



## AUFGABENSAMMLUNG



### Aufgabe 1

Beantworten Sie die Fragen zum Film „Synthetic Chloroplast Production using a Microfluidic platform“.

Bearbeitung als LearningApp „Künstliche Chloroplasten“  
<https://learningapps.org/watch?v=pjq15mqma22> oder > QR



Alternativ: Film auf YouTube  
Link: <https://youtu.be/NLf4LJ5Z4a4> oder > QR



- 1.1 Formulieren Sie die Bruttogleichung der Fotosynthese!
- 1.2 Pflanzen bilden bei der Fotosynthese Sauerstoff. Erklären Sie zwei verschiedene Möglichkeiten, die atomare Herkunft des gebildeten Sauerstoffs zu beweisen!
- 1.3 Rubisco katalysiert die Fixierung von  $\text{CO}_2$  im Calvin-Zyklus. Formulieren Sie diese Reaktion in geeigneter Weise!
- 1.4 Erstellen Sie ein Substratkonzentration-Reaktionsgeschwindigkeit-Diagramm für die  $\text{CO}_2$ -bindende Reaktion von Rubisco bzw. ECR! (⇒ BIOMAX 37, S. 3 > QR, PDF)



### Aufgabe 2

„Der US-amerikanische Biochemiker Melvin Calvin verfolgte mit seiner Arbeitsgruppe an der University of California in Berkeley Ende der 1940er Jahre, wie aus radioaktiv markiertem Kohlenstoffdioxid in einem Kreisprozess Kohlenhydrate hergestellt wurden.“ (⇒ BIOMAX 37, S. 2)

- 2.1 Formulieren Sie unter Verwendung von  $^{14}\text{CO}_2$  einen vereinfachten Calvin-Zyklus im C-Körper-Schema. Leiten Sie ab, wo die  $^{14}\text{C}$ -Isotope final detektierbar sind!
- 2.2 Vergleichen Sie Calvin-Zyklus und CETCH-Zyklus im Hinblick auf jeweils drei grundlegende Unterschiede und Gemeinsamkeiten! (⇒ BIOMAX 37, S. 3, Abb. B)



### Aufgabe 3

„Bei der Fotosynthese liefern Chloroplasten-Membranen die Energie für die Kohlenstoffdioxid-Fixierung.“ (⇒ BIOMAX 37, S. 3)

Erstellen Sie eine beschriftete Skizze einer relevanten Chloroplasten-Membran, die dieser Aufgabe gerecht wird!



#### Aufgabe 4

Schauen Sie den Film „Tobias Erb on Designing a More Efficient System for Harnessing Carbon Dioxide“ an und bearbeiten Sie anschließend die Aufgaben.

Bearbeitung als LearningApp „Entwicklung CETCH-Zyklus“ oder > QR  
<https://learningapps.org/watch?v=pt4vww6xa22>



Alternativ: Film auf YouTube

Link: <https://youtu.be/CPFscyYRS10> oder > QR



*„Mit der Plattform können wir neuartige Lösungen umsetzen, die die Natur während der Evolution nicht beschritten hat. [...] So konnten die Forschenden zeigen, dass der künstliche Chloroplast mithilfe der neuartigen Enzyme und Reaktionen Kohlenstoffdioxid 100-mal schneller bindet als bisherige synthetisch-biologische Ansätze. Langfristig könnten lebensechte Systeme in praktisch allen technologischen Bereichen Anwendung finden, einschließlich Materialwissenschaften, Biotechnologie und Medizin.“*  
(⇒BIOMAX 37, S. 4)

Es wird kontrovers diskutiert, ob das gentechnische Modifizieren von Genen für Enzyme und die enzymatische Neukombination ethisch zu rechtfertigen sind. Um zu einer Urteilsfindung zu kommen, ist es nötig, fachliche Argumente mit Werten in Beziehung zu setzen. Folgende Werte werden häufig genannt: Umweltschutz, Gesundheit, Freiheit, Leidverringerung, Wohlstand, Würde des Menschen, Bildung und Fortschritt.



Beurteilen Sie anhand einer Pro- und Contra-Argumentation als Teilschritt einer ethischen Analyse, ob die Optimierung des CETCH-Zyklus weiterhin angestrebt werden sollte. Berücksichtigen Sie dabei zwei selbstgewählte Werte.



Stellen Sie in Kleingruppen Ihre Argumentationen vor und vergleichen Sie die gewählten Werte und inhaltlichen Argumente.



## LÖSUNGEN

### Lösung 1



### 1.2

#### Erste Möglichkeit: Tracer-Methode

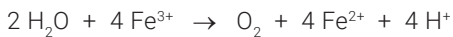
Isotopenmarkierung mit  $^{18}\text{O}$  statt  $^{16}\text{O}$ :

- Fotosynthese mit  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  als Edukt liefert  $^{18}\text{O}_2$  als Produkt
- Fotosynthese mit  $\text{C}^{18}\text{O}_2$  als Edukt liefert  $^{16}\text{O}_2$  als Produkt

Jeweils Produkt-Detektierung mittels z. B. Massenspektrometrie (nicht Autoradiografie wegen fehlender Radioaktivität des  $^{18}\text{O}$ -Isotops) liefert Erkenntnis von  $\text{H}_2\text{O}$  als O-Quelle für  $\text{O}_2$

#### Zweite Möglichkeit: Hill-Reaktion

Thylakoide produzieren bei Anwesenheit von Wasser und einem Elektronenakzeptor wie z. B.  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen sowie Kohlenstoffdioxid-Abwesenheit Sauerstoff:



Einziges O-Atomhaltiges Teilchen auf Eduktseite dieser Reaktion und somit O-Quelle für  $\text{O}_2$  ist  $\text{H}_2\text{O}$

### 1.3



### 1.4

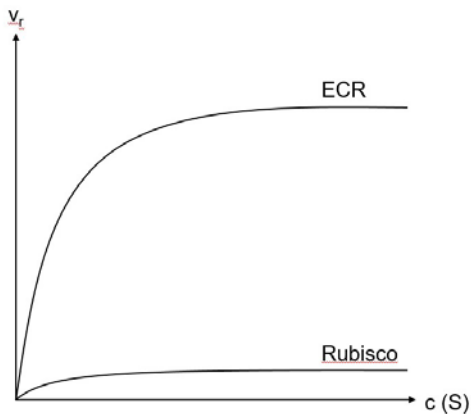


Abb. A: Diagramm © A. Wöhl / CC BY-NC-SA 4.0

### Lösung 2

### 2.1

Durch  $^{14}\text{CO}_2$ -Bindung an das  $\text{C}_5$ -Akzeptormolekül Ribulose-1,5-bisphosphat entsteht ein instabiler  $\text{C}_6$ -Körper, der unmittelbar in zwei – ungeachtet der Isotopenmarkierung – identische  $\text{C}_3$ -Moleküle Phosphoglycerat dissoziiert. Diese beiden  $\text{C}_3$ -Körper, einmal mit und einmal ohne  $^{14}\text{C}$ -Markierung, reagieren im weiteren Verlauf des Calvin-Zyklus chemisch identisch zu PGA. Von 12 PGA-Molekülen werden 2 zur Glucosesynthese benötigt, die restlichen 10 dienen der Regeneration von 6  $\text{C}_5$ -Akzeptormolekülen. Folglich werden die  $^{14}\text{C}$ -Isotope final sowohl in den gebildeten Glucosemolekülen, als auch in den regenerierten Ribulose-1,5-bisphosphat-Molekülen respektive allen weiteren C-Körpern des Calvin-Zyklus nachweisbar sein.

## Calvin-Zyklus im C-Körper-Schema

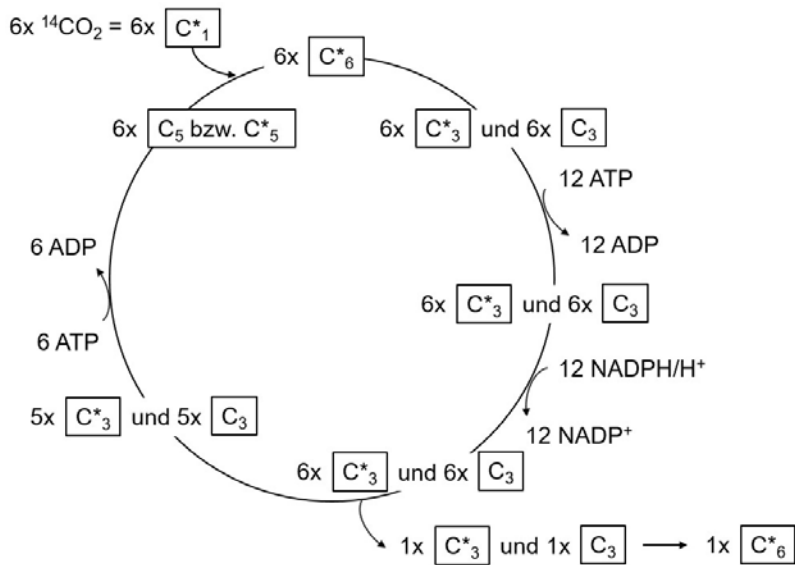


Abb. B: Grafik © A. Wöhl / CC BY-NC-SA 4.0

## 2.2

### Beispiele für Gemeinsamkeiten

- Verwendung von ATP als Energielieferant
- Verwendung von NADPH/H<sup>+</sup> als Reduktionsmittel
- Fixierung von CO<sub>2</sub>

### Beispiele für Unterschiede

- Verschiedene Akzeptormoleküle und folglich verschiedene C-Körper-Infrastruktur
- Bildung verschiedener Zielmoleküle: Glucose bzw. organische Säuren (Glyoxylat, Pyruvat, Malat)
- Nur im CETCH-Zyklus Beteiligung von elementarem Sauerstoff als Protonen- und Elektronenakzeptor

## Lösung 3

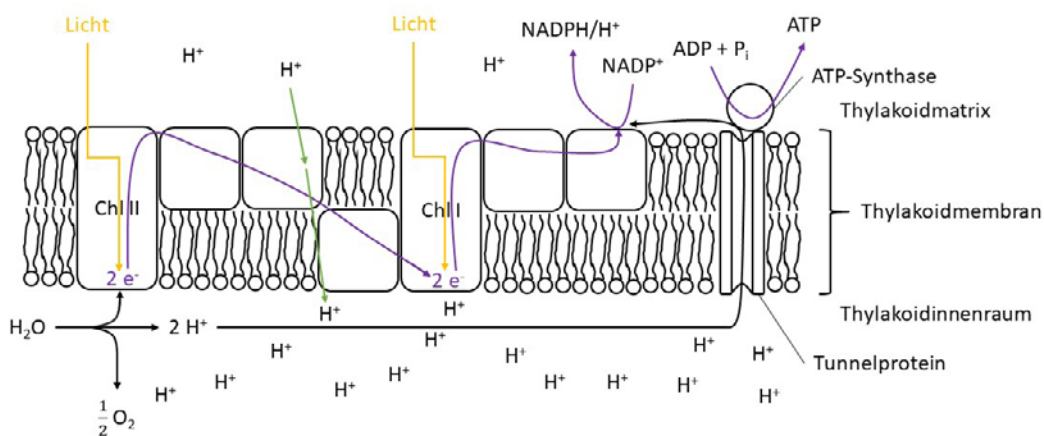


Abb. C: Chemiosmotisches Modell der Lichtreaktionen © A. Wöhl / CC BY-NC-SA 4.0

## Lösung 4

### Beispiel pro Optimierung des CETCH-Zyklus

Durch den CETCH-Zyklus kann sehr viel effizienter als in natürlichen Systemen  $\text{CO}_2$  fixiert werden. Weil dies als Mittel gegen den Klimawandel eingesetzt werden kann und somit Leid verringert wird, sollte die Optimierung des CETCH-Zyklus vorangetrieben werden.

### Beispiel contra Optimierung des CETCH-Zyklus

Die im Labor künstlich hergestellten Enzyme und auch das unnatürliche Zusammenspiel von Enzymen aus verschiedenen Lebewesen sind bisher noch nicht ausreichend erforscht, so dass auch potenzielle Risiken nicht vollumfänglich abzusehen sind. Weil der CETCH-Zyklus womöglich dem Umweltschutz abträglich sein könnte, sollte jegliche Forschung daran eingestellt werden.

Vorstellung und Vergleich: individuelle Lösungen

---

Abbildungshinweise

Abb. A: Diagramm © A. Wöhl / [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Abb. B: Grafik © A. Wöhl / [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Abb. C: Chemiosmotisches Modell der Lichtreaktionen © A. Wöhl / [CC BY-NC-SA 4.0](#)

Der Text wird unter [CC BY-NC-SA 4.0](#) veröffentlicht.

Stand: 05/2022; Text: A. Wöhl; Layout und Redaktion: max-wissen-Team