

Lehrerinformation zum Stoffkreislauf: O₂/CO₂-Kreislauf - Fotosynthese und Atmung/CO₂

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Versuche zur Fotosynthese	4
<i>Versuch 1.1</i>	<i>Sauerstoffbildung und –nachweis mit der Glimmspanprobe</i>	<i>4</i>
<i>Versuch 1.2</i>	<i>Sauerstoffbildung durch Wasserpest und Nachweis mit der Glimmspanprobe</i>	<i>4</i>
<i>Versuch 2.1</i>	<i>Sauerstoffbildung und –nachweis mit Indigocarmin</i>	<i>5</i>
<i>Versuch 2.2</i>	<i>Sauerstoffbildung durch Wasserpest und Nachweis mit Indigocarmin</i>	<i>7</i>
<i>Versuch 3.1</i>	<i>Stärkenachweis in grünen Blättern</i>	<i>7</i>
<i>Versuch 3.2.1</i>	<i>Zuckernachweis mit Fehlings Reagenz</i>	<i>8</i>
<i>Versuch 3.2.2</i>	<i>Zuckernachweis mit Fehlings Reagenz in grünen Blättern</i>	<i>8</i>
<i>Versuch 3.3</i>	<i>Abbau von Stärke durch Speichel und Zuckernachweis mit Fehlings Reagenz</i>	<i>9</i>
3	Versuche zu Atmung und CO₂	9
<i>Versuch 1</i>	<i>Kohlenstoffdioxid-Nachweis</i>	<i>9</i>
<i>Versuch 2.1</i>	<i>Kohlenstoffdioxid in der Atemluft</i>	<i>10</i>
<i>Versuch 2.2</i>	<i>Kohlenstoffdioxid als Produkt der Verbrennung</i>	<i>10</i>
<i>Versuch 2.3</i>	<i>Kohlenstoffdioxid in Autoabgasen</i>	<i>11</i>
<i>Versuch 3</i>	<i>Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Muscheln oder Kalksteinen</i>	<i>12</i>
<i>Versuch 4</i>	<i>Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas</i>	<i>12</i>
4	Schlussbemerkung zum O₂/CO₂-Kreislauf	13
5	Quellenverzeichnis	14

1 Einleitung

Pflanzen und photosynthesefähige Bakterien nehmen Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Atmosphäre auf und wandeln dieses durch Fotosynthese (s. Abb 1; grüne Pfeile) unter Einwirkung von Licht und Aufnahme von Wasser in Glucose und Folgeprodukte, z.B. Stärke um. Dieser Prozess setzt gleichzeitig Sauerstoff (O₂) frei. Die entstehenden Kohlenhydrate dienen als Energieträger und Baustoff für alle anderen biochemischen Substanzen wie Polysaccharide, Nukleinsäuren und Proteine. Kohlenstoffdioxid stellt damit den Rohstoff für die Bildung aller Biomasse in der Primärproduktion der Ökosysteme.

Der Abbau von Biomasse durch Atmung (s. Abb. 1; rote Pfeile) ist, in Umkehrung zum Prozess der Fotosynthese, mit der Bildung von CO₂ und H₂O und dem Verbrauch des vorher freigesetzten Sauerstoffs verbunden.

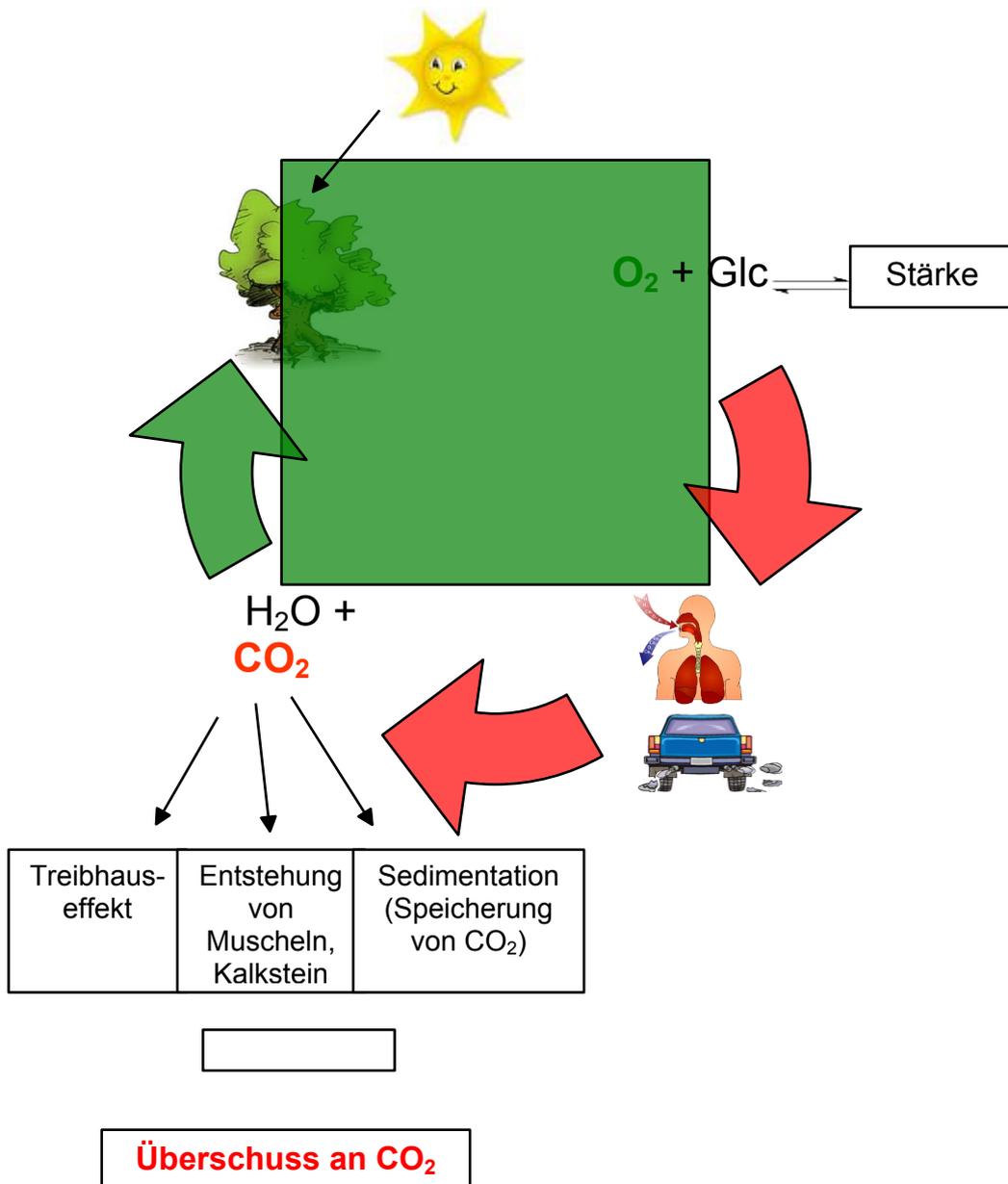


Abb. 1: CO₂ / O₂-Kreislauf: Übersicht der Fotosynthese (grüne Pfeile) und der Atmung (rote Pfeile)

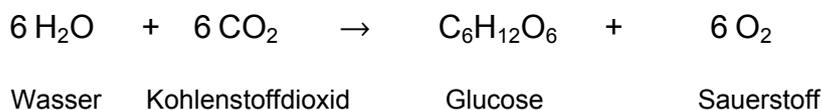
Die Versuchsreihe zum Thema "Stoffkreislauf beinhaltet Experimente zur Fotosynthese sowie zu Atmung und Verbrennung. Ihre Verknüpfung veranschaulicht das Zusammenspiel des O₂- und des CO₂-Kreislaufes. Darüber hinaus wird das Prinzip der Fixierung bzw. Depotbildung thematisiert (Carbonate, Stärke), um unterschiedliche Geschwindigkeiten von Teilschritten des Kreislaufs abzapfen zu können. Darüber hinaus soll deutlich werden, dass der Kreislauf kein Nullsummenspiel ist, dass zum einen immerfort die Energie der Sonne eingespeist wird, die in verschiedene andere Energieformen (Wärme, Bewegung, elektrische Energie (Reizleitung), chemische, d.h. in Syntheseprodukten gespeicherte Energie) umgewandelt, aber nicht „zurückgewonnen“, d.h. nicht erneut für Fotosynthese verwendet werden kann, sondern in Wechselwirkung mit anderen Kreisläufen steht, wobei „Abwärme“ nicht wieder nutzbar ist. Es liegt in der Hand der Lehrkräfte, diese Aspekte in Vor- oder Nachbereitung von Laborbesuchen aufzugreifen. Im Labor liegt der Schwerpunkt im experimentellen Bereich und kann nur die Grundlage für die Diskussion dieser Themen im Unterricht legen bzw. diese in den kurzen Besprechungsphasen problematisieren.

Daher soll diese *Information für Lehrkräfte* das Konzept hinter den Versuchen näher erörtern.

Mit Hilfe dieser Versuchsreihe soll den SchülerInnen der Kohlenstoffkreislauf (**Glucose + O₂ / CO₂ + H₂O**) veranschaulicht werden. Sie sollen dafür sensibilisiert werden, warum die Fotosynthese als Grundlage des Lebens angesehen werden kann und welche Prinzipien von Stoffkreisläufen man hier entdecken kann.

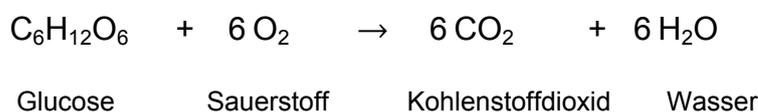
Fotosynthese (griechisch: *phōs* = Licht; *synthesis* = Zusammensetzung) bezeichnet die Erzeugung von energiereichen Stoffen aus energieärmeren Stoffen mit Hilfe von Lichtenergie [1]. So genannte autotrophe (selbstnährende) Organismen (insbesondere grüne Pflanzen) vermögen, Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufzunehmen und dieses direkt unter Einfluss von Lichtenergie in die komplexeren organischen Moleküle (Glucose) umzuwandeln. Die Glucose kann dann u.a. in den pflanzlichen Speicherstoff Stärke umgewandelt werden. Gleichzeitig entsteht im Zuge dieses Stoffwechselprozesses der für viele Lebewesen essentielle Sauerstoff.

Grundgleichung der Fotosynthese (Assimilation) [1]:



Über die Nahrungskette der heterotrophen Lebewesen (Konsumenten und Destruenten) gelangt der gebundene Kohlenstoff dann wieder als Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre, während der Sauerstoff für die abbauenden (oxidativen) Stoffwechselprozesse verbraucht wird (Atmung).

Grundgleichung der Atmung (Dissimilation) [2]:



Analoges gilt für die chemische Verbrennung von organischem Material.

Die nachfolgenden Versuche zeigen den SchülerInnen, welche Produkte bei der Fotosynthese (Sauerstoff und Glucose, Folgeprodukt Stärke (Depot)) und bei der Atmung (Kohlenstoffdioxid) entstehen und welche Faktoren die Fotosynthese beeinflussen (Licht, CO₂-Gehalt).

Die Versuche zum Sauerstoff-/Kohlendioxidkreislauf sind aus zwei Teilen konzipiert. Im ersten Schritt werden einfache Versuche durchgeführt, die dazu dienen, die beiden Gase durch ihre Darstellung und ihren Nachweis kennen zu lernen. Im zweiten Schritt dienen weiterführende Versuche mit lebenden Organismen (Pflanze, Mensch) dazu, den Bezug zum Naturhaushalt herzustellen. Dabei werden Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidkreislauf miteinander verknüpft. Des Weiteren werden Speicherungsmöglichkeiten und Bedeutung für die Umwelt thematisiert.

2 Versuche zur Fotosynthese

Versuch 1.1 Sauerstoffbildung und -nachweis mit der Glimmspanprobe

Die SchülerInnen sollen einen Nachweis von Sauerstoff kennenlernen. Der Sauerstoff muss zunächst hergestellt werden. Hierzu wird Wasserstoffperoxid (H₂O₂) mit Braunstein (MnO₂) versetzt [3]. Durch die katalytische Eigenschaft des Braunsteins zersetzt sich Wasserstoffperoxid (H₂O₂) unter Aufschäumen in Sauerstoff und Wasser.



Sauerstoff unterhält die Verbrennung. Mittels der Glimmspanprobe kann der freiwerdende molekulare Sauerstoff anhand dieser Wirkung nachgewiesen werden. Reiner Sauerstoff kann den glimmenden Holzspan wieder entzünden. Er führt zu einer weiß leuchtenden Flamme. In der Luft befindet sich zu wenig Sauerstoff, um den glimmenden Holzspan wieder zu entzünden. Auch, wenn der Sauerstoff nicht rein, sondern in Mischung mit Luft vorliegt, kann er anhand seiner im Vergleich zu Atemluft stärkeren Wirkung (O₂-Gehalt ca. 21 Vol%) erkannt werden. Die Flamme ist dann nicht weiß leuchtend, sondern nur schwach leuchtend.

Versuch 1.2 Sauerstoffbildung durch Wasserpest und Nachweis mit der Glimmspanprobe

In diesem Versuch soll mit Hilfe des Sauerstoffnachweises aus Versuch 1.1 gezeigt werden, dass grüne Pflanzen in Gegenwart von Licht Sauerstoff produzieren. Darüber hinaus können Erkenntnisse des Einflusses von Licht und der Verfügbarkeit von CO₂ gewonnen werden. Mit Hilfe dieses Versuches können sich die SchülerInnen einige wichtige Schlüsselwörter der Fotosynthese (grüne Pflanzen, Lichtenergie, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid) erschließen.

Zum Nachweis der Sauerstoffproduktion durch grüne Pflanzen wird die Arbeitstechnik der „Pneumatischen Wanne“ als Gas auffanggerät genutzt. Hierzu wird eine Kristallisierschale mit Wasser gefüllt. Anschließend wird in diese Kristallisierschale ein

Glastrichter gesetzt, in dessen weite Öffnung frische, angeschnittene Wasserpest (*Egeria densa*) gelegt wird. Auf die nach oben ragende schmale Öffnung des Trichters wird ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas mit seitlichem Ausgang (unten) luftblasenfrei aufgesetzt. Der seitliche Ausgang wird mit Hilfe eines 2-Wege-Ventils verschlossen. Die Versuchsanordnung wird unter eine Pflanzenlampe gestellt. Die von dem Pflanzenmaterial aufsteigenden Gasblasen sammeln sich in dem Reagenzglas, verdrängen das im Reagenzglas befindliche Wasser und nehmen einen sichtbaren Gasraum ein. Nach einer Belichtungsdauer von 2 Stunden wird der Hahn geöffnet, so dass das entweichende Gas auf einen glimmenden Holzspan trifft, der in ein mit der Apparatur verbundenes, mit der Öffnung nach unten zeigendes Reagenzglas mit seitlichem Ausgang gehalten wird. Kurzes Aufleuchten des Holzspans weist Sauerstoff nach.

Durch Variation verschiedener Versuchsparameter können Einflussfaktoren auf die Sauerstoffproduktion und damit auf die Fotosynthese untersucht und erkannt werden. Der Einfluss der Kohlenstoffdioxidversorgung kann z.B. durch unterschiedliche Wässer wie

- Leitungswasser (normaler CO₂-Gehalt)
- Mineralwasser (CO₂-reich)
- abgekochtes Leitungswasser (CO₂-arm)

gezeigt werden.

Der Lichteinfluss auf die Fotosynthese kann mit Hilfe eines Vergleiches einer belichteten und einer unbelichteten Wasserpest hinsichtlich der Sauerstoffproduktion gezeigt werden. Die Wasserpest muss dafür vor dem Versuch mind. 24 Stunden im Dunkeln gelagert werden: die Fotosynthese läuft bei einer geringeren Lichtintensität nur mit geringer Effizienz ab, so dass der Kohlenstoffgewinn und die Erzeugung von Sauerstoff geringer ist als der Kohlenstoffverlust und Sauerstoffverbrauch bei der Atmung [4].

Die Temperatur sollte bei diesem Versuch konstant gehalten werden, da die Löslichkeit von CO₂ in Wasser temperaturabhängig ist. CO₂ kann in Wasser in größeren Mengen gelöst werden, weil es mit Wasser reagiert und Kohlensäure (H₂CO₃) bildet. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Löslichkeit von CO₂ in Wasser ab, so dass zuvor gelöstes CO₂ aus dem Wasser „entgasen“ kann [5]. Durch die Belichtung mit der Pflanzenlampe nimmt die Wassertemperatur in der pneumatischen Wanne um etwa 2 °C zu. Beim Dunkel-Versuch muss dieser Temperaturunterschied ggf. mit Hilfe eines Wasserbades korrigiert werden.

Die Glimmspanprobe ist bei diesem Versuch etwas schwächer als beim eigentlichen O₂-Nachweis, weil das aufgefangene Gas nicht vollständig aus reinem Sauerstoff besteht, sondern auch aus „ausgegastem“ zuvor in Wasser gelöstem Gas (z.B. Luft und somit hauptsächlich N₂).

Versuch 2.1 Sauerstoffbildung und –nachweis mit Indigocarmin

Ziel des Versuches ist der Nachweis von Sauerstoff über eine Farbreaktion. Zur Darstellung des molekularen Sauerstoffs wird in der Vorgehensweise auf den Versuch 1.1 zurückgegriffen, d. h. Wasserstoffperoxid (H₂O₂) wird mit Braunstein versetzt. Durch die katalytische Eigenschaft des Braunsteins zersetzt sich Wasserstoffperoxid unter Aufschäumen in molekularen Sauerstoff und Wasser. Der freigesetzte Sauerstoff wird mit Hilfe des Farbstoffes Indigocarmin nachgewiesen, indem das Gas in die Farblösung eines luftdicht vorbereiteten Reaktionsgefäßes zugeleitet wird.

Indigocarmin (C₁₆H₈N₂O₈S₂) gehört zur Klasse der Carbonylfarbstoffe und wird in unterschiedlichen Bereichen (Wolle und Seide) als Färbemittel eingesetzt. Darüber hinaus wird Indigocarmin heute in der Lebensmitteltechnologie verwendet. Es ist als E132 zur Färbung von Zucker- und Süßwaren, Glasuren, Kunstspeiseeis und Getränken zugelassen und dient auch zur Färbung von Kosmetika sowie Arznei- und Futtermitteln [6]. Das Pulver ist wasserlöslich und färbt sich in Gegenwart von Sauerstoff blau. Durch die Zugabe eines Reduktionsmittels kann das Indigocarmin in die reduzierte (s. Abb. 2: (1)) Form Leuko-Indigocarmin umgesetzt werden, wodurch der Farbstoff goldgelb wird. Die Farbänderung ist somit Folge einer Redoxreaktion. Die Reaktion ist reversibel. Bei erneutem Kontakt mit Sauerstoff erfolgt also eine Rückfärbung von gelb zu blau.

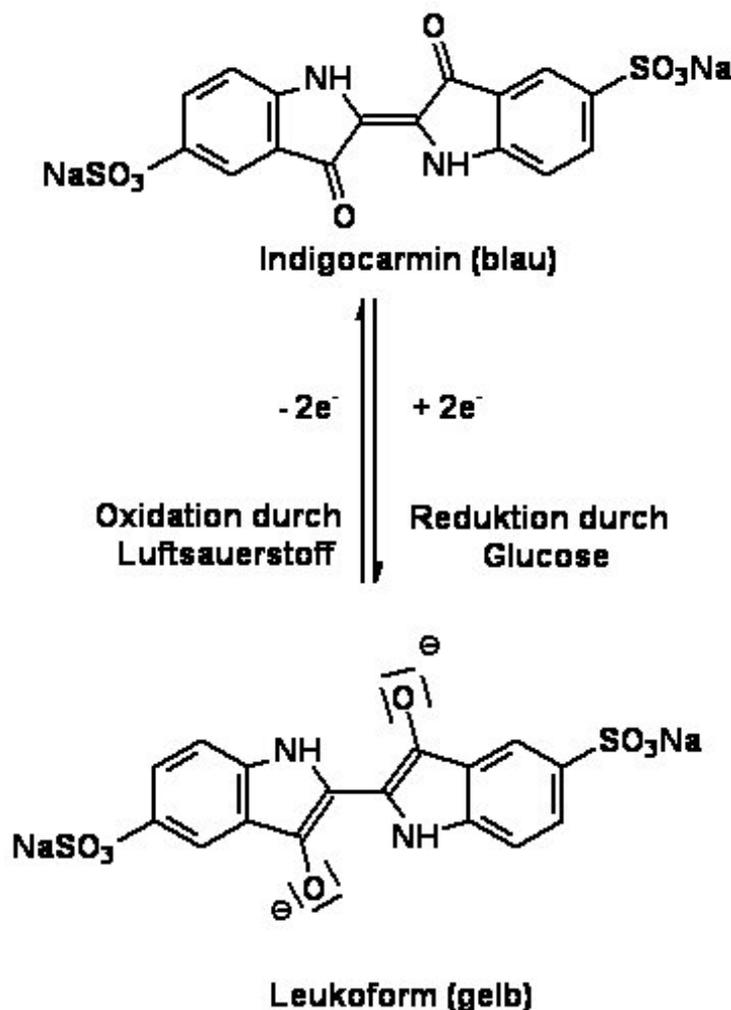


Abb. 2: Schema der Indigocarminreaktion: oxidierte Form blau (1); reduzierte Leuko-Form gelb (2) [7]

Als ein geeignetes Reduktionsmittel hat sich Natriumdithionit (Na₂S₂O₄) erwiesen. Dieser Stoff wird wegen seiner stark reduzierenden Wirkung als Bleichmittel in Fleckensalzen, in der Färberei sowie zum Bleichen von Zucker, Sirup, holzhaltigem Papier und Holzschild verwendet, dient aber auch zum Abscheiden von Silber aus Fixierbädern [8].

Zur Durchführung des Sauerstoffnachweises durch Indigocarmin wird zunächst die blaue Indigocarmin-Lösung unter Rühren vorsichtig mit dem Reduktionsmittel Natriumdithionit

titriert, bis der Farbstoff vollständig gelb ist. Damit die Lösung nicht sofort wieder mit dem Luft-Sauerstoff reagiert, wird sie mit einer Ölschicht sauerstoffundurchlässig verschlossen. Das Indigocarmin liegt nun in seiner reduzierten Form als goldgelbes Leuko-Indigocarmin vor. Unmittelbar nach der Umfärbung (komplette Reduktion des Indigocarmins) wird das Reaktionsgefäß mit der gelben Lösung an die restliche Versuchsanordnung angeschlossen. Das Glasröhrchen muss dabei in die Flüssigkeit ragen, so dass die direkte Einleitung des gebildeten Sauerstoffs in die Lösung gewährleistet ist. Nach Anschluss der „Gaszuleitung“ wird eine Spatelspitze Braunstein in das Reaktionsgefäß mit Wasserstoffperoxid gegeben. Das Reaktionsgefäß wird sofort verschlossen, der gebildete Sauerstoff wird in die gelbe Farblösung geleitet. Es kann ein Umschlag von gelb nach blau-grün beobachtet werden, d.h. der Sauerstoff oxidiert das Leuko-Indigocarmin (reduzierte Form) zu Indigocarmin (oxidierte Form).

Versuch 2.2 Sauerstoffbildung durch Wasserpest und Nachweis mit Indigocarmin

Voraussetzung für die Durchführung und für das Verständnis dieses Versuches ist der Vorversuch mit Indigocarmin (Versuch 2.1).

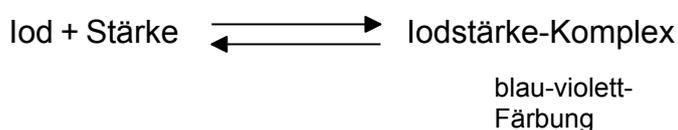
In Versuch 2.1 wird Sauerstoff mit Hilfe einer sehr empfindlichen Farbreaktion nachgewiesen. In einem ersten Schritt wird die blaue, oxidierte Indigocarmin-Lösung durch eine stark reduzierende Natriumdithionit-Lösung in das gelbe (reduzierte) Leuco-Indigocarmin überführt. Anschließend wird in einen Versuchsansatz Wasserpest (grüne Pflanze) gegeben, ein weiterer Versuchsansatz wird als Blindprobe ohne Wasserpest belassen. Beide Versuchsansätze müssen in ihrer Herstellung zügig, jedoch sehr umsichtig hergestellt werden, da das farbige Redox-System des Indigocarmins bereits sehr schnell und empfindlich mit Luftsauerstoff reagiert. Das „Verschließen“ der Versuchsansätze mit Pflanzenöl verhindert dabei Kontakt mit der Umgebungsluft.

Innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne von ungefähr 5-10 Minuten erfolgt in der Versuchsvariante mit Wasserpest eine sichtbare Umfärbung der gelben (reduzierten) Farblösung in die blau-grüne (oxidierte) Form. Die Blindprobe ohne Wasserpest verfärbt sich innerhalb dieser kurzen Zeitspanne nicht. Da nur der Versuchsansatz mit Wasserpest eine Umfärbung zeigt, also Leuco-Indigocarmin oxidiert wird, kann gefolgert werden, dass durch die grüne Pflanze Sauerstoff gebildet wurde.

V 3.1 Stärkenachweis in grünen Blättern

Im Zwischenversuch (Speisestärke mit Iod-Kaliumiodid-Lösung versetzen) lernen die SchülerInnen die Nachweisreaktion für Stärke kennen und führen sie an einigen ausgewählten Lebensmitteln durch.

Bei der Iod-Stärke-Reaktion wird Iod (als Polyiod-Iodid-Komplex $I_2 \cdot I^-$) in den Windungen des spiraligen Stärkemoleküls, genauer des helixförmigen Amylosemoleküls, eingeschlossen. In Gegenwart von Stärke entsteht eine charakteristische Blau-violett-Färbung (bei hoher Konzentration auch blau-schwarz), die den Iod-Stärke-Komplex kennzeichnet [9].

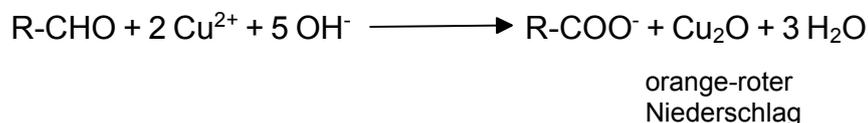


Der Stärkenachweis in Blättern ist aufgrund der Tatsache komplizierter, dass die Stärke in Zellkompartimenten der Blätter eingeschlossen vorliegt und der Nachweis durch die Eigenfärbung des Blattes überdeckt wird [10]. Das erste Problem kann durch eine Behandlung im siedenden Wasserbad gelöst werden, da durch das Kochen im heißen Wasser die Zellstrukturen aufgebrochen werden, so dass die Stärke für die Nachweisreaktion zugänglicher ist. Die zweite Schwierigkeit kann durch die Behandlung mit siedendem Ethanol überwunden werden. Hiermit werden die grünen Blattfarbstoffe (Chlorophylle) extrahiert, so dass der Stärkenachweis durch die blatteigenen Pigmente nicht mehr gestört wird.

Für die Fotosynthese braucht die Pflanze Licht. Stärke entsteht daher nur dort, wo Licht auf grüne Blätter trifft. Die Tatsache, dass Stärke nur in den grünen Blattanteilen gebildet wird, kann gut anhand panaschierter (grün-weiß-gefleckter) Blätter veranschaulicht werden. Der Lichteinfluss auf die Stärkeproduktion bzw. auf die Fotosynthese kann vergleichend am Beispiel eines belichteten und eines über Nacht völlig abgedunkelten Blattes (s. Erklärung aus Versuch 1.2) durchgeführt werden.

Versuche 3.2.1 und 3.2.2 Zuckernachweis mit Fehling in grünen Blättern

Im Versuch 3.2.1 lernen die SchülerInnen die Nachweisreaktion für reduzierende Zucker, wie z.B. Glucose, kennen. Bei der Fehling-Reaktion reduzieren diese die blauen Kupferionen (Cu²⁺-Ionen) zu solchen (Cu⁺-Ionen), die nicht mehr löslich sind und einen orange-roten Niederschlag bilden. D. h. in Gegenwart von Zuckern findet ein Farbumschlag von blau nach orange-rot (Kupfer(I)oxid) statt [11].



Das Reaktionsmilieu für diese Nachweisreaktion muss schwach alkalisch sein, da nur in alkalischer Lösung die Cu²⁺-Ionen schwach oxidierend wirken (Reduktions- bzw. Oxidationspotenziale sind immer pH-abhängig). Gewährleistet wird dies durch die Komponente Fehling B des Nachweisreagenzes, welches 10 g NaOH auf 100 mL dest. Wasser enthält. Damit im alkalischen Milieu nicht Cu(OH)₂ ausfällt, enthält die Lösung zusätzlich Na-K-Tartrat (gemischtes Salz der Weinsäure, Seignette-Salz), das Cu²⁺ komplexiert und so in Lösung hält. Die Reaktion verläuft in der Wärme deutlich schneller, weshalb das Reaktionsgemisch im Wasserbad erhitzt wird. Die Reaktion verläuft nicht, wie die obige Gleichung nahe legen könnte, stöchiometrisch. Im Alkalischen kommt es daneben zur Tautomerisierung der Glucose (ausgehend von der offenkettigen, freien Aldehydform zu formulieren) zum 1,2-Endiol, das einer oxidativen C-C-Spaltung unterliegt.

In Versuch 3.2.2 muss der Zucker (Glucose) erst aus dem grünen Blatt herausgelöst werden. Dieses geschieht durch das Zerkleinern und Kochen des Blattes in heißem Wasser (Extraktion) [10]. Die Glucose geht in Lösung und kann nach Filtration des Extraktes mittels Fehling-Reaktion nachgewiesen werden. Aufgrund der Matrixeffekte ist die Bildung des orange-roten Cu₂O-Niederschlages nicht so intensiv wie bei der Vergleichsprobe mit Traubenzucker (Glucose) in Versuch 3.2.1.

Dieser Versuch zeigt den SchülerInnen, dass die Glucose ein Produkt der Fotosynthese ist.

Versuch 3.3 Abbau von Stärke durch Speichel und Zuckernachweis mit Fehling

Dieser Versuch soll den SchülerInnen den Bezug zwischen Glucose und Stärke vermitteln.

Im ersten Teil des Experimentes wird gezeigt, dass Stärke durch Speichel abgebaut wird. Mit Hilfe der Iod-Stärke-Reaktion kann Stärke nachgewiesen werden. Es entsteht eine blau-violette Färbung. Diese blau-violette Färbung verblasst in dem Reagenzglas, welches Spucke enthält, da durch den Speichel die Stärke zu Glucose (reduzierender Zucker) abgebaut wird, mit der kein Einschlusskomplex mehr möglich ist, die aber auch das Nachweisreagenz Iod zu Iodid reduziert. Um also nicht nur die Bildung eines reduzierenden Produktes nachzuweisen, sondern auch das Verschwinden von Stärke, muss so viel Iod-Reagenz nachgegeben werden, bis die braune Farbe des freien Iods bestehen bleibt.

Der zweite Versuchsteil demonstriert, dass die Stärke aus Zuckerbausteinen aufgebaut ist. Durch den Speichel (Enzyme) wird die Stärke zur Glucose abgebaut, die sich durch Fehlings Reagenz (orange-roter Niederschlag) nachweisen lässt. Bei der Stärkesuspension ohne Speichel gelingt der Nachweis nicht. Die Lösung bleibt bläulich gefärbt.

Die SchülerInnen können nun verstehen, warum in grünen belichteten Blättern Stärke **und** Glucose nachgewiesen werden können. Sie können im Laufe des Versuches den Schluss ziehen, dass Stärke aus Glucose aufgebaut ist. Somit kann gezeigt werden, dass Stärke bzw. Glucose ein Produkt der Fotosynthese ist.

3 Versuche zu Atmung und CO₂

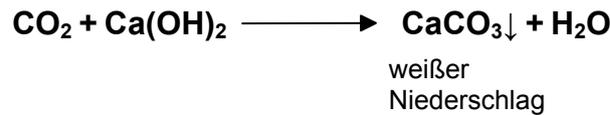
Versuch 1 Kohlenstoffdioxid-Nachweis

Kohlenstoffdioxid ist unter Normalbedingungen ein Gas, das man zum Sprudeln von Wasser, als Treibgas zum Backen oder zum Löschen von Feuer einsetzen kann. Als Trockeneis (gefrorenes CO₂) wird es auch zum Kühlen oder für „Nebelschwaden“ im Theater verwendet.

Ein Feuerlöscher enthält CO₂, das unter Druck verflüssigt wurde. Bei der plötzlichen Freisetzung (also beim Löscheinsatz) verdampft das CO₂ schlagartig. Es wandelt sich in die gasförmige Form um, die mit der flüssigen Phase einen Schaum bildet.

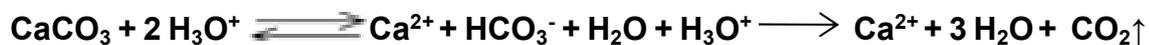
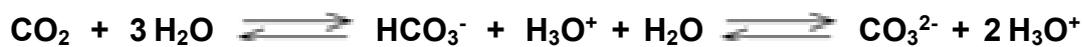
Da Kohlenstoffdioxid eine höhere Dichte als Luft hat, sinkt es nach unten, was für den Löschvorgang wichtig ist. Die höhere Dichte birgt aber auch Gefahren, da es sich in Grotten bzw. Gärkellern am Boden sammelt und dadurch, infolge Sauerstoffmangels, Bewusstlosigkeit und Tod eintreten kann.

Das Gas Kohlenstoffdioxid kann mit Hilfe der Kalkwasserprobe nachgewiesen werden. Hierfür wird CO₂-Gas, welches von der Soda-Club-Maschine bereitgestellt wird, in Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)₂-Lösung) eingeleitet, wodurch ein weißer Niederschlag aus schwerlöslichem Calciumcarbonat (CaCO₃) entsteht.



Die Kalkwasserprobe ist somit ein Nachweis für das Gas Kohlenstoffdioxid [5].

Achtung: Bei starker CO₂-Entwicklung kann die alkalische Kalkwasserlösung durch die Reaktion des CO₂ mit dem Wasser („Kohlensäure“) so stark angesäuert werden, dass sich das anfangs gebildete Calciumcarbonat wieder auflöst. Es kann dann passieren, dass die vorübergehende Bildung des Niederschlags übersehen wird. Tritt dieser Fall ein, kann auch diese Beobachtung damit erklärt werden, dass sich das Carbonat im Säuren wieder löst und man Carbonate (s. Versuche mit Muscheln, Kalkstein) durch die Freisetzung von CO₂ unter Auflösung nach Säurezusatz nachweist.



Versuch 2.1 Kohlenstoffdioxid in der Atemluft

Dieser Versuch soll den SchülerInnen den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffdioxid und Lebewesen demonstrieren. Ziel ist zu erkennen, wie Lebewesen (der Mensch) durch ihre Stoffwechsellleistungen (Veratmung von Kohlenhydraten) Kohlenstoffdioxid produzieren und freisetzen.

Im Experiment wird aus diesem Grund menschliche Atemluft mit Hilfe eines Kolbenprobers in Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)₂) eingeleitet. Hierbei stellt sich eine Trübung des Kalkwassers durch Ausfällung des Calciumcarbonates (s. Versuch 1) ein.

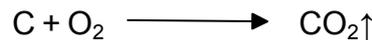
Aufgrund der Tatsache, dass die SchülerInnen im Experiment zuvor den Nachweis für Kohlenstoffdioxid mit Hilfe der Kalkwasserprobe kennengelernt haben, gelingt es ihnen, den Schluss zu ziehen, dass auch menschliche Atemluft Kohlenstoffdioxid enthält.

Versuch 2.2 Kohlenstoffdioxid als Produkt der Verbrennung

Im Vorversuch wird den SchülerInnen die Funktion der Wasserstrahlpumpe gezeigt. Durch das Anstellen der Wasserstrahlpumpe wird ein Unterdruck erzeugt, den man durch Halten des Daumes auf den Ansatz der Wasserstrahlpumpe spüren kann. Obwohl Wasserstrahlpumpen üblicherweise ein Rückschlagventil haben, sollte beim Beenden des Versuches erst der Schlauch abgezogen und erst dann das Wasser abgestellt werden. Andernfalls kann es passieren, dass Wasser in die Waschflasche gesogen wird.

Es wird Luft aus der Umgebung durch den Trichter in die Gaswaschflasche gesaugt. Die Flüssigkeit in der Waschflasche beginnt zu blubbern. Eine Trübung der Flüssigkeit tritt jedoch nicht auf, da der Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft nicht ausreicht, um Calciumcarbonat ausfallen zu lassen.

Bei der Verbrennung von Holz an der Luft entsteht Kohlenstoffdioxid. Der Kohlenstoffanteil des Holzes wird vom Luftsauerstoff oxidiert (Oxidation: Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff).



Kohlenstoffdioxid ist ein farbloses und geruchsneutrales Gas. Es wird durch den über der Porzellanschale mit dem Holz befindlichen Trichter in die Gaswaschflasche gesogen. Durch das Entweichen eines Verbrennungsproduktes verringert sich das Gewicht des messbaren festen Verbrennungsrückstandes, d. h. die Porzellanschale wird leichter (hier bei einer Holzmenge von 1,5 g um etwa 0,8 g). Das in die Gaswaschflasche eingeleitete CO₂ verursacht eine Trübung des Kalkwassers, da Calciumcarbonat als Feststoff ausfällt (s. Versuch 1).

Die Ableitung des gasförmigen Verbrennungsproduktes in Kalkwasser und sein Nachweis als CO₂ beugen der möglichen Fehldeutung vor, dass die Massenbilanz bei der Oxidation von Stoffen negativ ist.

Versuch 2.3 Kohlenstoffdioxid in Autoabgasen

Kohlenstoffdioxid entsteht nicht nur bei der Atmung und beim Verbrennen von organischem Material (Verbrennung von Holz, Versuch 2.2), sondern ist auch zu knapp 90 % in Autoabgasen enthalten [12].

Autoabgase können für dieses Experiment mit Hilfe eines Plastikbeutels (Abgasbeutel), der am Auspuff festgehalten wird, aufgefangen werden. Am besten geeignet sind die Abgase eines gerade gestarteten Autos, da dann der Katalysator wegen der geringen Temperatur noch nicht arbeitet und so die Konzentration an Schadstoffen höher ist. Der Nachweis wird dadurch erleichtert. Außerdem ist der Auspuff zu dieser Zeit noch kalt. Sinnvoll ist es, die Autoabgase mit den SchülerInnen gemeinsam aufzufangen.

Zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid in den Abgasen wird mit Hilfe eines Kolbenprobers die Gasmenge direkt in das Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)₂-Lösung) eingeleitet (s. Versuch 1, CO₂-Nachweis). Dabei ist es sinnvoll einen großen Kolbenprober (100 mL) zu verwenden, da andernfalls mehrere Wiederholungen des Vorgangs nötig sind. Üblicherweise werden für einen positiven Nachweis etwa 100-200 mL Gasvolumen benötigt. Das entspricht 1-2 Kolbenproberfüllungen.

Begleitend zu dem Experiment kann im Unterricht die Verwendung von fossilen Energieträgern in Autos (und zur Strom- und Wärmeerzeugung) diskutiert werden, deren Hauptproblem neben den begrenzten Ressourcen die Entstehung der Luftschadstoffe (insbesondere CO₂, CO, NO_x und SO₂) sind. Die Erhöhung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre führt zum Treibhauseffekt (Näheres dazu s. Versuch 4). Kraftstoffe aus Pflanzenölen bzw. Energie aus Biomassevergasung und Biomasseverbrennung besitzen gegenüber den fossilen Brennstoffen den Vorteil, dass die kurzfristige CO₂-Bilanz ausgeglichen ist. Nur das CO₂, das die Pflanzen in der vorangegangenen Vegetationsperiode für ihr Wachstum aufgenommen haben, wird wieder freigesetzt. Hinzu kommt allerdings der Energiebedarf für Anbau, Transport, Verarbeitung, der ebenfalls mit CO₂-Produktion verbunden ist. Fossile Brennstoffe sind zwar ebenfalls aus pflanzlichem Material entstanden, dies aber über Millionen von Jahren, so dass die Zeitachse der Entstehung und des Verbrauchs hier um Größenordnungen auseinanderklaffen. Sie sind aber im Vergleich zur frischen Biomasse chemisch reduziert und dehydratisiert und besitzen folglich einen deutlich höheren C-Gehalt (C-Gehalt in Cellulose: 44 % (w/w), C-Gehalt in hochmolekularen Alkanen: 85 % (w/w)).

Der effizienteste Weg, den CO₂-Ausstoß zu verringern, besteht darin, die Verbrennung organischen Materials zu reduzieren. Transformation von Energie, z.B. chemische in Bewegungsenergie, verläuft immer mit Wirkungsgraden <1.

Versuch 3 Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Muscheln oder Kalksteinen

Dieser Versuch soll den SchülerInnen demonstrieren, dass ein Stoff nicht verloren geht, sondern umgewandelt wird, gebunden werden und wieder freigesetzt werden kann.

Viele Mineralien in der Natur sind in Form von Salzen gebundenes CO₂-Gas, so genannte Carbonate (oder Hydrogencarbonate). Vor allem Calciumcarbonat nimmt eine wichtige Rolle ein. Beispiele sind Kalk- und Kreidegestein (nicht Tafelkreide), Dolomit, Marmor, echte Perlen, Eierschalen, Schneckenhäuser, Korallen, Muscheln oder die in wunderschönen Formen auftretenden Kieselalgen. Durch Zusatz von Säure kann das CO₂ aus diesen Carbonaten wieder freigesetzt werden. Erkennbar ist dies an der Gasentwicklung [13].

Im Versuch werden Muscheln oder Kalksteine mit Säure versetzt, so dass Carbonat in Kohlenstoffdioxid umgewandelt wird. Die Gasentwicklung ist demnach ein Nachweis für CO₂. Das entstandene Kohlenstoffdioxid wird mit Hilfe eines Gärröhrchens in Kalkwasser (gesättigte Ca(OH)₂-Lösung) eingeleitet, in dem es als weißer Niederschlag (Calciumcarbonat) ausfällt (vgl. Versuch 1).



Zur Wiederauflösung des gefällten CaCO₃ bei Übersäuerung des im Gärröhrchen vorgelegten Kalkwassers s. die Anmerkungen zu Versuch 1.

Die Versuche zu CO₂ stellen selbst einen kleinen „Kreislauf“ dar, den Wechsel zwischen freiem (bzw. in Wasser gelösten) und in Mineralien gebundenen CO₂. In diesem Versuch wird das CO₂ aus der Depotform durch Säure freigesetzt, als Gas transportiert und an anderer Stelle von dort vorgelegtem Calcium wieder in seiner Ausgangsform gebunden. Das Calciumcarbonat, das wie in den o.g. Beispielen gezeigt, in unterschiedlichen Formen vorliegen kann, ändert dabei jedoch seine Morphologie.

Statt durch Auflösen in Säure kann das CO₂ aus Calciumcarbonat auch durch Erhitzen auf 900 °C („Kalkbrennen“) freigesetzt werden. Das entstehende Calciumoxid CaO reagiert mit Wasser exotherm zu (Ca(OH)₂ („Kalklöschchen“), das dann mit CO₂ zu CaCO₃ abbundet. Dieser „technische Kalkkreislauf“ könnte als Gegenstück zum biologischen Kontext je nach Zielgruppe einen alternativen Anknüpfungspunkt bieten.

Versuch 4 Bedeutung von Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas

Zum Schluss dieser Versuchsreihe soll den SchülerInnen die Bedeutung und die Auswirkung des Kohlenstoffdioxidgases auf die Umwelt näher gebracht werden.

Im Versuch 3, Speicherung von Kohlenstoffdioxid in Muscheln und/oder Kalksteinen, wurde die Fixierung von CO₂ demonstriert. In der heutigen Zeit produzieren wir allerdings mehr CO₂ als fixiert wird. Das heutige CO₂ ist nicht mehr im Sedimentgestein „versiegelt“. Bei Nutzung des Erdöls oder der Kohle als fossile Brennstoffe, als Reduktionsmittel der Metallurgie oder zu anderen chemischen Zwecken wird das Gas wieder freigesetzt. Hinzu kommt die ungehemmte Nutzung der Carbonatsedimente etwa zur Baustoffgewinnung oder bei der Abgasreinigung (Entschwefelung der Abgase von Kraftwerken nach dem Kalksteinverfahren), wobei auch hier das fixierte/gebundene CO₂ der Erdfrühzeit freigesetzt wird [5].

Durch Rodung von Wäldern und Zerstörung von Pflanzenwuchsregionen steigt die Konzentration des CO₂ weit über den über Jahrmillionen hinweg eingependelten Gleichgewichtswert. Das Gas reichert sich zunehmend in der Atmosphäre an.

Diese CO₂-Anreicherung in der Atmosphäre ist kritisch, weil CO₂ ein sogenanntes Treibhausgas ist. D. h. es lässt kurzweilige Strahlung aus dem Weltraum zur Erdoberfläche passieren, verhindert aber zum großen Teil die Abstrahlung von überschüssiger Wärme (Absorption der langwelligen Infrarotstrahlung) in Richtung Weltraum. Die Folge dieses Ungleichgewichts in der Energiebilanz ist die Erwärmung der unteren Atmosphäre (Troposphäre) und die Auskühlung der höheren Atmosphäre (Stratosphäre) [14].

In diesem Versuch wird das Absorptionsvermögen der langwelligen Infrarotstrahlung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid demonstriert. Durch die größere Temperaturerhöhung des mit CO₂-gefüllten Gefäßes (Erlenmeyerkolben) gegenüber dem mit Luft gefüllten Gefäß (Erlenmeyerkolben) um 2-4 °C während der Bestrahlung mit einer Infrarotlampe (z.B. Fa. Beurer, 100 Watt), kann der Treibhauseffekt messbar beobachtet werden.

4 Schlussbemerkung zum O₂/CO₂-Stoffkreislauf

Die SchülerInnen sollen auf Grundlage der vorgestellten Versuchsreihen zum Thema Stoffkreislauf (O₂/CO₂) zu der Erkenntnis gelangen, dass in der Regel natürliche Kreislaufsysteme, besonders die des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs, sich bei aufgezwungenen Änderungen ihrer Zusammensetzung schnell wieder auf den alten Zustand einregulieren können, da sie mit dem großen Reservoir der Atmosphäre gekoppelt sind. Unter den Bedingungen der Technik kommt jedoch der Mensch als in diese Zyklen eingreifender Akteur ins Spiel, da er die zur Verfügung stehenden Stoffe für sich nutzt. Der Mensch hat somit die Verteilung und Dynamik vieler Stoffe so beschleunigt, dass die Kreisläufe aus dem Gleichgewicht geraten.

5 Quellenverzeichnis

- [1] <http://de.wikipedia.org/wiki/Fotosynthese>
- [2] http://de.wikipedia.org/wiki/Aerobe_Atmung
- [3] http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_h2o2.htm
- [4] <http://www.biozac.de/biozac/schule/Photosynthese.htm>
- [5] <http://de.wikipedia.org/wiki/Kohlenstoffdioxid>
- [6] <http://de.wikipedia.org/wiki/Indigokarmin>
- [7] <http://www.schulbiologiezentrum.info/AH%2019.65%20Experimente%20zur%20Photosynthese%20250606.pdf>
- [8] <http://de.wikipedia.org/wiki/Natriumdithionit>
- [9] <http://de.wikipedia.org/wiki/Iodprobe>
- [10] <http://www.supernovae.de/schule/biologie/biologie%20protokoll%20fotosynthese.html>
- [11] http://www.chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/alte_seite_du/material/milch/lactose/fehling.pdf
- [12] http://www.klassenarbeiten.de/referate/chemie/autoabgase/autoabgase_69.htm
- [13] <http://download.chemiestudent.de/protokol/ac/grund/annika/ionennachweis.pdf>
- [14] <http://www.seilnacht.com/Lexikon/Treibh.htm>