

## Photosynthese

### 1979/III/3

- 3.1. Erläutern Sie experimentelle Befunde, die auf die Existenz lichtabhängiger und lichtunabhängiger Reaktionen bei der Photosynthese hinweisen.
- 3.2. Formulieren Sie mit Hilfe von Strukturformeln den Reaktionsweg des Kohlenstoffdioxids bei der Dunkelreaktion von seinem Einbau in das Akzeptormolekül bis zu einem Produkt, das auch in der Glycolyse vorkommt.  
Gehen Sie dabei auch auf die Energie- und Reduktionsäquivalente ein.

### 1980/IV/4

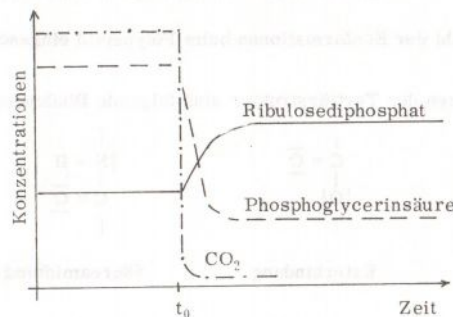
- 4.1.1 Was versteht man unter einem chemoautotrophen Lebewesen? 3 BE
- 4.1.2 Formulieren Sie die Gleichungen von drei verschiedenen Beispielen für die Energiegewinnung bei autotrophen Lebewesen. 3 BE
- 4.2.1 Bei der Photosynthese grüner Pflanzen wird im Experiment mit  $^{18}\text{O}$ -markiertem Wasser gearbeitet. Formulieren Sie die exakte Summgleichung der Photosynthese. 2 BE
- 4.2.2 Schwefel-Purpurbakterien verwenden bei der Photosynthese nicht Wasser sondern Schwefelwasserstoff.  
Formulieren Sie die exakte Summgleichung dieser Bakterienphotosynthese. 4 BE
- 4.2.3 Welche grundsätzliche Aussage zur Photosynthese wird durch den Einsatz des isotonenmarkierten Wassers (Aufgabe 4.2.1) und den Schwefelwasserstoff der Bakterienphotosynthese (Aufgabe 4.2.2) ermöglicht? 3 BE

### 1982/III/5

Die Bedingungen für die Photosynthese einer Grünalge werden in einem Versuch zunächst konstant gehalten.

Dann wird die Konzentration des Kohlenstoffdioxids schnell sehr stark gesenkt; alle anderen Bedingungen bleiben konstant.

Das Versuchsergebnis ist im folgenden Diagramm stark vereinfacht wiedergegeben



Interpretieren Sie den Verlauf der Kurven nach dem Zeitpunkt  $t_0$  !

Was lässt sich aus diesem Ergebnis über den Verlauf der Dunkelreaktion ableiten? 10BE

### 1983/III/4

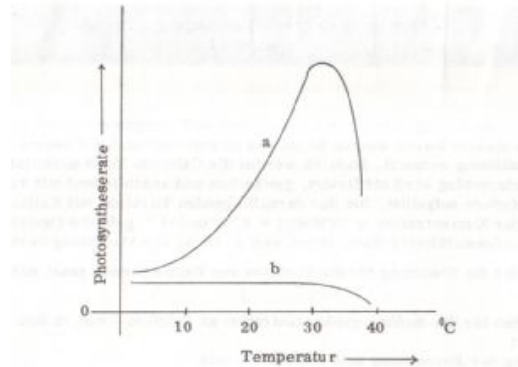
4. Die Kenntnisse, die wir vom Weg des Kohlenstoffdioxids bis zur Hexose bei der Photosynthese haben, beruhen größtenteils auf Experimenten mit  $^{14}\text{CO}_2$ .
  - 4.1. Erläutern Sie durch die entsprechende Strukturformelgleichung die Beobachtung, dass nur die Hälfte der Menge des ersten fassbaren Zwischenproduktes der Dunkelreaktion (eine Carbonsäure) radioaktiv markiert ist!  
Kennzeichnen Sie das radioaktive Kohlenstoffatom in diesem Produkt! 3BE
  - 4.2. Unter Verbrauch der organischen Endprodukte der Lichtreaktion entsteht aus dem ersten fassbaren Zwischenprodukt der Dunkelreaktion ein Kohlenhydrat mit drei Kohlenstoffatomen.  
Stellen Sie diesen Schritt in einer Strukturformelgleichung dar! 3BE
  - 4.3. Das entstandene Kohlenhydrat ist optisch aktiv und wird enzymatisch z.T. in ein optisch inaktives, mit ihm im Gleichgewicht stehendes Kohlenhydrat gleicher Molekülmasse übergeführt.  
Stellen Sie diesen Schritt in einer Strukturformelgleichung dar! 1BE

- 4.4 Die weiteren Schritte bis zur Glucose verlaufen in Umkehrung der Glykolyse, jedoch wird anorganisches Phosphat gebildet. Stellen Sie die Strukturformelgleichungen der aufeinanderfolgenden Schritte auf!

**1984/I/4**

Belichtet man Grünalgenkulturen bei verschiedenen Temperaturen

- a) mit hoher Lichtintensität (Starklicht) und
  - b) mit niedriger Lichtintensität (Schwachlicht),
- so erhält man ein Ergebnis, das die folgende Graphik darstellt:



- 4.1 Beschreiben Sie die aus der Graphik ersichtlichen Versuchsergebnisse! 3BE
- 4.2 Erläutern Sie, welche grundsätzlichen Schlüsse dieses Experiment auf den Ablauf der Photosynthese erlaubt! 9BE

**1984/IV/1**

- 1. Zur Photosynthese werden in getrennten Versuchen als Ausgangsstoffe einmal  $C^{18}O_2$  und  $H_2O$  zum anderen  $CO_2$  und  $H_2^{18}O$  verwendet.
- 1.1 Geben Sie an, in welchen Produkten jeweils der markierte Sauerstoff auftritt! Formulieren Sie mit den markierten Verbindungen Summgleichungen der Photosynthese für beide Versuche! 5BE
- 1.2 Nennen Sie die Folgerung, die sich aus diesen Befunden für die Aufklärung der Photosynthese ergibt! 2BE

**1986/IV/3**

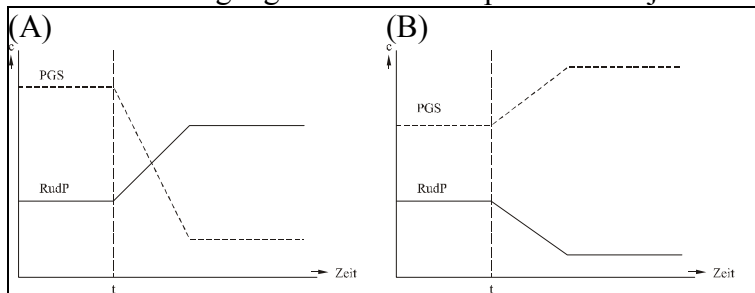
- 3 Die Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft stellt im allgemeinen den begrenzenden Faktor für die Photosynthese der Pflanzen dar. Bis etwa zum Jahr 1930 wurde die Freisetzung des Sauerstoffs bei der Photosynthese als photolytische Spaltung des Kohlenstoffdioxids gedeutet.
- 3.1 Erläutern Sie, wie man das Problem der Herkunft des Sauerstoffs bei der Photosynthese klären konnte, und erstellen Sie nach heutigen Erkenntnissen die Summgleichung der Photosynthese! 3
- 3.2 Welche Substanzen entstehen als Primärprodukte der Lichtreaktionen der Photosynthese? (Keine Formeln!) Erläutern Sie anhand eines einfachen Übersichtsschemas die Vorgänge während der Lichtreaktionen der Photosynthese, und gehen Sie dabei auf die Aufgabe des Chlorophylls ein! 8

**1987/IV/1**

- 1 Die Photosynthese umfaßt Lichtreaktionen und Dunkelreaktionen.
- 1.1 Leiten Sie aus den Ergebnissen eines Experimentes ab, daß die Photosynthese aus diesen beiden Abschnitten besteht! Ein sauberes, beschriftetes Diagramm ist mitzuverwenden! 6
- 1.2 Beschreiben Sie in Grundzügen, wie die Tracer Methode zur Aufklärung der Dunkelreaktionen beitrug! 5
- 1.3 Fassen Sie die Dunkelreaktionen der Photosynthese in einer Gleichung zusammen! 4

**1990/II/3**

- 3 Die folgenden Graphiken (A) und (B) stellen die Ergebnisse zweier Experimente mit Grünalgen dar, die zur Aufklärung der Dunkelreaktionen der Photosynthese durchgeführt wurden. Die Versuchsergebnisse sind stark vereinfacht wiedergegeben. In den beiden Algensuspensionen läuft die Photosynthese zunächst unter konstanten Versuchsbedingungen ab. Zum Zeitpunkt t wird jeweils eine Versuchsbedingung geändert.



- 3.1 Geben Sie die Versuchsbedingung an, die bei (A) bzw. (B) geändert wurde! Interpretieren Sie den Verlauf der Kurven von 3-Phosphoglycerinsäure (PGS) und von Ribulose 1,5-diphosphat (RuBP) jeweils nach dem Zeitpunkt t! Erläutern Sie, was aus diesen Ergebnissen über den Ablauf der Dunkelreaktionen abgeleitet werden kann! 10

### 1991/IV/3

- 3.1 Erläutern Sie anhand eines Beispiels, was man unter Chemoautotrophie versteht! 3  
 3.2 Schwefel-Purpurbakterien spalten bei ihrer Photosynthese nicht Wasser, sondern Schwefelwasserstoff. Formulieren Sie die Summgleichung dieser Bakterienphotosynthese! 3  
 3.3 Bei der Photosynthese der grünen Pflanzen wird Sauerstoff abgeschieden. Erläutern Sie, wie man die Herkunft dieses Sauerstoffs aufklären konnte, und erstellen Sie eine dieses Ergebnis berücksichtigende Summgleichung der Photosynthese! 3

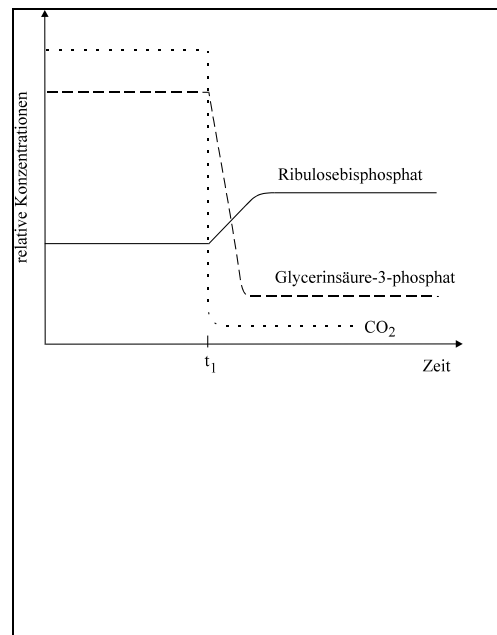
### 1992/III/3

- 3 Cellulose ist ein wichtiger Gerüststoff der Pflanzen, der aus dem Photosyntheseprodukt Glucose aufgebaut wird.  
 3.1 Formulieren Sie mit Strukturformeln die Hauptschritte der Glucosesynthese in den Dunkelreaktionen der Photosynthese, beginnend beim Einbau des Kohlenstoffdioxid Moleküls in das Akzeptormolekül! Die beteiligten Coenzyme sind in der üblichen Kurzschreibweise anzugeben. 8  
 3.2 Die Tracer-Methode mit C<sup>14</sup> gibt Hinweise über den Verlauf der ersten Schritte der Dunkelreaktionen. Erläutern Sie diese Aussage! 4

### 1995/III/2

- 3 Zur Aufklärung der lichtunabhängigen Photosynthese-Reaktionen waren zahlreiche Meßergebnisse nötig, wobei Grünalgen als ideale Versuchsobjekte dienten. Ein derartiges Ergebnis ist im folgenden Diagramm stark vereinfacht wiedergegeben: Die Bedingungen für die Photosynthese einer Grünalge wurden zunächst konstant gehalten. Dann wurde die Konzentration des Kohlenstoffdioxids schnell sehr stark gesenkt; alle anderen Bedingungen blieben konstant.

Interpretieren Sie den Verlauf der Kurven nach dem Zeitpunkt  $t_1$ , und legen Sie dar, was sich aus dem Versuchsergebnis über den Verlauf der Dunkelreaktionen ableiten ließ!



10

### 1996/IV/2

- 2 Chromatographische Analyseverfahren haben die Identifizierung der Blattfarbstoffe wesentlich erleichtert.
- 2.1 Erläutern Sie die Bedeutung der verschiedenen Photopigmente für die Photosynthese! 3
- 2.2 Skizzieren Sie ein Übersichtsschema zu den Lichtreaktionen der Photosynthese! 7
- 2.3 Zu den Außenfaktoren, die für die Photosyntheseaktivität der grünen Pflanzen eine wichtige Rolle spielen, zählen die Kohlenstoffdioxidkonzentration und die Beleuchtungsstärke. Stellen Sie den Einfluß beider Faktoren auf die Photosyntheseaktivität unter Mitverwendung von Diagrammen dar! 4

### 1997/III/3

- 3 Melvin Calvin erhielt 1961 den Nobelpreis für seine TracerExperimente, die zur Aufdeckung der Dunkelreaktionen der Photosynthese beitrugen.
- 3.1 Beschreiben Sie unter Mitverwendung von Strukturformeln die Hauptschritte der Dunkelreaktionen, beginnend beim Einbau des Kohlenstoffdioxidmoleküls in das Akzeptormolekül und endend auf der Stufe der Triose! Die beteiligten Coenzyme sind in der üblichen Kurzschreibweise anzugeben. 7
- 3.2 Legen Sie dar, warum die TracerMethode mit dem Kohlenstoffisotop  $\text{C}^{14}$  Hinweise über den Verlauf der ersten Schritte der Dunkelreaktionen gibt! 3

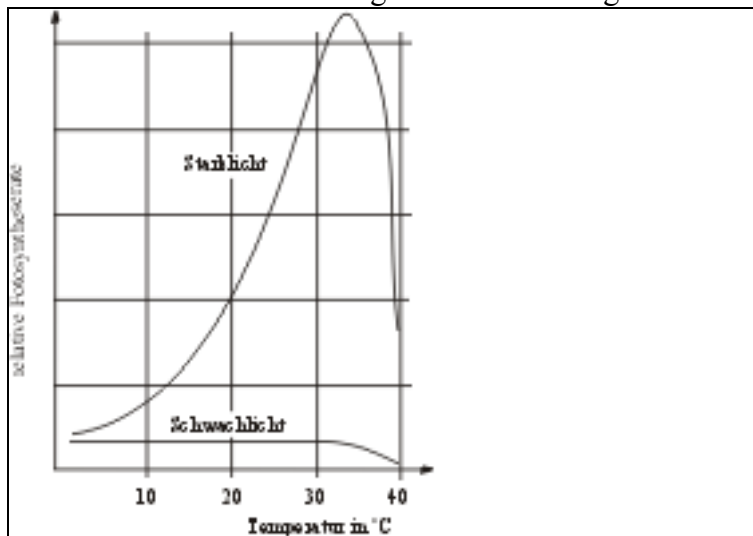
### 1998/II/4

- 4 In den Lichtreaktionen der Fotosynthese kommt es zur Freisetzung molekularen Sauerstoffs, dessen Herkunft mit der Tracermethode aufgeklärt wurde.
- 4.1 Stellen Sie die Summgleichung der Fotosynthese auf, die die Herkunft des Sauerstoffs berücksichtigt! 2
- 4.2 Die außer Sauerstoff in den Lichtreaktionen gebildeten Produkte ermöglichen die Dunkelreaktionen der Fotosynthese. Erläutern Sie unter Mitverwendung von Strukturformelgleichungen die Reaktionsschritte, in denen diese Produkte verbraucht werden! Für Coenzyme ist die übliche Kurzschreibweise zu verwenden. 7

### 1999/II/3

- 3.1 Eine grüne Pflanze befindet sich in einem abgeschlossenen Luftvolumen und wird dem Sonnenlicht ausgesetzt. Bei einer bestimmten Beleuchtungsstärke ändert sich die Kohlenstoffdioxidkonzentration auch nach längerer Belichtung nicht. Dagegen nimmt die Konzentration des Kohlenstoffdioxids bei Erhöhung der Beleuchtungsstärke ab und bei deren Verringerung zu. Erklären Sie diese drei Beobachtungen! 3
- 3.2 Belichtet man Grünalgenkulturen mit Sonnenlicht bei verschiedenen Temperaturen

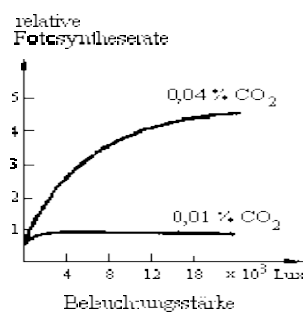
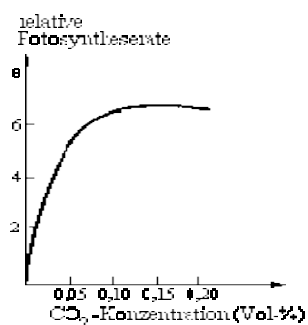
- a) mit hoher Beleuchtungsstärke (Starklicht) und  
 b) mit niedriger Beleuchtungsstärke (Schwachlicht),  
 so erhält man die in der folgenden Grafik dargestellten Versuchsergebnisse:



- 3.2.1 Beschreiben Sie die aus der Grafik ableitbaren Versuchsergebnisse! 3  
 3.2.2 Erläutern Sie, welche grundsätzlichen Schlüsse dieses Experiment auf den Ablauf der Fotosynthese erlaubt! 7  
 3.3 Bestrahlt man die Algenkultur nacheinander mit Licht der Wellenlängen  $\lambda < 680 \text{ nm}$  bzw.  $\lambda > 680 \text{ nm}$ , so erhält man jeweils eine bestimmte Fotosyntheserate. Lässt man Licht beider Wellenlängen gleichzeitig auf die Algen einwirken, ergibt sich eine Fotosyntheserate, welche die addierten Einzelwerte deutlich übertrifft. Geben Sie eine Deutung dieses Befundes! 4

### 2001/IV/3

- 3 Die moderne Erforschung der Lichtreaktionen in der Fotosynthese begann mit der Entdeckung R. L. Hills an der Universität von Cambridge:  
 Er beobachtete in wässrigen, kohlenstoffdioxidfreien Chloroplastensuspensionen eine lichtinduzierte Sauerstoffentwicklung. In Gegenwart künstlicher Elektronenakzeptoren, z.B. Eisen(III)-Ionen, führte die Beleuchtung derartiger Präparate zu einer Freisetzung von Sauerstoff unter gleichzeitiger Reduktion des zugesetzten Oxidationsmittels.
- 3.1 Formulieren Sie die Gleichung für den bei der Hill-Reaktion in den belichteten Chloroplasten ablaufenden Vorgang!  
 Erläutern Sie, was aus der Hill-Reaktion für den Gesamtvorgang der Fotosynthese gefolgert werden kann! 5
- 3.2 Beschreiben Sie eine Versuchsmethode, mit der die Herkunft des Sauerstoffs bei der Fotosynthese schlüssig bewiesen wird! 3
- 3.3 Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Abhängigkeit der relativen Fotosyntheserate einer Pflanze vom Kohlenstoffdioxidgehalt des Gasraums bzw. von der Beleuchtungsstärke bei zwei verschiedenen Kohlenstoffdioxidkonzentrationen.



Interpretieren Sie die Kurven und erstellen Sie ein Diagramm, in dem zwei Kurven die Abhängigkeit der Fotosyntheserate von der Kohlenstoffdioxidkonzentration a) bei niedriger und b) bei hoher Beleuchtungsstärke zeigen! 4

**2003/II/3**

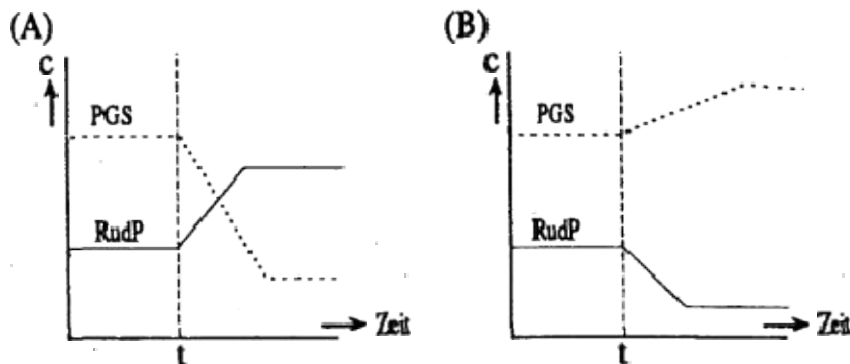
3 Der englische Botaniker Blackmann untersuchte zu Beginn des 20. Jahrhunderts den Einfluss der Temperatur auf die Photosyntheserate grüner Pflanzen bei unterschiedlicher Beleuchtungsstärke.

3.1 Stellen Sie diesen Zusammenhang graphisch dar! 4

3.2 Erläutern Sie, welche grundsätzlichen Schlüsse dieses Experiment bezüglich des Ablaufs der Photosynthese erlaubt! 7

**2004/II/2**

2 In zwei Experimenten werden Algensuspensionen ausreichend mit Kohlenstoffdioxid versorgt und belichtet. Die Konzentrationen von Glycerinsäure-3-phosphat (PGS) und Ribulose-1,5-diphosphat (RudP) werden dabei kontinuierlich gemessen. Zum Zeitpunkt t wird jeweils eine der Versuchsbedingungen geändert.



2.1 Erläutern Sie den Zusammenhang der geänderten Versuchsbedingungen mit den Kurvenverläufen! 10

2.2 Stellen Sie mit Strukturformeln die Umwandlung von Glycerinsäure-3-phosphat zu einem Triosephosphat dar! Für die Coenzyme ist die übliche Kurzschreibweise zu verwenden. 3

**2006/III/2.1**

2 Assimilation und Dissimilation sind gegenläufige Stoffwechselprozesse.

2.1 Eine Algensuspension wird zunächst unter idealen Bedingungen kultiviert und der Versuchsansatz anschließend schlagartig verdunkelt. Fertigen Sie ein beschriftetes Diagramm an, aus dem der Verlauf der Glycerinsäure-3-phosphat-Konzentration in den Chloroplasten vor und nach dem Übergang vom Hellen ins Dunkle hervorgeht und erläutern Sie die dargestellten Veränderungen! 8 BE

2.2 Die in der Photosynthese aufgebaute Glucose kann im Stoffwechsel auf unterschiedlichen Wegen zur Energiefreisetzung herangezogen werden.

Für die Oxidation von Glucose zu Wasser und Kohlenstoffdioxid (Reaktion 1) und für die Umwandlung von Glucose zu Ethanol und Kohlenstoffdioxid (Reaktion 2) gelten bei Standardbedingungen ( $T = 298 \text{ K}$ ) folgende thermodynamische Daten:

	$\Delta H^\circ$	$\Delta S^\circ$
Reaktion 1	$- 2817 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$+ 0,185 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
Reaktion 2	$- 82 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$+ 0,461 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

Laufen die Reaktionen 1 und 2 in lebenden Organismen ab, so wird ein Teil der Freien Enthalpie in Form von ATP gebunden.

Formulieren Sie für jede der beiden Reaktionen die Gesamtgleichung unter Einbezug der ATP-Bilanz! Für Coenzyme ist die übliche Kurzschreibweise zu verwenden.

Berechnen Sie für beide Reaktionen die Änderung der Freien Standardenthalpie  $\Delta G^\circ$ , vergleichen Sie die Werte und beurteilen Sie auf dieser Grundlage die Effizienz der beiden Abbauege der Glucose! 7BE

2008/C2

2. Algen zeigen wie alle anderen grünen Pflanzen das Phänomen der Lichtatmung. Hierbei wird der  $\text{CO}_2$ -Akzeptor der Dunkelreaktion Ribulose-1,5-bisphosphat in einer Reaktion mit Sauerstoff in Glycerinsäure-3-phosphat und Glykolsäure-2-phosphat gespalten. Letzteres geht nach Abspaltung einer Phosphatgruppe in Glykolsäure (2-Hydroxyethansäure) über, deren funktionelle Gruppe am C-Atom in einem dritten Schritt durch Sauerstoff oxidiert wird. Neben Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) entsteht hierbei die Monocarbonsäure Glyoxylsäure.

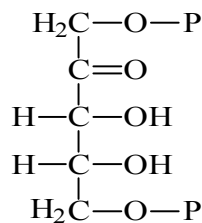


Abb. 2: Strukturformel von Ribulose-1,5-bisphosphat

- 2.1. Formulieren Sie ein Ablaufschema der Lichtatmung unter Mitverwendung von Strukturformeln! 5 BE
- 2.2. Erläutern Sie den Einfluss der Lichtatmung auf die Photosyntheserate der Algenzellen! 3 BE
- 2.3 Mit Hilfe einer Suspension einzelliger Grünalgen soll der Ablauf der Photosynthese näher untersucht werden.
- A In einem ersten Experiment werden die Zellen mit isotonenmarkiertem Kohlenstoffdioxid ( $\text{C}^{18}\text{O}_2$ ) versetzt und belichtet.
- B In einem zweiten Experiment werden die Zellen mit isotonenmarkiertem Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) versetzt und belichtet.
- C In einer Versuchsreihe soll die Abhängigkeit der Photosyntheserate der Zellen von der Temperatur untersucht werden. Hierzu dient die folgende Tabelle als Versuchsanleitung:

Versuch Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Temperatur	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
Versuchsdauer und -bedingungen	jeweils 10 Minuten; Belichtung unter konstanten Bedingungen						
Glucosezunahme	wird jeweils ermittelt						

- 2.3.1 Erläutern Sie die Zielsetzung der Experimente A und B und formulieren Sie je eine Reaktionsgleichung der Photosynthese, aus der das Ergebnis des jeweiligen Experiments hervorgeht? 5 BE

2.3.2 Stellen Sie das zu erwartende Ergebnis der Versuchsreihe C grafisch dar und erläutern Sie den Kurvenverlauf! 5 BE

### 2010 C2

Das Leben auf der Erde hängt entscheidend von der Biomasseproduktion grüner Pflanzen ab. Im 20. Jahrhundert wurden zahlreiche Experimente zur Aufklärung der Photosynthese durchgeführt.

- 1 Robert Emerson veröffentlichte 1929 die Resultate einer Untersuchung an Blättern zum Ablauf der Photosynthese. Die folgende Abbildung zeigt die Ergebnisse zweier Messreihen, in denen die Abhängigkeit der Photosyntheserate von der Temperatur bei unterschiedlichem Chlorophyllgehalt bestimmt wurde. Alle übrigen Versuchsparameter waren optimal und wurden während der Experimente konstant gehalten.

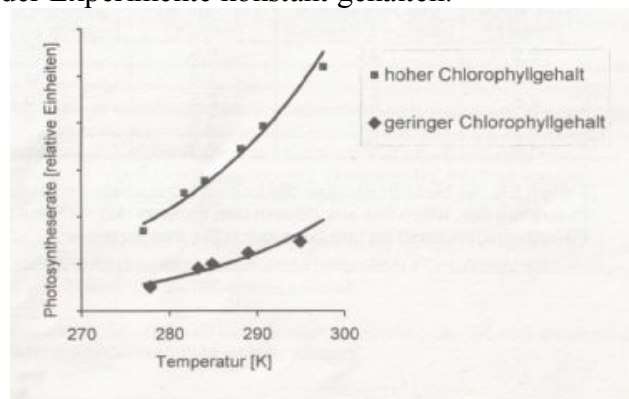


Abb. 1: Abhängigkeit der Photosyntheserate von der absoluten Temperatur bei hohem und geringem Chlorophyll-Gehalt

Vergleichen Sie den Verlauf beider Messkurven und erläutern Sie Ihre Aussagen im Hinblick auf den grundsätzlichen Ablauf der Photosynthese!

2. Bei der Aufklärung des Calvinzyklus leistete die  $^{14}\text{C}$ -Tracer-Methode wertvolle Hilfe. Als Versuchsobjekte dienten einzellige Grünalgen der Gattung *Chlorella*. Die Zellen wurden in drei Versuchsansätzen mit  $^{14}\text{C}\text{O}_2$  kultiviert und nach 0,2 s, 0,5 s bzw. 60 s abgetötet. Anschließend wurden Zellextrakte hergestellt und deren Inhaltsstoffe durch zweidimensionale Chromatographie getrennt. Die jeweiligen Chromatogramme wurden auf Röntgenfilme gelegt. In Abbildung 2 sind die drei entwickelten Röntgenfilme dargestellt:



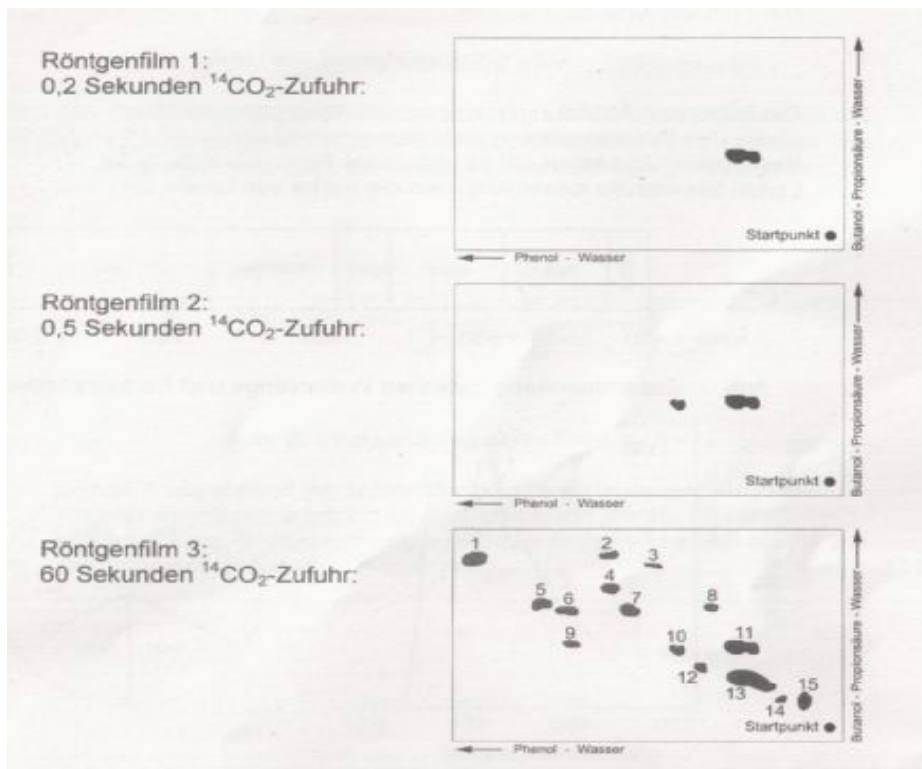


Abb. 2: Bilder der Röntgenfilme nach zweidimensionaler Papierchromatographie von radioaktiv markierten Extrakten der Grünalge *Chlorella 2*

Ordnen Sie den Substanzflecken Nr. 10 und 11 Substanzen des Calvinzyklus zu, begründen Sie Ihre Aussage und erklären Sie, weshalb die Zahl der Substanzflecken in Chromatogramm/Röntgenfilm 3 größer ist als in Chromatogramm/Röntgenfilm 2! [8 BE]

2010 C2

3.2 Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines Chloroplasten:

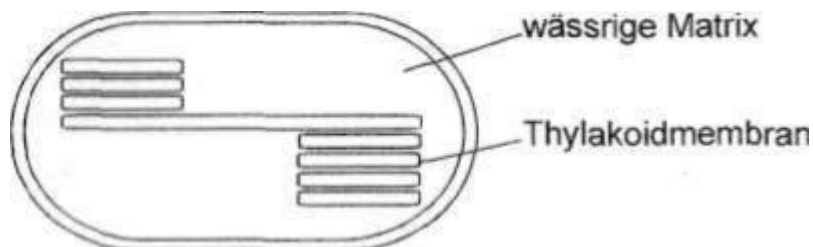


Abb. 7: Schematischer Aufbau eines Chloroplasten

Wie alle Biomembranen besteht das Grundgerüst dieser Thylakoidmembranen aus einer Doppelschicht verschiedener Phospholipide. Die folgende Abbildung zeigt die Struktur eines solchen Phospholipids:

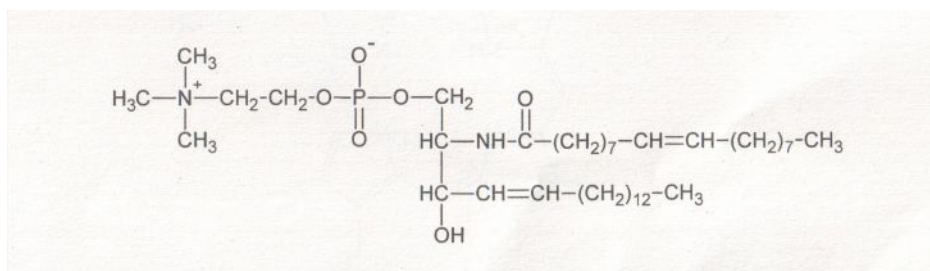


Abb. 8: Strukturformel eines Phospholipids

Erläutern Sie anhand der Molekülstruktur, wie Phospholipide in der Thylakoid-membran angeordnet sind, und leiten Sie ab, ob Lutein ein Bestandteil der Thylakoidmembran ist oder in der wässrigen Matrix des Chloroplasten gelöst ist! [7BE]

Abbildungen:

- 1 verändert nach: R. Emerson: *Chlorophyll Content and Rate of Photosynthesis*. Proc. N. A., 1929, S. 15
- 2 verändert nach: G. Richter: *Stoffwechselphysiologie der Pflanzen*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1998, 6. Auflage, S. 161