

Abbau (8)

Vergleichende Betrachtungen

Aufgaben:

1 **Feinbau von Chloroplast und Mitochondrium**

Vergleichen Sie anhand Ihres Vorwissens Chloroplast und Mitochondrium nach folgenden Kriterien:

- a) Kompartimentierung (Reaktionsräume innerhalb des Organells)
- b) Membransysteme mit ihren wesentlichen Bestandteilen
- c) Oberflächenvergrößerung (mit der Folge für die Funktion des Organells)

2 **Photosynthese und aerober Abbau**

Vergleichen Sie anhand Ihres Vorwissens Photosynthese und Zellatmung bezüglich folgender biochemischer Prinzipien, indem Sie mit Fachbegriffen die grundlegenden Sachverhalte kurz beschreiben:

- a) Prinzip einer Elektronen-Transportkette (ohne Aufzählung der Zwischenschritte)
- b) Protonen-Gradient (Aufbau, Nutzung)
- c) Enzym-Katalyse (Beispiele für konkrete Stoffumwandlungen)
- d) Prinzip des zyklischen Prozesses
- e) Zerlegung in Teilschritte
- f) energiereiche Zwischenspeicher

3 **Zusammenhang von auf- und abbauendem Stoffwechsel**

3.1 Erstellen Sie ein Kreislauf-Diagramm zu den in M1 beschriebenen Stoffumwandlungen.

3.2 Erstellen Sie ein Flussdiagramm zu den in M1 beschriebenen Energieumwandlungen. Geben Sie bei chemischer Energie jeweils ein Beispiel für einen Energieträger an.

3.3 Begründen Sie die Wichtigkeit des Stoffkreislaufs zwischen Assimilation und Dissimilation.

3.4 Beurteilen Sie, ob bzw. inwiefern Gärungen in diesen Kreislauf eingebunden sind.

4 **Stoff- und Energiebilanz**

4.1 Stellen Sie die beiden Ihnen bekannten Gärungen und den aeroben Abbau von Glukose nach folgenden Kriterien tabellarisch gegenüber: Nennen Sie die jeweils beteiligten Stoffwechsel-Abschnitte (je 2 bei den Gärungen, 4 beim aeroben Abbau), geben Sie für jeden Stoffwechsel-Abschnitt die Anzahl der erzeugten bzw. verbrauchten energiereichen Zwischenspeicher (NADH, FADH₂, ATP) pro Glukose an (Verbrauch mit negativem Vorzeichen), nennen Sie die bei den drei Dissimilations-Wegen freigesetzten Abbauprodukte und geben Sie Beispiele für das Vorkommen des jeweiligen Dissimilations-Wegs an. (M2)

4.2 Berechnen Sie anhand der Ergebnisse von 4.1 den Wirkungsgrad für den anaeroben und aeroben Abbau von Glukose in Prozent. (M3)

4.3 Berechnen Sie das Ausmaß der Energieentwertung beim anaeroben und beim aeroben Abbau. (M3)

4.4 Erklären Sie den Vorteil, den Hefezellen bzw. Muskelzellen haben, wenn sie mit den Enzymen für aeroben wie auch für anaeroben Abbau ausgestattet sind.

Materialien:

M1 Auf- und abbauender Stoffwechsel

Eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung des üppigen Lebens auf der Erde besteht darin, dass die Stoffe des Energiestoffwechsels im Wesentlichen in einen Kreislauf eingebunden sind. Andernfalls würden einerseits Rohstoff-Mängel, andererseits eine Anhäufung von Abfall-Produkten auftreten.

Bei der Assimilation nehmen photoautotrophe Lebewesen Lichtenergie auf, wandeln sie in chemische Energie um und speichern sie in Form von Energieträgern wie Glukose. Der dafür nötige Kohlenstoff stammt aus Kohlenstoffdioxid, bei der Photolyse von Wasser entsteht Sauerstoff.

Bei der Dissimilation wird die chemische Energie aus Energieträgern wie Glukose zum Aufbau von Kurzzeit-Energiespeichern, v. a. ATP, verwendet, bei deren Entwertung nutzbare Energie freigesetzt wird, die letztendlich in Wärmeenergie umgewandelt wird. Beim aeroben Abbau wird Sauerstoff zu Wasser reduziert. Glukose wird vollständig oxidiert, wodurch Kohlenstoffdioxid entsteht, das damit wieder in den Kreislauf eingespeist wird.

M2 Stoff- und Energiebilanz

Milchsäurebakterien (z. B. *Lactobacillus bifidus*), aber auch Skelettmuskelzellen von Säugetieren unter Sauerstoffmangel führen für die Bildung von ATP die Milchsäuregärung durch. Hefezellen (z. B. *Saccharomyces cerevisiae*) betreiben unter anaeroben Bedingungen alkoholische Gärung. Bei Anwesenheit von Sauerstoff führen jedoch eukaryotische Zellen sowie aerobe Prokaryoten den aeroben Abbau von Glukose durch. Setzen Sie den Energieaufwand für den Transport durch die innere Mitochondrienmembran mit 1 ATP pro Brenztraubensäure an.

M3 Wirkungsgrad und Energieentwertung

Der Wirkungsgrad η (Eta) bei der Energieumwandlung wird berechnet, indem die für die Zelle nutzbare Menge an Energie (30,5 kJ/mol ATP) durch die eingesetzte Menge an Energie (2872 kJ/mol Glukose) dividiert wird (multipliziert mit 100 ergibt sich die Angabe in Prozent).

Bei Energieumwandlungen wird ein Teil der eingesetzten Energie in eine andere nutzbare Energieform umgewandelt. Die restliche Energie ist nicht nutzbar und wird in Form von Wärme abgegeben. Diese Tatsache wird als Energieentwertung bezeichnet.

Hinweise für die Lehrkraft:

Dieses Arbeitsblatt deckt alle im LehrplanPLUS bei diesem Abschnitt des Lernbereichs 3.3 genannten Aspekte ab. Die Kursteilnehmer sollten diese Vergleiche in einer Prüfung (Klausur, Abitur) ohne weitere Hilfsmittel darstellen können.

1 Chloroplast und Mitochondrium

Feinbau	Chloroplast	Mitochondrium
Kompartimentierung	Intermembranraum (zwischen äußerer und innerer Membran) Matrix-Raum (Stroma) Thylakoid-Innenraum	Intermembranraum (zwischen äußerer und innerer Membran) Matrix-Raum
Membransystem	Die Farbstoffe (v. a. Chlorophylle, Carotin) sowie die Proteine zum Aufbau eines Protonen-Gradienten für die Synthese von ATP sitzen in der Thylakoid-Membran.	Die Enzymkomplexe zur Bildung eines Protonen-Gradienten für die Synthese von ATP sitzen in der Innenmembran.
Oberflächenvergrößerung	Thylakoid-Membran in flachen Stapeln (Grana) bzw. ausgedehnten Flächen	starke Einstülpungen der Innenmembran*

*) Die lamellenförmigen heißen *Cristae* (*crista*, lateinisch: Kamm), andere Typen von Mitochondrien haben schlauchförmige Einstülpungen, die *Tubuli*. Für den Kursunterricht genügt der *Cristae*-Typus, ohne dass dieser Fachbegriff fallen muss.

2 Photosynthese und aerober Abbau

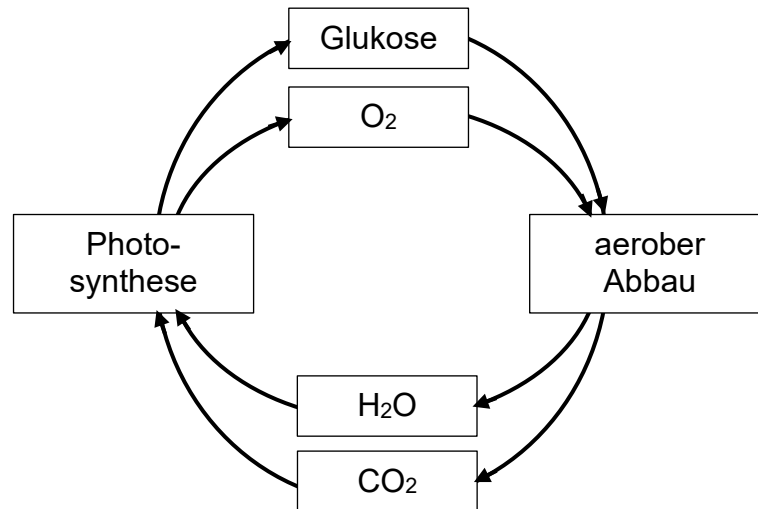
biochem. Prinzip	Photosynthese	aerober Abbau
Elektronentransportkette	von Wasser über Chlorophyll II, dann über mehrere Redoxsysteme zu Chlorophyll I und letztendlich auf NADP^+	von den energiereichen Zwischenspeichern NADH und FADH_2 auf die Enzymkomplexe I-IV in der Innenmembran und letztendlich auf Sauerstoff
Protonen-Gradient: Aufbau	<u>lichtabhängige Reaktionen:</u> a) aktiver Transport von Protonen über die Elektronentransportkette; b) Freisetzung von Protonen durch die Photolyse des Wassers im Thylakoid-Innenraum; c) Verbrauch von Protonen durch die Bildung von NADPH im Matrixraum (Stroma)	<u>Atmungskette:</u> a) aktiver Transport von Protonen durch direkte Übertragung von NADH bzw. FADH_2 auf EK III und von dort Freisetzung in den Intermembranraum; b) zusätzlich aktiver Transport von Protonen durch die Membran durch EK I, EK III und EK IV; c) Verbrauch von Protonen bei der Bildung von Wasser
Protonen-Gradient: Nutzung	Synthese von ATP	Synthese von ATP

Enzym-Katalyse	<p><u>lichtabhängige Reaktionen:</u> spezielle Enzymkomplexe in der Thylakoid-Membran zur Absorption von Photonen bzw. zum Transport von Protonen und Elektronen bzw. zur Bildung von ATP;</p> <p><u>lichtunabhängige Reaktionen:</u> spezielle Enzymkomplexe zur Fixierung von Kohlenstoffdioxid bzw. der Reduktion von Kohlenstoff und weiteren Stoffumwandlungen</p>	alle Schritte zur Stoffumwandlung werden von speziellen Enzymen katalysiert, z. B.: vier Enzymkomplexe der Atmungskette in der inneren Mitochondrien-Membran zum Transport von Protonen und Elektronen bzw. zur Bildung von ATP
zyklischer Prozess	<p><u>lichtunabhängige Reaktionen:</u> Ein Akzeptor-Molekül im Calvin-Zyklus bindet Kohlenstoffdioxid, das unter Verbrauch von ATP und NADPH reduziert wird, wobei Glukose entsteht und der Akzeptor regeneriert wird.</p>	<p><u>Tricarbonsäure-Zyklus:</u> Ein Akzeptor-Molekül im Tricarbonsäure-Zyklus bindet aktivierte Essigsäure, die schrittweise unter Bildung der energiereichen Zwischenspeicher oxidiert wird, wobei der Akzeptor regeneriert und Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird.</p>
Zerlegung in Teilschritte	<p><u>lichtabhängige Reaktionen:</u> Die Lichtenergie, die für die Übertragung von Elektronen von Wasser auf NADP⁺ nötig ist, wird in zwei Schritten durch Chlorophyll II und I aufgenommen.</p> <p><u>lichtunabhängige Reaktionen:</u> schrittweise Reduktion der Kohlenstoff-Atome im Calvin-Zyklus</p>	<p><u>Tricarbonsäure-Zyklus:</u> schrittweise Oxidation des Kohlenstoffs</p> <p><u>Atmungskette:</u> schrittweise Übertragung der Elektronen (nur eA-Kurs)</p>
energiereiche Zwischenspeicher*	NADPH, ATP	NADH, FADH ₂ , ATP

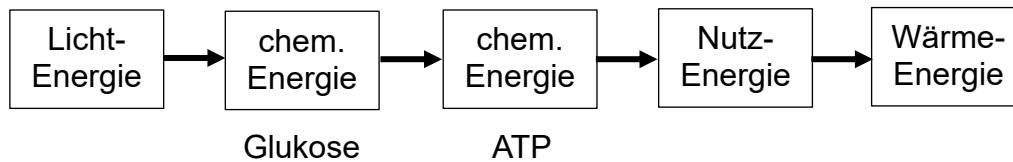
*) fakultativ

3 Zusammenhänge zwischen auf- und abbauendem Stoffwechsel

3.1 beispielsweise:



3.2 beispielsweise:



3.3 Kohlenstoffdioxid als Ressource für die Assimilation wird ständig durch die Dissimilation zur Verfügung gestellt. Glukose und Sauerstoff als Ressourcen für die Dissimilation werden ständig durch die Assimilation zur Verfügung gestellt.

Dadurch weder Rohstoffmangel, noch Abfall-Problem.

3.4 Gärungen stellen Abfallprodukte wie Milchsäure oder Ethanol her, die nicht direkt in den Kreislauf eingeschleust werden.

Diese Produkte enthalten noch viel Energie und können von anderen Lebewesen bzw. unter anderen Umständen für die ATP-Synthese weiter zu Kohlenstoffdioxid und Wasser umgewandelt werden, so dass dann der Kreislauf wieder geschlossen ist.

4 Stoff- und Energiebilanz

4.1 Vergleich der energiereichen Zwischenspeicher

Stoffwechsel-Abschnitte	NADH	FADH ₂	ATP	Abbau-Produkte	Vorkommen z. B.
	pro Glukose				
Glykolyse	2	–	2	Milchsäure	Milchsäure-Bakterien, Säugetiermuskel bei Sauerstoffmangel
Milchsäure-Synthese	–2	–	–		
Glykolyse	2	–	2	Ethanol, Kohlenstoffdioxid	Hefe bei Sauerstoffmangel
Alkohol-Synthese	–2	–	–		

Glykolyse	2	–	2	Kohlenstoffdioxid, Wasser	Hefe und Säugetiermuskel bei Anwesenheit von Sauerstoff; aerobe Prokaryoten
BTS-Transport	–	–	– 2		
oxidat. Decarboxylierung	2	–	–		
Tricarbonsäurezyklus	6	2	2		
Atmungskette	– 10	– 2	28		

Hinweis: Bei den Kompetenzerwartungen verlangt der LehrplanPLUS für gA- und eA-Kurs: „Die Schülerinnen und Schüler erklären anhand eines Vergleichs der Stoff- und Energiebilanzen des aeroben und anaeroben Abbaus von Glucose, unter welchen Bedingungen die jeweiligen Abbauewege begünstigt werden.“ Dagegen steht bei den Inhalten zu den Kompetenzen die ähnliche Formulierung: „flexible Anpassung von Stoffwechselwegen (Hefezellen, Skelettmuskelzellen)“ nur im Lehrplan PLUS für den eA-Kurs. Ich interpretiere das so: Im gA-Kurs muss die Idee des Pasteur-Effekts bekannt sein, wenn auch ohne eigene Fachbegriffe oder vertiefende Details.

4.2 anaerober Abbau: 2 ATP pro Glukose

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{2 \cdot 30,5 \text{ kJ/mol}}{2872 \text{ kJ/mol}} = 0,0212 \text{ bzw. } 2,12 \%$

aerober Abbau: 30 ATP pro Glukose

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{30 \cdot 30,5 \text{ kJ/mol}}{2872 \text{ kJ/mol}} = 0,319 \text{ bzw. } 31,9 \%$

Der LehrplanPLUS verlangt „Stoff- und Energiebilanz“, aber nicht ausdrücklich den Wirkungsgrad. Weil diese Größe aber im Alltag ihre Bedeutung hat, würde ich sie einführen.

4.3 Die Energieentwertung beim anaeroben Abbau beträgt $100 \% - 2,12 \% = 97,88 \%$.

Die Energieentwertung beim aeroben Abbau beträgt $100 \% - 31,9 \% = 68,1 \%$.

4.4 maximale Ausbeute an ATP unter aeroben Bedingungen

unter anaeroben Bedingungen bzw. bei Sauerstoffmangel immer noch dauerhafte Versorgung mit ATP

Thomas Nickl, August 2024