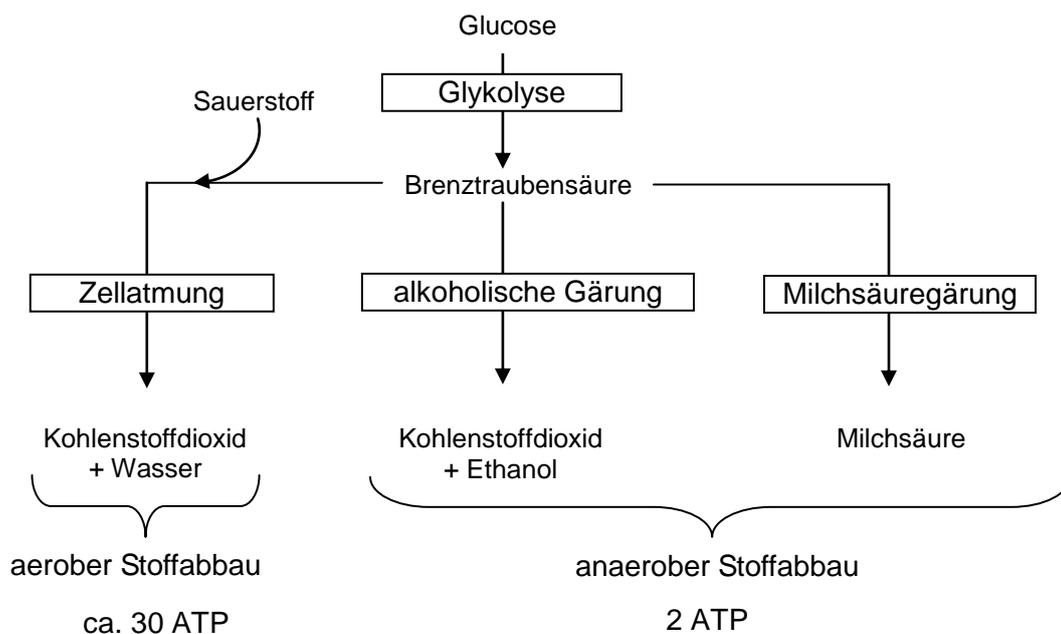
Überlegungen zur Umsetzung des Lehrplans

Grundlagen in den Lehrplänen der Jgst. 5-10

- B 8.1 Einfache Organisationsstufen von Lebewesen: Bakterien (Ernährungsformen und Stoffwechseltypen im evolutionären und ökologischen Zusammenhang)

Vorschläge zu Inhalten und Niveau

- Umschalten zwischen aerobem und anaerobem Abbau z. B. in Hefe- und Muskelzellen
- Vergleich von Experimenten unter aeroben und anaeroben Bedingungen mit Hefe; u. a. Aufstellen von Hypothesen, Auswerten von Daten
- Vergleich der Bruttogleichungen (s. o.): deutlich höhere ATP-Ausbeute durch aeroben Abbau; Gärungsprodukte Milchsäure und Ethanol enthalten noch viel chemische Energie (z. B. Ethanol als Brennstoff).
- Überblick zu den Dissimilationswegen:



Basiskonzepte und Kompetenzorientierung

- Stoff- und Energieumwandlung
- Steuerung und Regelung
- Vergleich der Energieausbeuten in den verschiedenen Stoffwechselwegen (Erkenntnisgewinnung)

Vorschläge für Experimente

- Vergärung und Veratmung von Glucose durch Hefe im Vergleich
- Erhitzen einer vergorenen Glucoselösung in einem Glaskolben mit Steigrohr, Entzünden des gasförmigen Ethanols am Ende des Rohrs
- Verbrennen von Ethanol

Anhang

Aufgabenvorschlag

Isolierte Chloroplasten werden in wässriger Lösung unter verschiedenen Bedingungen (vgl. Tabelle) im Reagenzglas kultiviert.

Versuch Nummer	Licht	Zugabe größerer Mengen an folgenden Substanzen zum Versuchsansatz:						
		CO ₂	O ₂	N ₂	ATP	ADP + P _i	NADP ⁺	NADPH
1	X	X	X	X				
2	X	X		X				
3	X		X	X				
4	X	X	X					
5		X	X	X				
6		X			X		X	
7		X			X			X
8		X				X	X	
9		X			X	X	X	X
10			X	X	X			X
11	X					X	X	
12	X				X		X	

Begründen Sie, bei welchen Versuchsansätzen Sauerstoff freigesetzt, bei welchen Glucose erzeugt wird und welche eigentl. nicht benötigten Stoffe zum Versuchsansatz gegeben werden. In den intakten Chloroplasten befinden sich alle zur Photosynthese notwendigen Stoffe in geringer Menge. Betrachten Sie deshalb keine kurzfristigen Effekte, sondern nur Beobachtungen, die man nach längerer Laufzeit (z. B. 15 Minuten) machen kann.

Lösung

Versuch Nummer	lichtabhängige Reaktionen (LR)	O ₂ -Freisetzung?	lichtunabhängige Reaktionen (DR)	Glucose-Produktion?	unnötige Stoffe
1	läuft wegen Licht und weil DR läuft	ja	läuft wegen CO ₂ und weil LR läuft	ja	O ₂ , N ₂
2	läuft wegen Licht und weil DR läuft	ja	läuft wegen CO ₂ und weil LR läuft	ja	N ₂
3	läuft nicht, weil ADP, P _i und NADP ⁺ fehlen (DR läuft nicht)	nein	läuft nicht, weil CO ₂ fehlt	nein	O ₂ , N ₂
4	läuft wegen Licht und weil DR läuft	ja	läuft wegen CO ₂ und weil LR läuft	ja	O ₂
5	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft nicht, weil ATP und NADPH aus LR fehlen	nein	O ₂ , N ₂
6	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft nicht, weil NADPH aus LR fehlt	nein	NADP ⁺

7	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft, da CO ₂ , ATP und NADPH vorliegen	ja	–
8	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft nicht, weil NADPH aus LR fehlt	nein	NADP ⁺ , ADP, P _i
9	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft, da CO ₂ , ATP, NADPH vorliegen	ja	NADP ⁺ , ADP, P _i
10	läuft nicht, da Licht fehlt	nein	läuft nicht, da CO ₂ fehlt	nein	O ₂ , N ₂
11	läuft ab, weil Licht, NADP ⁺ , ADP, P _i vorliegen	ja	läuft nicht, weil CO ₂ fehlt	nein	–
12	läuft nicht, weil ADP, P _i und NADP ⁺ fehlen (DR läuft nicht)	nein	läuft nicht, weil CO ₂ fehlt	nein	NADP ⁺