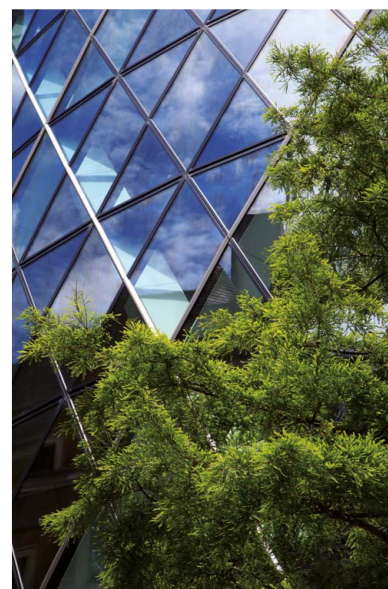


leXsolar-BioEnergy Ready-to-go



Lehrerheft

Layout diagram leXsolar-BioEnergy Ready-to-go

Item-No.1710

Bestückungsplan leXsolar-BioEnergy Ready-to-go

Art.-Nr.1710



1 24xL2-06-199 Stopper red
24xL2-06-199 Stopfen rot

2 2xL2-01-120 Pot holder BioEnergy
2xL2-01-120 Töpfchenhalter BioEnergy

3 2xL2-06-185 Timer
2xL2-06-185 Zeitschaltuhr

4 1700-17 ID Tags
1700-17 ID Schildchen

5 L2-02-046 Silicone tube 4mm
L2-02-046 Schlauch innen 4mm

6 1700-12 Sprout Box
1700-12 Keimbox

7 L2-06-186 Pump
L2-06-186 Luftpumpe

8 1700-06 Fertilizer
1700-06 Dünger

9 1700-13 Box 6 L
1700-13 Box 6 L

10 L2-06-191 Weight
L2-06-191 Waage

11 1700-11 Tripod plant lighting with **17**
1700-11 Stativ Pflanzenbeleuchtung mit **17**

12 50xL2-06-188 Net Cup Planter
50xL2-06-188 Gitternetztopf

Version number
Versionsnummer

III-01.24_L3-03-274_01.02.2016

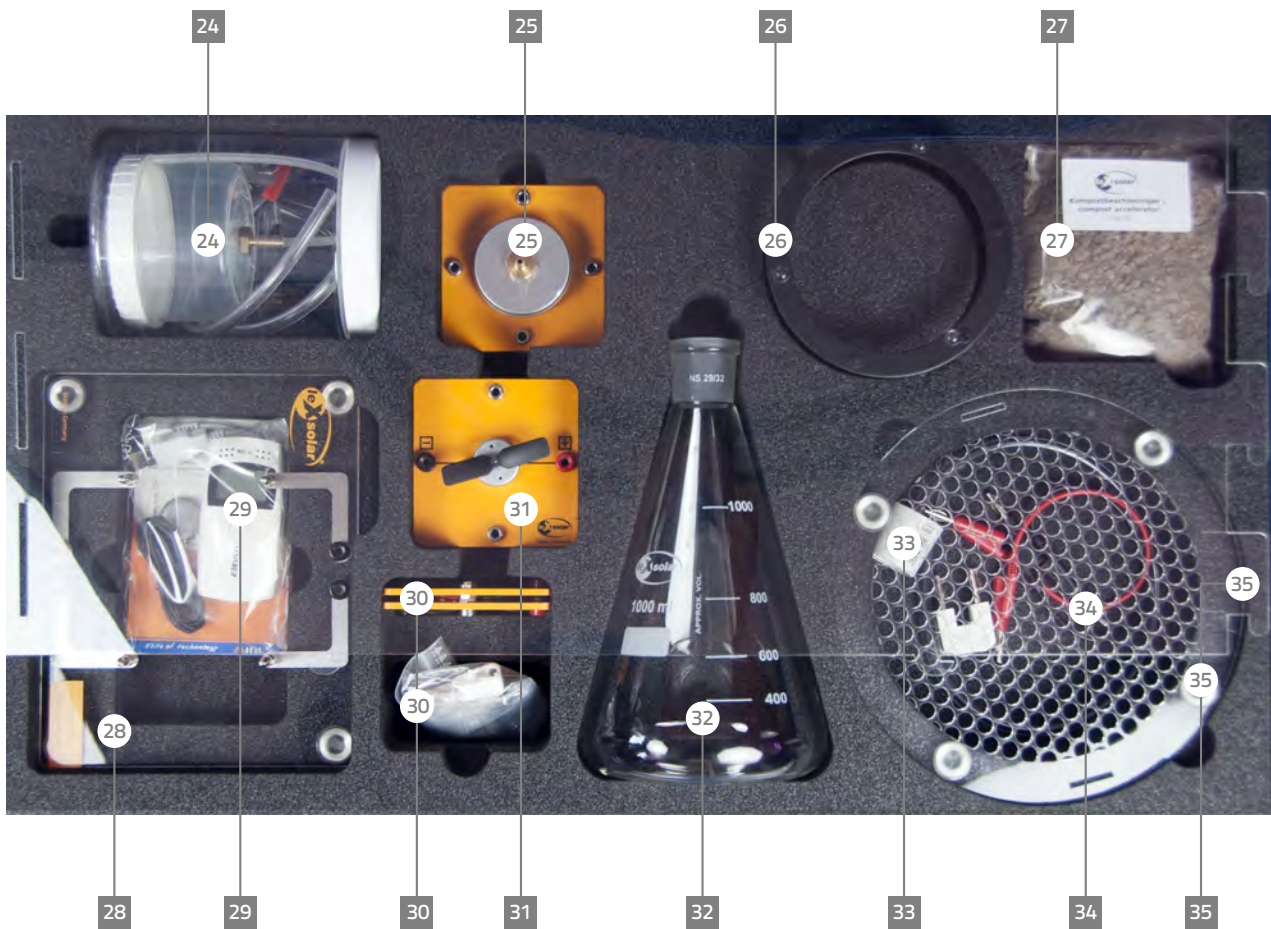
Layout diagram leXsolar-BioEnergy Ready-to-go
 Item-No.1710
 Bestückungsplan leXsolar-BioEnergy Ready-to-go
 Art.-Nr.1710



- 13 1700-15 Seed set
1700-15 Samen-Set
- 14 2x1700-05 Expanded clay pebbles
2x1700-05 Blähtonkugeln
- 15 2xL2-04-194 Plant light
2xL2-04-194 Pflanzenlampe
- 16 L2-06-192 Tweezers
L2-06-192 Pinzette
- 17 1700-11 Tripod plant lighting with 11
1700-11 Stativ Pflanzenbeleuchtung mit 11
- 18 2xL2-06-187 Aeration stone
2xL2-06-187 Belüfungsstein

- 19 2xL3-01-012 Plastic box Grate 75 mm deep
2xL3-01-012 Kunststoffbox Grate 75 mm tief
- 20 L2-06-189 EC meter
L2-06-189 EC-Messgerät
- 21 L2-05-141 Hose clamp
L2-05-141 Schlauchklemme
- 22 L2-02-083 Y-switch 4 mm
L2-02-083 Y-Verteiler 4 mm
- 23 L2-06-200 Nebulizer
L2-06-200 Zerstäuber

Layout diagram leXsolar-BioEnergy Ready-to-go
 Item-No.1710
 Bestückungsplan leXsolar-BioEnergy Ready-to-go
 Art.-Nr.1710



- | | |
|--|---|
| <p>24 1700-09 Gas collecting container 1700-09 Gasauffanggefäß</p> <p>25 1700-10 Burner 1700-10 Brenner</p> <p>26 1700-14 Tripod 1700-14 Dreibein</p> <p>27 1700-07 Compost catalyst 1700-07 Kompostbeschleuniger</p> <p>28 1602-01 leXsolar-Base unit small 1602-01 leXsolar-Grundeinheit Small</p> <p>29 L2-06-190 Temperature logger L2-06-190 Temperaturlogger</p> <p>30 1218-02 PEM-Fuel cell module 1218-02 PEM-Brennstoffzellenmodul</p> | <p>31 1100-27 Motor module without gear with L2-02-017 Propeller 1100-27 Motormodul ohne Getriebe mit L2-02-017 Propeller</p> <p>32 L2-06-075 Erlenmeyer flask 1000 mL L2-06-075 Erlenmeyerkolben 1000 mL</p> <p>33 1700-16 Rubber stopper with tube 1700-16 Gummistopfen mit Schlauch</p> <p>34 L2-06-012 Test lead 25cm, black L2-06-012 Messleitung 25cm, schwarz L2-06-013 Test lead 25cm, red L2-06-013 Messleitung 25cm, rot 2xL2-06-033 Short-circuit plug 2xL2-06-033 Kurzschlussstecker</p> <p>35 1700-08 Composter 1700-08 Komposter</p> |
|--|---|

Version number
 Versionsnummer

III-01.24_L3-03-274_01.02.2016

leXsolar-BioEnergy Ready-to-go

Lehrerheft

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| I. Theoretische Vorbetrachtungen | 6 |
| 1. Vertical Farming..... | 6 |
| 2. Photosynthese Kreislauf/Calvin- Kreislauf..... | 8 |
| 3. Hydrokulturen | 12 |
| 4. Substrate | 13 |
| 5. Nährstoffe | 14 |
| 6. Beleuchtung..... | 15 |
| 7. Kompostierung..... | 18 |
| 8. Erzeugung von Biomethan..... | 21 |
| 9. Erzeugung von Biowasserstoff..... | 23 |
| II. Allgemeine Informationen zum Experimentiersystem | 27 |
| III. Schülerexperimente | 28 |
| 1. Keimung von Pflanzensamen..... | 28 |
| 2. Pflanzenwachstum in der Hydrokultur | 28 |
| 3. Nährstoff- und Wasserverbrauch | 28 |
| 4. Aerober Biomasseabbau im Kompost..... | 28 |
| 5. Anaerober Biomasseabbau zu Wasserstoff | 28 |
| 6. Anaerober Biomasseabbau zu Methan | 28 |

I. Theoretische Vorbetrachtungen

1. Vertical Farming

Bis 2050 wird die Weltbevölkerung auf über neun Milliarden Menschen wachsen. Ausreichend Lebensmittel zu produzieren wird zur globalen Herausforderung. Vor allem, weil die Nachfrage nach Energie und nachwachsenden Rohstoffen steigen wird und sich die Folgen des Klimawandels noch vergrößern werden. [1]

Laut FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) haben sich extreme Klimaphänomene, wie beispielsweise extreme Hitze, Fluten und Wirbelstürme, in den Jahren 1990-2016 verdoppelt. Dazu kommt ein großes Ungleichgewicht in der Nahrungsverteilungssituation auf der Erde. Im Jahr 2017 galten 821 Millionen Menschen auf der Welt als unterernährt, das sind 10,9 % der Weltbevölkerung. Auf der anderen Seite stieg der Prozentsatz an übergewichtigen/fettleibigen Erwachsenen von 11,7 % (2012) auf 13,2 % (2016) an. Das bedeutet dass im Jahr 2017 mehr als 672 Millionen Erwachsene als fettleibig eingestuft wurden. [2]

Um dieses Ungleichgewicht zu bekämpfen und das Grundrecht der Menschen auf Nahrung zu garantieren müssen sich die Menschen mit neuen Möglichkeiten der Nahrungsmittelproduktion beschäftigen. Ein besonders hervorstechendes Konzept ist das sogenannte "vertical farming" (deutsch: vertikale Landwirtschaft) Dahinter steht der Gedanke von innerstädtischen hochhausartigen Gewächshäusern, in denen es durch den Einsatz von modernen Überwachungs- und Kontrolltechniken möglich ist, alle Arten von Pflanzen unter optimierten Bedingungen wachsen zu lassen. Das Ziel ist es, möglichst viel und oft das jeweilige Produkt zu ernten und im Gegenzug möglichst wenig Rohstoffe, Energie und Wasser einzusetzen und Transportwege zu minimieren.

Das Konzept des „vertical farmings“ wurde im großen Stil erstmals 2001 von der Columbia University in Manhattan New York City ausprobiert. Seitdem wurde das Konzept immer weiter entwickelt, so dass es heute verschiedene Ansätze für die Umsetzung gibt. [3]



Abbildung 1: Industrieller Anbau von grünem Salat

Das „**urban farming**“, bezeichnet vor allem den Umbau und die Nutzung von leerstehenden Hallen und Gebäuden direkt in der Stadt oder in der Umgebung. Diese werden so als Gewächshaus oder als Standort für Hydrokulturen nutzbar. [4]

Urbaner Gartenbau (urban gardening) ist die meist (kleinräumige) gärtnerische Nutzung städtischer Flächen innerhalb von Siedlungsgebieten oder in deren direktem Umfeld, zum Beispiel auf dem Dach von Hochhäusern. Die nachhaltige Bewirtschaftung der gärtnerischen Kulturen, die umweltschonende Produktion und ein bewusster Konsum der landwirtschaftlichen Erzeugnisse stehen im Vordergrund. [5]

Vor allem in Ländern und Stadtstaaten, die mit besonders kleiner Fläche und hoher Bevölkerungsdichte auf den Import von Lebensmitteln angewiesen sind, wird das „vertical farming“ immer weiter entwickelt. In Japan entstehen sogenannte **PFAL** (plant factory with artificial light), also extra eingerichtete Fabriken zur Produktion von Pflanzen. Es handelt sich dabei um thermisch isolierte Gewächshäuser mit eigenen (fast) geschlossenen Luft- und Wasserkreisläufen. Verschiedene Pflanzenkulturen werden hier in vertikal aufgebauten Anbauflächen gezüchtet. So können auf relativ geringer Grundfläche viele Nahrungsmittel angebaut werden. [6]

2. Photosynthese Kreislauf/Calvin- Kreislauf

Die Photosynthese ist der grundlegende Stoffwechselprozess auf der Erde, von ihr hängt das gesamte pflanzliche und tierische Leben ab. Der Anteil an Sonnenenergie, der unseren Planeten erreicht bzw. durch die Atmosphäre gelangt, wird dabei von chlorophyllhaltigen Pflanzen (und auch Bakterien) genutzt um aus Kohlenstoffdioxid und Wasser den Kohlenwasserstoff Glukose aufzubauen, dabei wird als Nebenprodukt Sauerstoff frei. [7]

Photosynthese

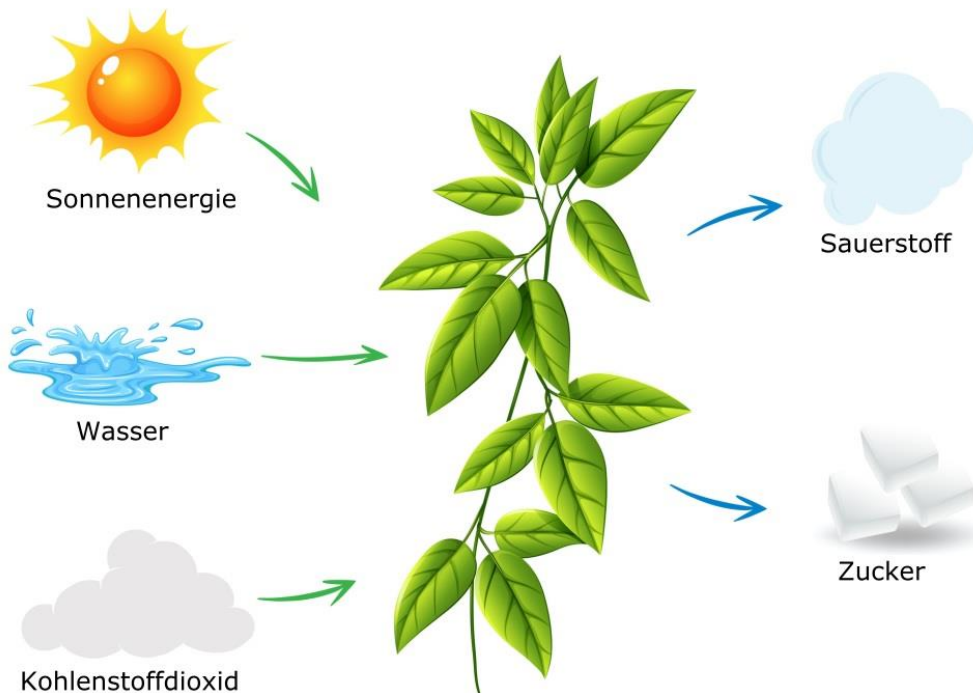


Abbildung 2: Übersicht Photosynthese Kreislauf

Auf der Erde gibt es einen Kohlenstoffkreislauf, d. h. dass die Pflanzen genau so viel CO_2 für die Aufbauprozesse verwenden, wie bei den dazugehörigen Abbauprozessen entstehen. Durch die zusätzliche Erzeugung von CO_2 bei der Verbrennung von Kohle und Erdöl zur Energieerzeugung wird der Kreislauf gestört und es kommt zu einer Erhöhung der CO_2 -Konzentration in der Atmosphäre, welcher nicht mehr von Pflanzen ausgeglichen werden kann. In der Folge kann es neben den bereits bestehenden Umweltschäden auch zu noch nicht abschätzbaren Folgen für die Pflanzenwelt kommen und letztlich auch für den Menschen.

Die Photosynthese findet in speziellen Zellorganellen statt, die **Chloroplasten** (vgl. Abbildung 3) genannt werden. Diese befinden sich in den Blättern der Pflanzen.

Chloroplast

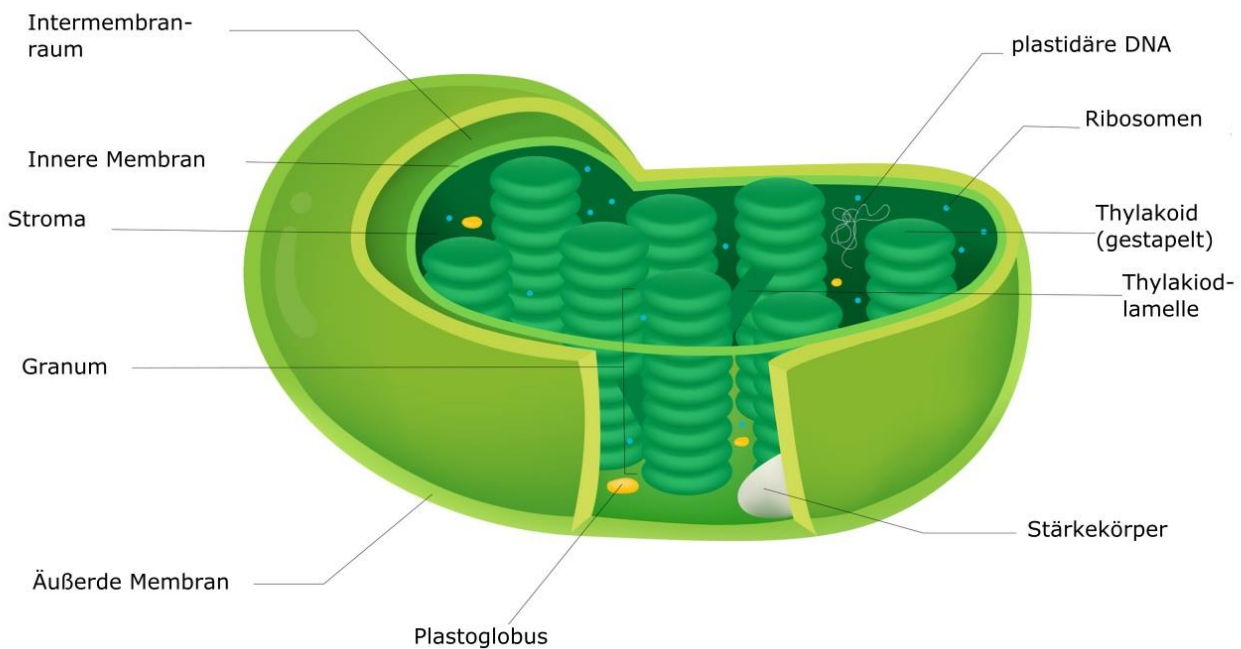


Abbildung 3: Aufbau der Chloroplasten grüner Pflanzen

Die Photosynthese lässt sich grob in zwei Abschnitte unterteilen.

Zum einen in die **lichtabhängige Reaktion**, welche in der Thylakoidmembran der Chloroplasten stattfindet. Es handelt sich dabei im Grunde um Redoxreaktionen, welche durch Proteine katalysiert und durch die absorbierte Lichtenergie angetrieben werden.

In Abbildung 4 werden die komplexen Vorgänge des lichtabhängigen Schrittes der Photosynthese dargestellt.

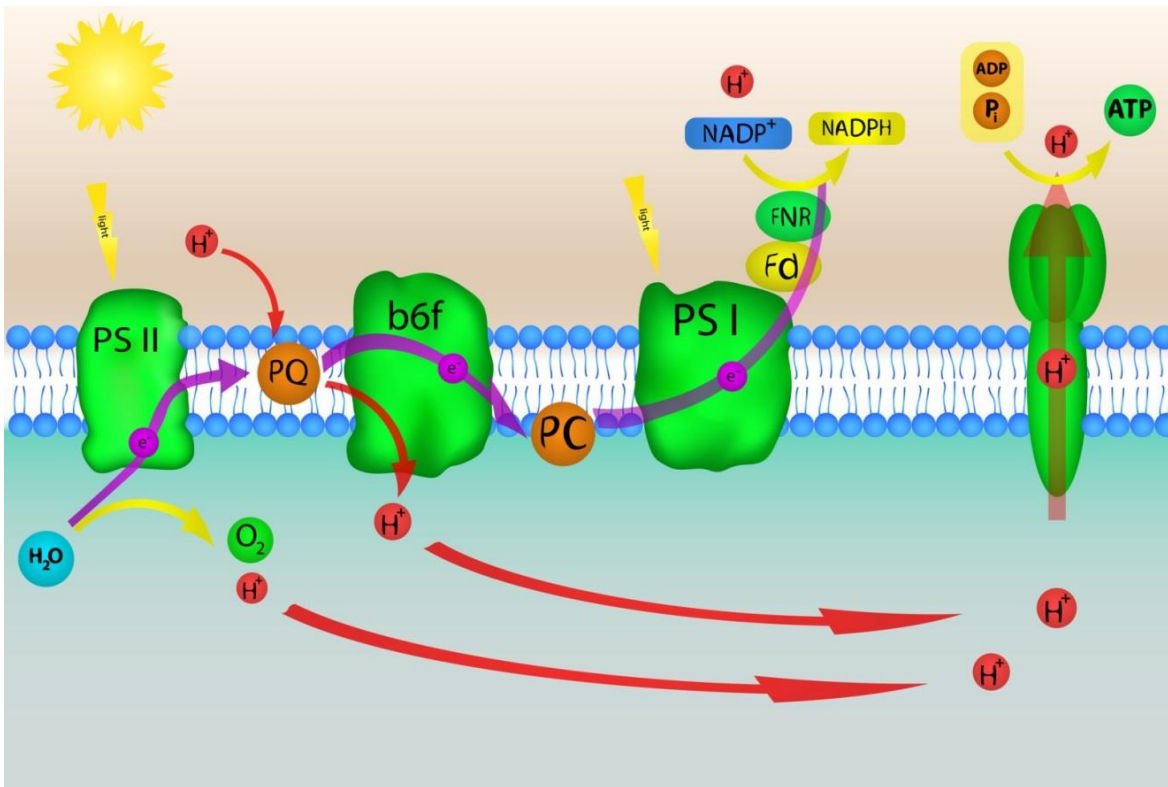


Abbildung 4: Ablauf der lichtabhängigen Reaktion in der Thylakoidmembran

Das auf das Blatt treffende Licht wird von Molekülen im Photosystem II (**PS II**) aufgenommen. Die dabei absorbierte Energie wird in Form von übertragenen delokalisierten Elektronen zum reaktiven Zentrum der Chlorophyllmoleküle geleitet. Die entstandene Elektronenlücke wird geschlossen indem das Chlorophyll, durch die Energieanregung in der Lage ist, **Wassermolekülen** Elektronen (e^-) zu entziehen. Dabei werden zwei Wassermolekülen vier Elektronen entzogen, so dass sich in der Folge zwei Sauerstoffatome zu einem Sauerstoffmolekül (O_2) verbinden und vier Protonen (H^+) frei werden. [8]

Durch das Licht erfolgt also eine Anregung der reaktiven Zentren der Chlorophyllmoleküle. Die absorbierte Energie bewirkt die Übertragung von Elektronen auf ein Akzeptormolekül (Plastochinon, **PQ**). Der Akzeptor wird reduziert, das Chlorophyllmolekül oxidiert. Anschließend kann das oxidierte Chlorophyll wieder reduziert werden. Die Elektronen zur Regeneration kommen aus der photolytischen Spaltung des Wassers durch das PS II. Die Elektronen werden vom Akzeptormolekül weiter übertragen und wandern so durch eine Kette von Redoxsystemen. Man nennt eine solche Anordnung eine Elektronentransportkette. [7, 8]

Eines dieser Redoxsysteme, der **Cytochrom b_6 -f Komplex** reicht durch die Membran von der Innenseite des Thylakoiden bis zum Stroma. Durch dieses Übertragungssystem können sowohl **Protonen** in den Thylakoidinnenraum als auch **Elektronen** auf das nächste Transportmolekül (Plastocyanin, **PC**) übertragen werden. [8]

Das letzte Redoxsystem der Kette überträgt die Elektronen auf das Reaktionszentrum des Photosystems I (**PS I**) Dieses kann aber nur Elektronen aufnehmen, wenn hier vorher durch Lichtanregung (ähnlich wie bei PS II) eine Elektronenlücke entstanden ist.

Das durch die Lichtenergie angeregte Reaktionszentrum (des PS I) überträgt ein Elektron über mehrere Eisen-Schwefel-Zentren hin zum Ferredoxin (**FD**). Am Ende der Elektronenkette nutzt das Enzym Ferredoxin-NADP⁺ Oxidoreduktase (**FNR**) zwei Elektronen und ein Proton um **NADP⁺** zu **NADPH** umzuwandeln.

Im Thylakoidinneraum werden bedingt durch die Photolyse der Wassers Protonen freigesetzt und im Thylakoidaußenraum werden durch die Bildung des $\text{NADPH} + \text{H}^+$ Protonen gebunden. Ein Ausgleich der Protonenkonzentration wird durch Tunnelproteine in der Membran erreicht, an die das Enzym ATP Synthase angekoppelt ist, so dass die Energie der im Konzentrationsgefälle wandernden Protonen (H^+) zum Aufbau von Adenosintri-phosphat (**ATP**) aus Adenosindiphosphat (**ADP**) dienen kann. [7, 8, 9]

Den zweiten Abschnitt der Photosynthese bildet die **lichtunabhängige oder auch Dunkelreaktion**. Nach dem US-amerikanischen Chemiker Melvin Calvin auch Calvin-Zyklus genannt. Dieser findet im Stroma der Chloroplasten statt.

Calvin Zyklus

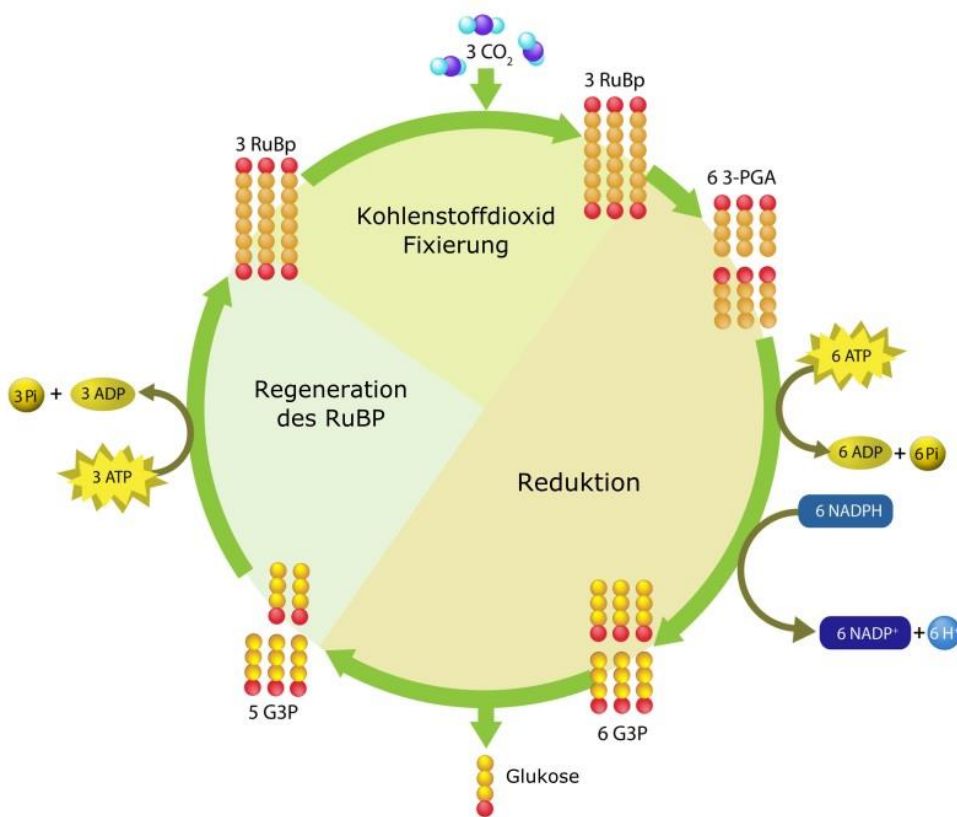


Abbildung 5: Der Calvin Zyklus – Glukoseaufbau

Der Calvin Zyklus lässt sich grob in drei Abschnitte einteilen.

Im ersten Schritt wird Kohlenstoffdioxid durch einen Akzeptor (Ribulose-1,5-bisphosphat) aufgenommen und durch das Enzym RuBP-Carboxylase gespalten, so dass 3-Phosphoglycerinsäure (3PGA) als Zwischenprodukt entsteht. Im zweiten Schritt kommen die Produkte aus dem ersten Teil der Photosynthese zum Einsatz. Dabei wird 3PGA durch ATP und $\text{NADPH} + \text{H}^+$ zu 3-Phosphoglycerinaldehyd reduziert. Dieses Kohlenhydrat mit drei Kohlenstoffatomen kann in Folgereaktionen zu Glukose umgebaut werden. Im dritten Schritt wird der Akzeptor für das Kohlenstoffdioxid zurückgebildet. Dabei werden die im zweiten Schritt nicht umgebauten Kohlenwasserstoffe wieder zu Ribulose-1,5-bisphosphat umgelagert, wobei wieder Energie in Form von ATP benötigt wird. Dies geschieht durch die Ribose-5-Phosphat-Kinase. [7]

3. Hydrokulturen

Um effizient Pflanzen im urbanen Raum anbauen zu können, wird auf das Prinzip der Hydrokulturen zurückgegriffen.

Hydrokultur, Wasserkultur, Hydroponik ist dabei eine Bezeichnung für Methoden der Kultivierung von Nutz- und Zierpflanzen in Behältern mit Nährlösungen anstelle des natürlichen Bodens als Nährstoffträger. Der Vorteil gegenüber der normalen Erdkultur liegt darin, dass das Substrat für die Ernährung der Pflanzen für die jeweiligen Zwecke und Objekte genau dosierbar ist und die Versorgung leicht automatisiert werden kann. [10]

Die Pflanzen wachsen also nicht in der Erde, sondern in einem anorganischen Substrat, oder völlig ohne Substrat. Im letzteren Fall hängen die Wurzeln der Pflanzen frei und sind teilweise oder ganz in eine Nährlösung eingetaucht. Hier spricht man von Hydroponik. Wird hingegen ein Substrat verwendet, wird dadurch die Nährlösung zu den Wurzeln geleitet, diese Form der Nährstoffzufuhr wird Hydrokultur genannt. [11]

Es existieren mehrere Methoden der Nährstoffzufuhr für Hydrokulturen:

In der **Deep Water Culture** (DWC) werden die Wurzeln der Pflanzen direkt und kontinuierlich mit Wasser, sowie den darin enthaltenen Nährstoffen und Mineralien versorgt. Es wird sichergestellt, dass sich die Wurzeln permanent im Wasser befinden, deshalb müssen sie ständig mit Sauerstoff versorgt werden, da die Pflanzen sonst ersticken würden. [12]

Beim **Ebbe und Flut System** stehen die Pflanzen in Töpfen mit einem Substrat (z. B. Kokosraspeln oder Blähton). Diese Töpfe sind so in einem Becken angebracht, dass die Wurzeln der Pflanzen in der Luft hängen. Nun wird regelmäßig aus einem Vorratstank eine Nährlösung zu gepumpt und wieder ab gepumpt. Auf diese Weise werden die Pflanzen mit Nährstoffen versorgt, ohne der Gefahr ausgesetzt zu sein unter Sauerstoffmangel zu ersticken. Allerdings ist zu beachten dass durch den diskontinuierlichen Betrieb die Nährstoffkonzentration im Vorratstank (stark) schwankt, was sich gegebenenfalls negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken kann. [13]

Bei der **Nährstoffilmtechnik** (engl.: Nutrient Film Technique, NTF) wird ein schmaler Wasserfilm, welcher alle wichtigen Nährstoffe enthält, an die Wurzeln geleitet. Die Wurzeln liegen dabei nicht vollständig im Wasser. Die Nährlösung kommt aus einem Vorratstank und wird im Kreislauf geführt. Diese Technik kommt also ohne Substrat aus. [14]

Das **Tropfsystem** gibt es als kontinuierliche und diskontinuierliche Variante. In beiden Fällen sind die Pflanzen wieder in einem anorganischen Substrat verankert. Es gibt einen Tank in dem die Nährlösung ständig mit Sauerstoff angereichert wird. Die Nährlösung wird dann über ein Pumpsystem von oben zur Wurzel jeder einzelnen Pflanze zu getropft. Auf diese Weise kann die Pflanze alle benötigten Nährstoffe aufnehmen. Im kontinuierlichen Betrieb wird der Anteil an Nährlösung, der nicht aufgenommen wurde in den Tank zurückgeführt. [15]

Aeroponic ist eine Methode die ohne fließendes Wasser als Nährlösung auskommt. In abgeschlossenen Aeroponikkammern werden die zum Pflanzenwachstum benötigten Nährstoffe, sowie der Sauerstoff, CO₂ und das Wasser als Nebel in die Kammer gesprüht. In diesen abgeschlossenen Systemen ist es relativ einfach die einzelnen Parameter beim Pflanzenwachstum zu überwachen und zu kontrollieren. Die industrielle Technik der Aeroponic entstand erst in den letzten 30 Jahren und ist eine vergleichsweise junge Technologie. [16]

4. Substrate

Das Substrat in Hydrokulturen besteht aus einem anorganischen Material und soll den Pflanzen Halt als Ersatz für die fehlende Erde bieten. Dabei muss es bestimmte Schlüsseleigenschaften aufweisen: [17]

- Es muss strukturstabil sein, d. h. es darf seine äußere und innere Struktur auch bei längerem Gebrauch nicht ändern.
- Es darf keine Teile enthalten, die sich zusammen mit der Nährlösung zersetzen, die entstehenden Zersetzungs- und Fäulnisreaktionen könnten die Pflanzen schädigen. Deshalb werden auch fast ausschließlich anorganische Substrate verwendet.
- Es darf keine Stoffe enthalten, die von der Nährlösung oder den Wurzelausscheidungen angegriffen werden, in diesem Fall würde die Gefahr bestehen, dass die Nährlösung verändert wird.
- Es soll den Kapillareffekt unterstützen, durch den Wasser und Sauerstoff an die Wurzeln gelangen.
- Die Korngröße sollte an ein starkes oder schwaches Wurzelwachstum angepasst werden.
- Das Eigengewicht soll dem Pflanzenwachstum entsprechen, um den Pflanzen einen sicheren Halt zu gewährleisten.

Gängige Substrate sind zum Beispiel:

- Blähton
- Lavagestein
- Quarzkies
- Bimskies



Abbildung 6: Blähtonkugeln als Substrat

5. Nährstoffe

Mineralische Nährstoffe sind essentiell für viele verschiedene Aufbauprozesse der Pflanzen, welche sich an die Photosynthese anschließen und auch für die Photosynthese selbst.

Stickstoff ist als Bestandteil von Aminosäuren und Proteinen für das Wachstum von Pflanzen (und auch von Tieren) unbedingt erforderlich. Höhere Pflanzen absorbieren Stickstoff aus der sie umgebenden Erde in Form von Nitrationen (NO_3^-). Soweit sie dazu fähig sind aber auch in Form von Ammoniak (NH_3) oder Ammoniumionen (NH_4^+).

Bevor das Nitrat für die Aminosäuresynthese eingesetzt werden kann muss es zuerst zu Nitrit bzw. zu Ammoniak reduziert werden. Das Enzym welches diese Umwandlung katalysiert nennt man Nitratreduktase. Die Nitratreduktion findet in den Wurzeln und bei Dunkelheit in den Blättern der Pflanze statt. Die dafür notwendige Energie stammt aus der Umwandlung von Kohlenhydraten, damit ist die Stickstoffumwandlung nur indirekt von der Photosynthese abhängig.

In weiteren Schritten wird der Ammoniak auf Glutamat übertragen, was zur Bildung des Amids Glutamin führt. Im Glutamin wird der Stickstoff gespeichert. Anschließend kann es über die Glutamat-Synthetase wieder in Glutamat umgewandelt werden. Der sogenannte Glutamin-Glutamat-Zyklus bildet über das Zwischenprodukt α -Ketoglutarat die Verbindung zum Citrat Zyklus im Mitochondrium. [9]

Schwefel wird von Pflanzen in Form von Sulfationen (SO_4^{2-}) aufgenommen. Für die Umsetzung von Sulfationen ist ATP aus dem lichtabhängigen Schritt der Photosynthese von entscheidender Bedeutung. Das Enzym ATP-Sulfurylase katalysiert die Umsetzung von ATP mit SO_4^{2-} zu Adenosinphosphosulfat (APS) und bindet so den Schwefel für weitere Prozessschritte. Die photosynthetische Assimilation von Sulfat in den Chloroplasten wird durch das Vorhandensein von **Magnesium**ionen (Mg^+) und einen alkalischen PH-Wert aktiviert.

In einer weiteren Reaktion wird das APS wieder durch den Einsatz von ATP aktiviert und das Enzym APS Sulfotransferase kann das gebundene Sulfat auf eine Carrierprotein-Thiogruppe übertragen.

Am Ende des gesamten Schwefelmetabolismus steht der Aufbau der Aminosäuren Cystein und Methionin. [9]

Kaliumionen (K^+) sind ein wichtiger Bestandteil bei Transportvorgängen in Pflanzen.

Die im Zuge des Calvin-Zyklus hergestellte Glukose wird zum Beispiel weiter zu Saccharose umgewandelt. Saccharose ist eine wichtige Transportverbindung innerhalb der Pflanze um die gebildeten Kohlenwasserstoffe zu den einzelnen Zellorganellen zu transportieren, wo sie wieder in Glukose und Fructose gespalten wird, um wiederum Stärke zu synthetisieren oder zum Aufbau von Aminosäuren. Der Transport von Nährstoffen in den Pflanzen erfolgt durch das Phloem (oder Siebteil).

Kaliumionen sind ein Bestandteil des Transportvorgangs von Saccharose durch Zellmembranen. Niedrige Konzentrationen an Kaliumionen stimulieren die Funktion von H^+ Transportpumpen und die Wasseraufnahme von Zellen beim Herstellen eines osmotischen Gleichgewichtes. [8]

Phosphor ist ein wesentlicher Bestandteil des energiereichen Triphosphates ATP. Bei der lichtabhängigen Reaktion der Photosynthese wird Adenosindiphosphat in Adenosintriphospat umgewandelt.

Anorganischer Phosphor ist also ein wichtiger Grundstoff um die Schlüssel und Endprodukte der Photosynthese überhaupt synthetisieren zu können und muss ständig und in ausreichender Menge zugeführt werden. Auch die weiteren Reaktionsschritte, die sich an die Photosynthese anschließen (z. B. die Umwandlung von Glukose zu Stärke oder Saccharose) benötigen Energie, welche in Form von ATP bereitgestellt wird.

6. Beleuchtung

Die Photosynthese war und ist nur durch die Lichtenergie möglich, die unseren Planeten erreicht. Diese entstehen durch Reaktionen im Inneren unserer Sonne (Stern der Spektralklasse G2V). Licht kann, sowohl in Form von elektromagnetischen Wellen, als auch als Teilchen (Photonen) beschrieben werden.

Um die Rolle des Lichtes bei der Photosynthese zu verstehen, wollen wir das Licht als elektromagnetische Welle betrachten. Eine elektromagnetische Welle kann man durch ihre die Wellenlänge bzw. durch ihre Energie charakterisieren.

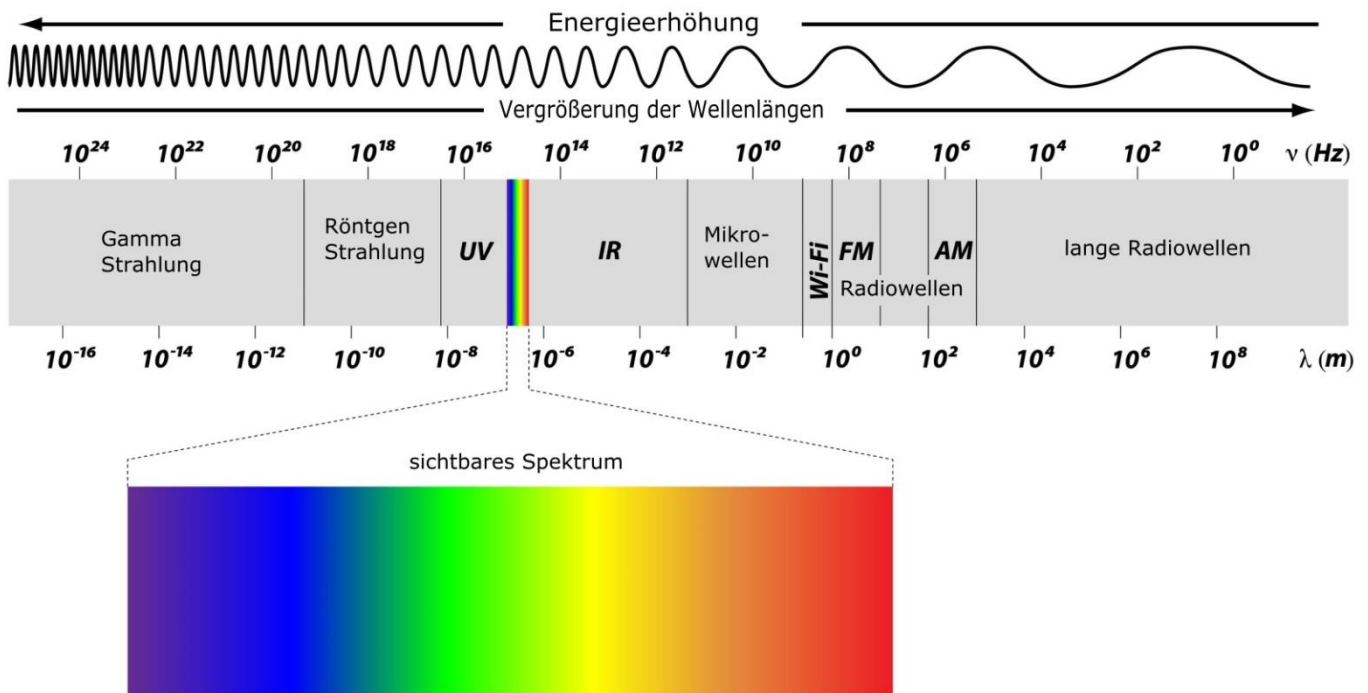


Abbildung 7: Wellenlängenspektrum des Lichts

Die elektromagnetischen Wellen mit einer Wellenlänge zwischen 380 nm bis 780 nm werden von unserem Auge als „sichtbares Licht“ wahrgenommen. (vgl. Abbildung 7) Die Photosynthese benötigte Wellenlängen zwischen 430 nm und 700 nm. Somit liegt das nutzbare Spektrum der Pflanzen in dem für uns sichtbaren Lichtspektrum.

Es gibt viele verschiedene Farbstoffe in den Blättern von Pflanzen. Der wichtigste natürliche Farbstoff ist das Chlorophyll, wobei in der folgenden Erklärung zwischen Chlorophyll *a* und Chlorophyll *b* unterschieden werden soll.

Chemisch gesehen ist Chlorophyll ein Chelat-Komplex mit einem Magnesium-Ion als Zentralion. Die Unterscheidung in verschiedene Chlorophyllmoleküle erfolgt aufgrund verschiedener Seitenketten.

Chlorophyll bildet das Reaktionszentrum im Photosystem I und II in den Thylakoidmembranen der Chloroplasten. Das Chlorophyll setzt die eintreffende Lichtenergie photochemisch um, dabei werden Elektronen in einen angeregten Zustand überführt. Es gibt zwei Anregungszustände in einem Chlorophyllmolekül. Rotes Licht (vgl. Abbildung 8) hebt das Elektron in den 1. Anregungszustand.

Das Elektron hat jetzt also mehr Energie als im Grundzustand. Bei der Rückkehr in den Grundzustand gibt es diese Energie in Form von Wärme, Fluoreszenzlicht oder durch die Umsetzung in einer fotochemischen Reaktion wieder ab. Blaues Licht ist energiereicher und hebt das Elektron in den Anregungszustand 2, dieser kann aber nur für eine sehr kurze Zeit gehalten werden, ehe das Elektron, unter Abgabe von Wärmeenergie, in den Anregungszustand 1 fällt.

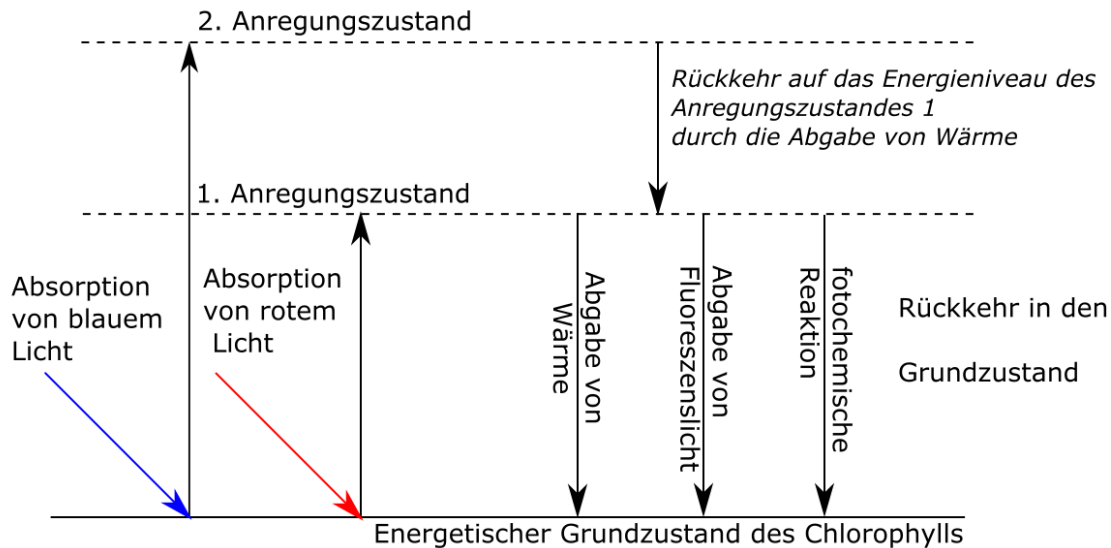


Abbildung 8: Angeregte Zustände des Chlorophylls [7]

Damit ist es also eher unbedeutend ob die Pflanze nur mit rotem oder nur mit blauem Licht bestrahlt wird, die Photosynthese kann in jedem Fall stattfinden. Durch die Kombination werden jedoch beide Mechanismen ausgenutzt.

Das Absorptionsspektrum von Chlorophyll a und b ist in Abbildung 9 dargestellt.

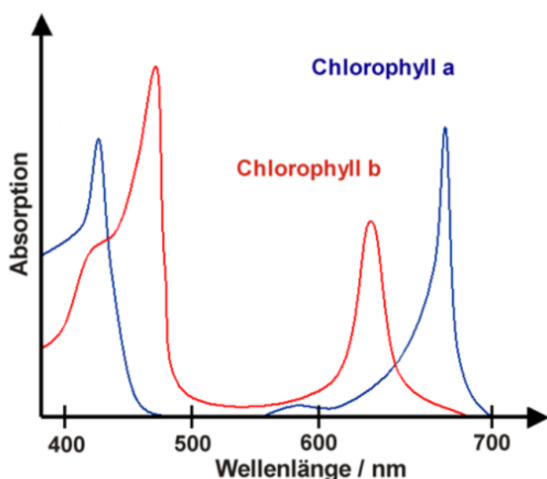


Abbildung 9: Soretbande Chlorophyll a und b

Hier ist zu erkennen, dass das Chlorophyll die meiste Lichtenergie im Bereich des roten und des blauen Lichtes absorbiert. Der Rest des einfallenden Lichtes wird ungenutzt reflektiert. Dieses Licht hat eine Wellenlänge zwischen 500 nm und 600 nm, damit erscheint das Pflanzenblatt also grün.

Im Zuge des Vertical Farmings und der Optimierung des Energieeinsatzes werden heute LED Lampen eingesetzt um die Pflanzen mit Lichtenergie zu versorgen. Die LED Technik macht es möglich Licht in gezielten Wellenlängenbereichen zu erzeugen. Somit muss weniger Energie eingesetzt werden. (Anders als bei Glühlampen, die ein breites Lichtspektrum erzeugen und außerdem sehr viel der eingesetzten Energie als Wärme abgeben.)

Durch die Kombination von rotem und blauem Licht (siehe Abbildung 10) werden beide Mechanismen der Anregung ausgenutzt, deshalb erscheinen die Lampen, mit denen Pflanzen bestrahlt werden meistens violett.

Das weiße Licht welches trotzdem noch eingesetzt wird, dient zur Beurteilung der Blatt- und Blütenfarbe.



Abbildung 10: künstliches LED Licht zum energieeffizienten Pflanzenwachstum

7. Kompostierung

Die Kompostierung (Beispiel: Abbildung 11) ist Teil der **aeroben** stofflichen Verwertung von natürlich-organischen biochemisch verwertbaren Abfällen.

Kompost (lat.: compositum – „Zusammengesetztes“) ist ein aus tierischen und pflanzlichen Abfällen (z. B. Kleintiermist, Laub, Gemüseabfälle) erzeugtes Verrottungsprodukt. [18]

Als Rotte wird der Abbau organischer Materialien durch Bakterien oder Pilze bezeichnet.



Abbildung 11: Typischer Gartenkompost

Grüne Pflanzen nehmen Nährstoffe aus ihrer Umgebung auf und wandeln diese in komplexere Verbindungen um. Lebewesen, die nicht zur Photosynthese fähig sind, benötigen diese Verbindungen und die darin enthaltene Energie um eigene Aufbauprozesse zu betreiben. Die organischen Reststoffe, welche nicht umgewandelt werden (können), bzw. die Abbauprodukte werden für die Kompostierung in vier bedeutsame Obergruppen eingeteilt: [19]

1. Kohlenhydrate
2. Fette, Öle
3. Proteine
4. Lignine

Die mikrobiellen Stoffwechselprozesse, die während der Kompostierung ablaufen, sind Teil des globalen Stoffkreislaufes. Das heißt die oben genannten Stoffe sind die Ausgangsstoffe für die Stoffwechselreaktionen der Mikroorganismen in der Rotte. Der erreichbare Abbaugrade steigt hierbei von Lignin, über Zellulose, Fette und Proteine bis zur Stärke und Glukose.

Die von den Organismen gebildeten Reststoffe können über drei Hauptwege abgebaut werden: Glukose und andere Kohlenhydrate werden (vollständig) zu CO_2 und Wasser abgebaut. Proteine werden in ihre Aminosäuren gespalten und zu CO_2 und primären Amininen unter Freisetzung von Ammoniak abgebaut.

Bei Fetten und Wachsen wird das Glycerin durch Einschleusen in den Hauptabbauweg der Glukose und durch β -Oxidation der Fettsäuren abgebaut. [19]

Für die Kompostierung sind 6 Gruppen von Mikroorganismen von Bedeutung: Bakterien, Hefen, Aktinomycceten, Algen, Pilze und Protozoen. [20]

Zusätzlich zu dem Vorhandensein von Mikroorganismen sind die bei der Kompostierung ablaufenden biochemischen Prozesse und Reaktionen von verschiedenen Faktoren abhängig, bzw. können damit gesteuert werden.

Die **Temperatur** während der Verrottung dient als wesentlicher Parameter um den Verlauf der Abbauprozesse zu charakterisieren. Generell kann die Kompostierung in vier Phasen eingeteilt werden:

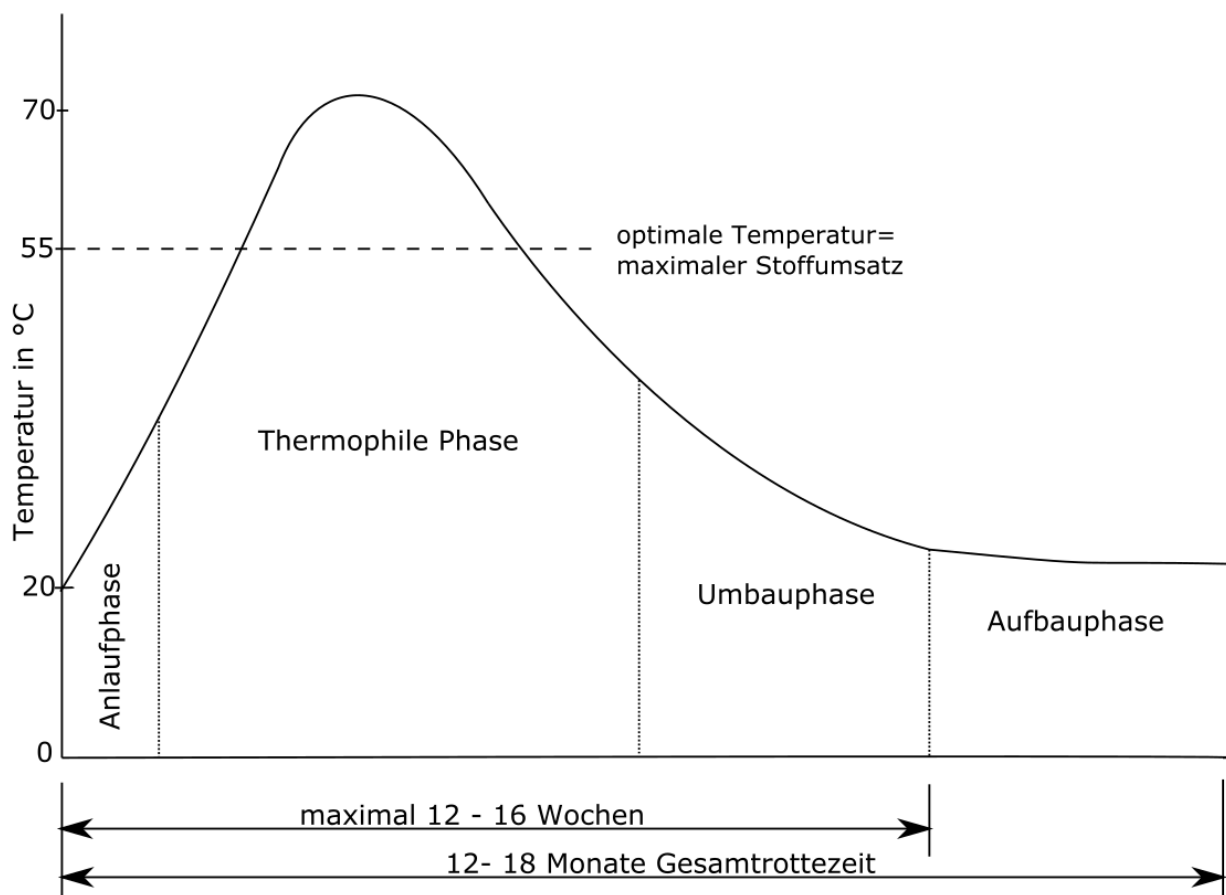


Abbildung 12: Temperaturverlauf der aeroben Kompostierung [21]

In der **Anlaufphase** entwickeln sich vor allem mesophile Bakterien, die Temperatur in der Rotte beträgt 10°C bis 45°C. Diese Phase dauert zwischen 12 und 24 Stunden. Mit zunehmender Temperatur beschleunigt sich die Vermehrung der mesophilen Bakterien, die anschließend absterben oder Dauerformen (Sporen) bilden. Die Stoffwechselprozesse erhöhen die Temperatur in der Rotte immer weiter und fördern die Bildung von thermophilen Bakterien in einem Temperaturbereich von 25°C bis 80°C. Das Temperaturoptimum der Bakterien in der **thermophilen Phase** liegt bei 50°C bis 55°C. Die Bakterien vermehren sich immer weiter, was zur Folge hat, dass die Temperaturen auf bis zu 80°C steigen. Beim Erreichen derartiger Temperaturen können auch die meisten thermophilen Bakterien nicht mehr überleben und sterben langsam ab.

Der Abbauprozess kommt also zum Erliegen, was zum Absinken der Temperatur führt. Das Erreichen von Temperaturen über 80°C hat den Nebeneffekt, dass es auch zur Abtötung pathogener Keime kommt und damit zur Hygienisierung der Gesamttrotte.

Nachdem die thermophilen Bakterien die meisten leicht abbaubaren Substanzen veratmet haben bzw. durch die erhöhten Temperaturen abgestorben sind, sinkt die Temperatur der Rotte unter 45°C. In dieser anschließenden **Umbauphase** erfolgt eine Umbildung der Mikroorganismenpopulation wieder hin zu mesophilen Organismen (allerdings andere als in der Anlaufphase). Diese sind in der Lage die höhermolekularen Stoffe umzusetzen. Das Ende der Umbauphase ist in der nach 12 bis 16 Wochen Rottezeit erreicht.

In der letzten Phase, der **Aufbauphase**, ist der Hauptteil der verwendbaren Stoffe umgesetzt. Die übrig gebliebenen nicht verwertbaren Verbindungen bzw. Abbauprodukte werden als Huminstoffe bezeichnet. Eine genaue Charakterisierung dieser Stoffe ist nicht ohne weiteres möglich. Es handelt sich je nach Ausgangsmaterial, Mikroorganismen und Jahreszeit im Allgemeinen um hochmolekulare Kohlenstoffquellen, die nur cometabolisch abbaubar sind. Dies geschieht über einen langen Zeitraum durch z. B. Pilze. [19, 21]

Die Aktivität von Mikroorganismen ist neben der Temperatur auch abhängig vom **PH-Wert**. Generell ist ein PH- Wert im neutralen Bereich (PH= 7) vorteilhaft, da dieser den natürlichen Verhältnissen in den Zellen der meisten Bakterien entspricht. Untersuchungen haben ergeben, dass ein leicht alkalischer PH-Wert zu einer Intensivierung der Verrottung führen kann. Die meisten Mikroorganismen tolerieren aber einen PH- Wert von 5 bis 9. Außerdem ist der PH-Wert des Gesamtsystems natürlich auch abhängig von den eingesetzten Ausgangsstoffen. [20]

Wasser ist essentiell für die Rottevorgänge im Kompost. Bakterien können Nährstoffe nur in gelöster Form über eine semipermeable Membran aufnehmen. Bei einem zu niedrigen Wassergehalt, unter 25 – 30 % kommen daher alle Abbauprozesse langsam zum Erliegen. Unter 10 % kommt es zum völligen Stillstand der Verrottung. Das Optimum des Wassergehaltes liegt zwischen 45 – 65 % - abhängig von der Struktur des Rottegutes. [20]

Eng verbunden mit dem Wassergehalt des Komposts ist die Versorgung mit **Sauerstoff** bzw. das **Porenvolumen**. Bei aeroben Verfahren muss die ausreichende Belüftung gesichert werden, da der Luftsauerstoff ein wichtiger Reaktionspartner bei den Abbau-/ Stoffwechselprozessen der Bakterien und Pilze ist.

Ein zu hoher Wassergehalt führt zu einer Verstopfung der Poren und somit zu einer unzureichenden Belüftung der Rotte. Deshalb sind große Poren förderlich um überschüssiges Wasser (z. B. nach Regen) wieder aus dem Kompost auszutreiben. Die Belüftung verhindert außerdem einen Wärmestau im Kompost. Das bei der Veratmung entstehende CO₂ kann abgeführt werden, um die hohe Aktivität der Mikroorganismen aufrecht zu erhalten. Bestandteile mit großer Saugfähigkeit und hoher Strukturstabilität (Rinde, Stroh) ermöglichen eine konstante Belüftung und gleichzeitig einen hohen Wassergehalt. [19]

Zusätzlich zum Wasser müssen die Mikroorganismen natürlich auch mit Nährstoffen versorgt werden, damit sie in der Lage sind ihre Lebensfunktionen und Vermehrungsprozesse aufrecht zu erhalten. Besonders kritisch ist das **C/N-Verhältnis**. Die Versorgung mit anderen Nährstoffen (P, S, K, Ca, Mg usw.) ist im Allgemeinen gesichert. Ein C/N-Verhältnis der Ausgangsstoffe der Rotte von 20:1 bis 35:1 hat sich in Versuchen als besonders günstig erwiesen. Ein zu hohes Verhältnis verzögert den Abbauprozess aufgrund des Stickstoffmangels. Ein zu niedriges Verhältnis führt zu Stickstoffverlusten, was letztlich die Qualität der Rotteprodukte herabsetzen kann. [22]

8. Erzeugung von Biomethan

Die Umsetzung der durch die Photosynthese erzeugten Biomasse zu Methan und Wasserstoff erfolgt durch mesophile bzw. thermophile Bakterien, die überall in der Natur vorkommen. Diese Umsetzung von Biomasse wird im Allgemeinen als **Fermentation** bezeichnet. Die eingesetzten Bakterien (z.B. *Methanobacterium*, *Methanococcus* und *Methanosarcina* [23]) zersetzen die ihnen angebotene Biomasse (Glukose, Cellulose, Fette etc.) um selbst Energie für ihre lebenserhaltenden Prozesse und die Vermehrung umzuwandeln. Dabei entstehen wiederum Abbauprodukte, wobei der gasförmige Anteil von uns als Biogas bezeichnet wird. Findet diese Umsetzung unter Luftabschluss statt, spricht man von **anaerober** Fermentation oder Gärung.

Biogas hat je nach eingesetztem Verfahren der Gewinnung und eingesetzter Biomasse unterschiedliche Beschaffenheit. Wir unterscheiden prinzipiell zwischen: [24]

Klärgas (Faulgas) ist das durch anaerobe Stabilisierung von Klärschlamm aus der (kommunalen) Abwasserreinigung gewonnene Biogas.

Biogas aus industrieller Abwassereinigung, welches durch den anaeroben Abbau von organisch hochkonzentrierten Abwässern entsteht.

Biogas aus landwirtschaftlichen Reststoffen durch die anaerobe Umsetzung von tierischen Exkrementen.

Biogas aus Abfallvergärung wird durch die Stabilisation von organischen Siedlungsabfällen (Biomüll) gewonnen.

Als **Deponiegas** werden die im Müllkörper durch mikrobielle Abbauprozesse entstehenden gasförmigen Stoffwechselprodukte bezeichnet, einschließlich der aus dem abgelagerten Müll in die Gasphase übergegangenen Stoffe.

Während des Fermentationsprozesses im Bioreaktor wird die Biomasse hauptsächlich in Methan, Kohlenstoffdioxid, Wasser, Schwefelwasserstoff und Ammoniak umgewandelt.

Eine typische Zusammensetzung von Biogas findet sich in der folgenden Tabelle [25]:

| Bestandteil | Anteil | Durchschnitt |
|-------------------------------|---------------|---------------------|
| Methan in Vol.-% | 45 bis 70 | 60 |
| Kohlenstoffdioxid in Vol.-% | 25 bis 55 | 35 |
| Stickstoff in Vol.-% | 0,01 bis 5 | 1 |
| Sauerstoff in Vol.-% | 0,01 bis 2 | 0,3 |
| Schwefelwasserstoff in Vol.-% | 0,1 bis 3 | 0,05 |
| Thioalkohole in ppm | 0,1 bis 30 | 0,1 |
| Ammoniak in ppm | 0,1 bis 2,5 | 0,7 |
| Aromaten (BTX) in ppm | 0,1 bis 5 | 0,1 |
| Siloxane in ppm | 0,1 bis 5 | 0,1 |
| Wasser in Vol.-% | 2 bis 4 | 3,1 |

Für die weitere Verwendung muss das Biogas aufbereitet werden. Dafür muss zunächst der Schwefelwasserstoff mit geeigneten Prozessen entfernt werden, da dieses Gas extrem korrosiv und toxisch ist. Dies geschieht durch Gas- oder Flüssigphasenoxidation oder Adsorption bzw. Absorption. Im Folgenden kann der Methangehalt weiter erhöht werden, indem die Restbestandteile durch Verdichtung oder Gaswäsche entfernt werden. Das Methan kann anschließend direkt in das städtische Gasnetz eingespeist oder in Blockheizkraftwerken zur Stromumwandlung genutzt werden.

9. Erzeugung von Biowasserstoff

Das durch die anaerobe Fermentation gewonnene Methan kann in einem weiten Prozessschritt, dem sogenannten **Dampfreformieren** (engl.: Steam Reforming) zu Wasserstoff umgewandelt werden.

Dabei handelt es sich um ein industrielles Verfahren zur allgemeinen Umsetzung von Methan (nicht nur von Biomethan) zu Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid.

Diese Umsetzung erfolgt über folgende Prozessschritte:

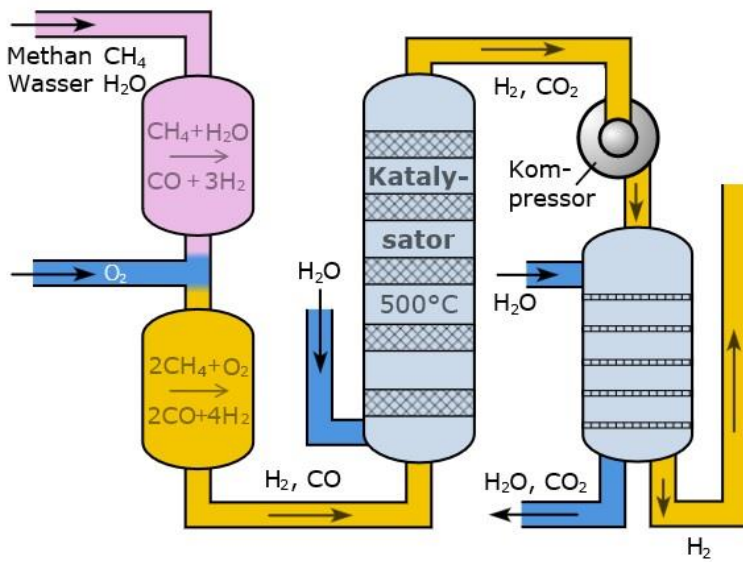
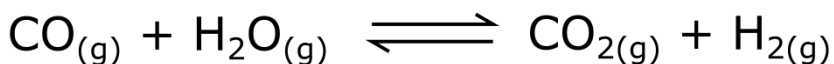
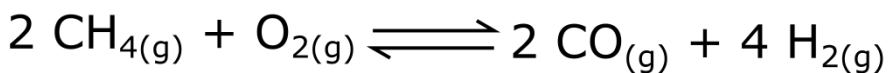
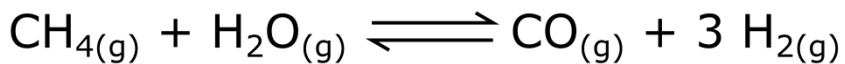


Abbildung 13: Verfahrensfließbild Steam Reforming



Wasserstoff kann außerdem auch **direkt über anaerobe Fermentation** gewonnen werden. Dafür kommen heterotrophe oder photoheterotrophe Bakterien zum Einsatz. Diese Bakterien kommen überall in der Natur vor (Beispielstämme: *Clostridium*, *Thermoanaerobacter*, *Thermotoga*). Sie können entweder als Reinkulturen angezüchtet werden oder als Mischkulturen in z. B. Klärschlamm vorkommen.

Die eingesetzten Reinkulturen bieten den Vorteil, dass sich ausschließlich Wasserstoff und CO_2 bilden. Mischkulturen hingegen bilden ebenfalls Methan, was die Herstellung von reinem Biowasserstoff behindert.

Die Bakterienkulturen welche ausschließlich Wasserstoff bilden haben zusätzlich die Eigenschaft, dass sie besonders hitzebeständig sind und Temperaturen von bis zu 100°C mehrere Stunden aushalten können. Durch diese Eigenschaft können durch das Erhitzen der Kulturen die weniger Hitzebeständigen (Methan bildenden) Stämme abgetötet werden, so dass nur noch die Wasserstoffproduzierenden übrig bleiben.

Als Kohlenstoffquelle zur anaeroben Fermentierung kommt kein herkömmlicher Biomüll zum Einsatz, weil dadurch zu viele Nebenreaktionen bzw. Nebenprodukte auftreten können. Es werden Substrate eingesetzt, welche einen hohen Zucker- oder Stärkegehalt aufweisen um die Wasserstoffbildung zu fördern, wie beispielsweise Glukose, Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln.

Die Vergärung läuft in vier Schritten ab:

Während der **Hydrolyse** werden die Edukte (Kohlenhydrate, Eiweiße, ...) in einfachere organische Bausteine zerlegt. Anschließend erfolgt die **Acidogenese** während der die Produkte der Hydrolyse in kurzkettige Fettsäuren, organische Säure, Alkoholen, Aldehyden, Ammoniak sowie zu **H₂** und **CO₂** abgebaut werden.

Die dritte Phase wird als **Acetogenese** bezeichnet. Nun werden die langkettigen Carbonsäuren, Alkohole und Aldehyde in Essigsäure, **Wasserstoff** und **CO₂** umgewandelt. Im vierten und letzten Schritt werden die gebildeten Acetate sowie das **CO₂** und **H₂** zu Methan umgesetzt. Diese Phase wird als **Methanogenese** bezeichnet und ist für die Produktion von Biowasserstoff unerwünscht, deshalb wird sie vom Rest des Prozesses durch den Einsatz geeigneter Bakterienkulturen entkoppelt. [26]

Quellen

- [1] **Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft**, Broschüre *Welternährung verstehen - Fakten und Hintergründe*, August 1018
- [2] **FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO**. 2018. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. Rome, FAO
- [3] **Peter Platt**, *Vertical Farming: An Interview with Dickson Despommier*, *Gastronomica*, Vol. 7, No. 3 (Summer 2007), pp. 80-87, University of California Press,
- [4] **Geert Rozinga**, *Der Eroberungszug der vertikalen Landwirtschaft - VPRO DOK 2017*, <https://www.youtube.com/watch?v=ryCkqWI4xtQ>, abgerufen am 13.05.2019
- [5] **Christian Ulrichs**: *Urban Horticulture – eine junge Wissenschaft: VDL-Journal*, Magazin für Agrar, Ernährung, Umwelt. 2006, 3 (56): S. 12–13.
- [6] **Kozai Toyoki, Niu Genhua; Takagaki Michiko**, *Plant factory : an indoor vertical farming system for efficient quality food production*, Amsterdam: Boston: Heidelberg: London: New York: Elsevier AP, 2016
- [7] **Wolfgang Miram, Karl-Heinz Scharf**, *Biologie heute SII*, Schroedel Verlag GmbH, Hannover
- [8] **Y.P. Abrol, P. Mohanty, Govindjee**, *Photosynthesis: Photoreaction to Plant Productivity*, Kluwer Academic Publishers, 1993
- [9] **D.W.Lawlor**, *Photosynthese: Stoffwechsel- Kontrolle- Physiologie*, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1990
- [10] *Brockhaus Enzyklopädie*, S 334, 18 Aufl, Bd. 10, FA Brockhaus GmbH, 1989
- [11] <https://indoorgarten.com/hydrokultur-leitfaden/>, abgerufen am 13.05.2019
- [12] **M.F. Saaid, N.A.M. Yahya, M.Z.H. Noor, M.S.A. Megat Ali**, *A Development of an Automatic Microcontroller System for Deep Water Culture*, 2013 IEEE 9th International Colloquium on Signal Processing and its Applications, 8 - 10 Mac. 2013, Kuala Lumpur, Malaysia
- [13] **Epic Gardening**, *How to Set Up an Ebb and Flow DIY Hydroponics System (Flood and Drain)*, <https://www.youtube.com/watch?v=IXJuNlpkNDU>, abgerufen am 13.05.2019
- [14] **Walid Nosir**, *EFFICIENCY OF USING COMMERCIAL FERTILIZERS FOR GLADIOLUS GROWTH IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE*, *Journal of Plant Nutrition*, 34:7, 963-969, 2011
- [15] **Epic Gardening**, <https://www.epicgardening.com/hydroponic-systems/>, abgerufen am 13.05.2019
- [16] **Irman Idris, Muhammad Ikhsan Sani**, *Monitoring and Control of Aeroponic Growing System for Potato Production*, IEEE Conference on Control, Systems and Industrial Informatics (ICCSII) Bandung, Indonesia, September 23-26, 2012
- [17] **Jochen Euler**, <https://www.dghk.net/index.php?artikel=606>, abgerufen am 13.05.2019
- [18] *Brockhaus Enzyklopädie*, S 236, 18 Aufl, Bd. 12, FA Brockhaus GmbH, 1989
- [19] **Werner Bidlingmaier**, *Biologische Abfallverwertung*, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 2000
- [20] **Karl Joachim Thomè-Kozmiensky**, *Biologische Abfallbehandlung*, EF- Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin, 1995
- [21] **Joachim Brummack**, *Lehrveranstaltung „Umweltschutz“*, TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, 2010
- [22] **Karl Joachim Thomè-Kozmiensky Klaus Fricke, Thomas Turk, Hardy Vogtmann**, *Grundlagen der Kompostierung*, EF- Verlag für Energie und Umwelttechnik, Berlin, 1990
- [23] **Rechtenbach, Dorothea**, *Fermentative Erzeugung von Biowasserstoff aus biogenen Roh- und Reststoffen*, Stuttgart: Verlag Abfall aktuell, 2009, Hamburger Berichte; Bd. 34
- [24] **Artur Mennerich**, *Biogas, Verwertung und Aufbereitung*, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik, Bonn, 1997
- [25] **Onkar Dixir**, *Upgrading Biogas to Biomethan Using Absorption*, Dissertation, Technische Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Prof. Dr.-Ing. Mollekopf, 2015
- [26] **Dorothea Rechtenbach**, *Fermentative Erzeugung von Biowasserstoff aus biogenen Roh- und Reststoffen*, Dissertation, Hamburger Berichte, Bd. 34, Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann, Verlag Abfall aktuell, 2009

Abbildungen

| | | |
|--------------|---|--|
| Abbildung 1 | Industrieller Anbau von grünem Salat | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 2 | Übersicht Photosynthese Kreislauf | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 3 | Aufbau der Chloroplasten grüner Pflanzen | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 4 | Ablauf der lichtabhängigen Reaktion in der Thylakoidmembran | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 5 | Der Calvin Zyklus - Glukoseaufbau | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 6 | Blähtonkugeln als Substrat | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 7 | Wellenlängenspektrum des Lichts | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 8 | Angeregte Zustände des Chlorophylls | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 9 | Soretbande Chlorophyll a und b | S. 16: aegon, <i>Wikimedia Commons</i> , lizenziert unter <i>CreativeCommons-Lizenz by-sa-3.0-de</i> , URL: http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/de/legalcode |
| Abbildung 10 | künstliches LED Licht zum energieeffizienten Pflanzenwachstum | Lizenzerwerb durch fotolia.com |
| Abbildung 11 | Typischer Gartenkompost | Zur Verfügung gestellt von Dr. R. Timmreck |
| Abbildung 12 | Temperaturverlauf der aeroben Kompostierung | Dr.-Ing. Joachim Brummack , <i>Lehrveranstaltung „Umweltschutz“</i> , TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen Institut für Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, 2010 |
| Abbildung 13 | Verfahrensfließbild Steam Reforming | S.23: Sven ; CC lizenz 4.0 https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Dampfreformierung.jpg https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ |

II. Allgemeine Informationen zum Experimentiersystem

Bestandteile und Handhabung

In der folgenden Auflistung werden alle im leXsolar-BioEnergy Ready-to-go enthaltenen Einzelteile aufgeführt. Zu jeder Komponente finden Sie die Bezeichnung mit Artikelnummer, eine Abbildung, das Piktogramm in den Versuchsaufbauten und Hinweise zur Bedienung. Mit Hilfe der Artikelnummer können Sie jedes Einzelteil separat nachbestellen.

Grundeinheit Small (1602-01) mit Kurzschlussstecker (L2-06-033)



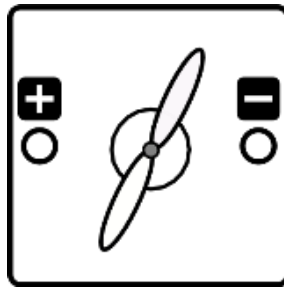
Die Grundeinheit Small ist eine Steckplatine welche bis zu zwei Module aufnehmen kann. Der Strom fließt über die an der Unterseite angebrachten Leitungen. Um die Module auf der Grundeinheit mit anderen zu verbinden, befinden sich an zwei gegenüberliegenden Seiten insgesamt vier Anschlüsse. Für die Verbindung von Modulen auf der Grundeinheit stehen zwei Kurzschlussstecker zur Verfügung.

PEM-Brennstoffzellenmodul (1218-02)



Hochleistungs-PEM-Brennstoffzelle wandelt Wasserstoff und Sauerstoff in Elektrizität und Wasser um
Abmaße Brennstoffzelle: 32x32x32 mm
Abmaße Halterung: 85x85 mm
Output Spannung: 0,6 V (DC)
Output Stromstärke: 0,45 A
Leistung: 270 mW

Motormodul (1100-27) mit Propeller (L2-02-017)



Steckmodul mit Gleichstrommotor

Anlaufstrom: ca. 20 mA

Anlaufspannung: ca. 0,35 V

Ausgestattet mit Automatiksicherung gegen Überspannung

Ausführung: Steckmodul mit 4 mm-Buchsen

Rastermaß der Buchsen: 70 mm

Modulgröße 85 mm x 85 mm

Keimbox (1700-12)



Die Keimbox dient zur Keimung der Pflanzensamen. In 49 einzelnen Fächern können die Pflanzensamen eingelegt und kontrolliert zum Keimen gebracht werden. Löcher in den Fächer garantieren das Abfließen von Wasser und verhindern somit Schimmelbildung der Samen und Keimlinge.

Blähtonkugeln (1700-05)



Die Blähtonkugeln dienen als Substrat in der BioEnergy Hydrokultur.
wiederverwendbar nach Waschen

Dünger (1700-06)



Pflanzennährstoffe für BioEnergy Hydrokultur

Gesamtstickstoff (N) 18 %, Phosphat (P₂O₅) 11 %, Kaliumoxid (K₂O) 18 %, Magnesiumoxid (MgO) 2,5 %, Schwefeltrioxid (SO₃) 8 %, Eisen (Fe) 0,1 %, Mangan (Mn) 0,04 %, Bor (B) 0,01 %, Kupfer (Cu) 0,01 %, Molybdän (Mo) 0,001 %, Zink (Zn) 0,01 %

- Mehr Informationen, sowie das **Sicherheitsdatenblatt** finden Sie direkt beim Hersteller unter:
https://icl-sf.com/de-de/products/ornamental_horticulture/2041-universol-blue/
Das Sicherheitsdatenblatt wird bereitgestellt durch: Everris International BV
Nijverheidsweg 1-5; 6422 PD Heerlen (NL);

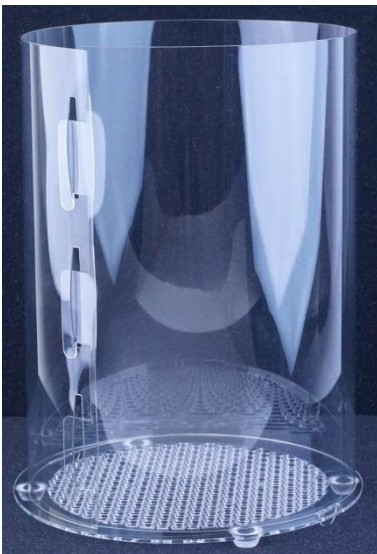
Kompostbeschleuniger (1700-07)



Bio-aktives Kompostierungsmittel
startet und optimiert die Wärmevergärung
rein natürlicher Substanzen

- Mehr Informationen, sowie das **Sicherheitsdatenblatt** finden Sie direkt beim Hersteller unter:
<https://www.dehner.de/produkte/dehner-bio-kompostbeschleuniger-5-kg-X000141887/>
Das Sicherheitsdatenblatt wird bereitgestellt durch: Dehner GmbH & Co. KG
Donauwörther Str. 3-5, D-86641 Rain

Komposter (1700-08)

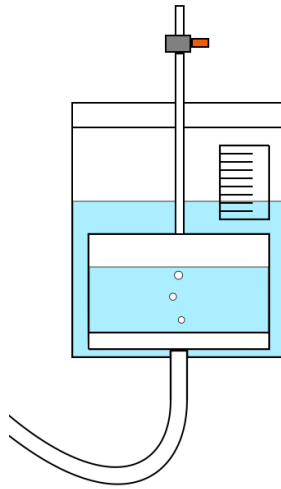


2-teiliger Kompostbehälter zum Zusammenstecken

Die transparente Hülle ermöglicht es, alle Prozesse und Veränderungen optisch zu beobachten.

Die Bodenplatte mit Standfüßen und Löchern, ermöglicht das Abfließen von überschüssiger Flüssigkeit sowie eine ausreichende Belüftung des Kompostes. Sollte auf einem geeigneten Teller/ gefäß stehen.

Gasauffanggefäß (1700-09)

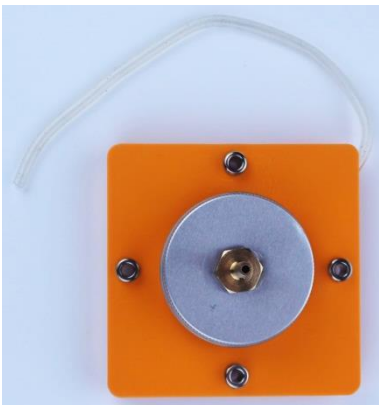


Das Gasauffanggefäß ermöglicht das Sammeln der bei den Biogas-Prozessen entstehenden Gase Methan und Wasserstoff.

Über einen Silikonschlauch und einen Kugelhahn kann der Behälter an den Brenner angeschlossen und das aufgefangene Gas zugeführt werden.

Mithilfe der aufgedruckten Skala kann die Geschwindigkeit der Gasbildung in Abhängigkeit unterschiedlicher Parameter beobachtet werden.

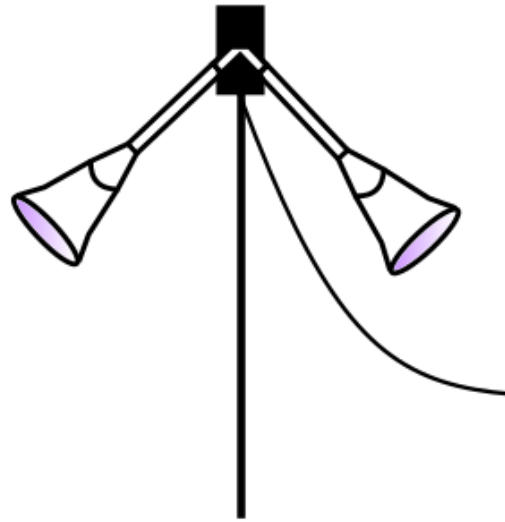
Brenner (1700-10)



Der Brenner dient dem kontrollierten Verbrennen der Gase aus den Biogas-Prozessen.

Das im Gasauffanggefäß gesammelte Gas wird dem Brenner über einen Silikonschlauch und einen Kugelhahn zugeführt.

Stativ Pflanzenbeleuchtung (1700-11) und Pflanzenlampe (L2-04-194)



An dem Stativ werden die Pflanzenlampen zur Beleuchtung der Hydrokulturen angebracht.

Box 6 L (1700-13)



Zusammen mit der Keimbox und dem Zerstäuber dient die Box dem ersten Schritt der Biomassebildung, dem Keimen der Pflanzensamen.

Löcher im Deckel der Box sorgen für eine ausreichende Belüftung der Pflanzensamen und Keimlinge.

Dreibein (1700-14)



Das Dreibein dient als Halterung für das Gasauffanggefäß.

Samen-Set (1700-15)



Das Samenset beinhaltet die Pflanzensamen zur Anzucht der Biomasse.
Es setzt sich zusammen aus den Pflanzen Mais, Weizen, Zuckerrübe, Radieschen und Salat.

Gummistopfen mit Schlauch (1700-16)



Der Gummistopfen garantiert das luftdichte Verschließen der Erlenmeyerkolbens.
Über den Schlauch wird das gebildete Biogas in das Gas auffanggefäß geleitet.

ID Schildchen (1700-17)



zum Nummerieren der Pflanzen

Box 75mm (L3-01-012) und Töpfchenhalter (L2-01-120)



Der Töpfchenhalter hält die Gitternetztöpfe in der Hydrokultur und bietet Platz für 24 Töpfchen.

Zeitschaltuhr (L2-06-185)



Die Zeitschaltuhr dient dem individuellen zeitlich festgelegten Ein- und Ausschalten der angeschlossenen elektronischen Geräte.

minimal wählbares Zeitintervall: 30 min

1. Einstellen der derzeitigen Uhrzeit
2. Intervallschaltung durch das Eindrücken der schwarzen Tasten programmieren
3. Umschalten zwischen Dauerbetrieb und Zeitschaltintervall

Luftpumpe (L2-06-186), Schlauch innen 4mm (L2-02-046) und Befeuchtungsstein (L2-06-187)



Die Pumpe leitet über den Schlauch und den Belüftungsstein Luft in die Hydrokultur ein um das Algenwachstum im Wasser zu vermeiden.

Gitternetztopf (L2-06-188) und Stopfen rot (L2-06-199)



Mithilfe der Blähtonkugeln können Keimlinge und Pflanzen in den Gitternetztopfen eingepflanzt werden. Die Stopfen dienen zum Verschließen der freien Plätze in der Hydrokultur, wenn keine Gitternetztopfe eingesetzt sind und verhindern das Eindringen von Licht, um Algenwachstum zu vermeiden.

EC-Messgerät (L2-06-189)



Das Messgerät misst die elektrische Leitfähigkeit (engl.: **electric conductivity**) von Flüssigkeiten. Diese physikalische Größe gibt an, wie stark die Fähigkeit eines Stoffes ist, den elektrischen Strom zu leiten.

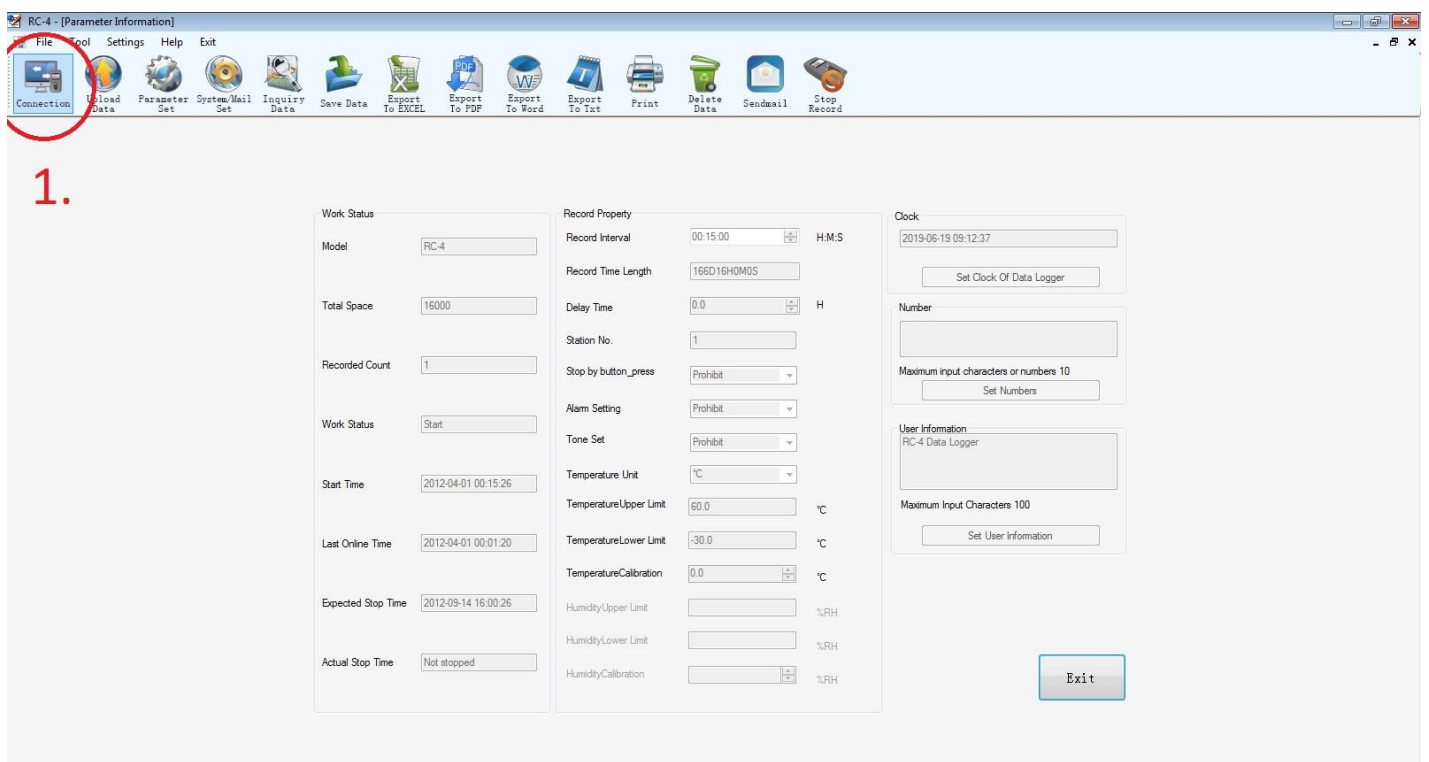
Temperaturlogger (L2-06-190)



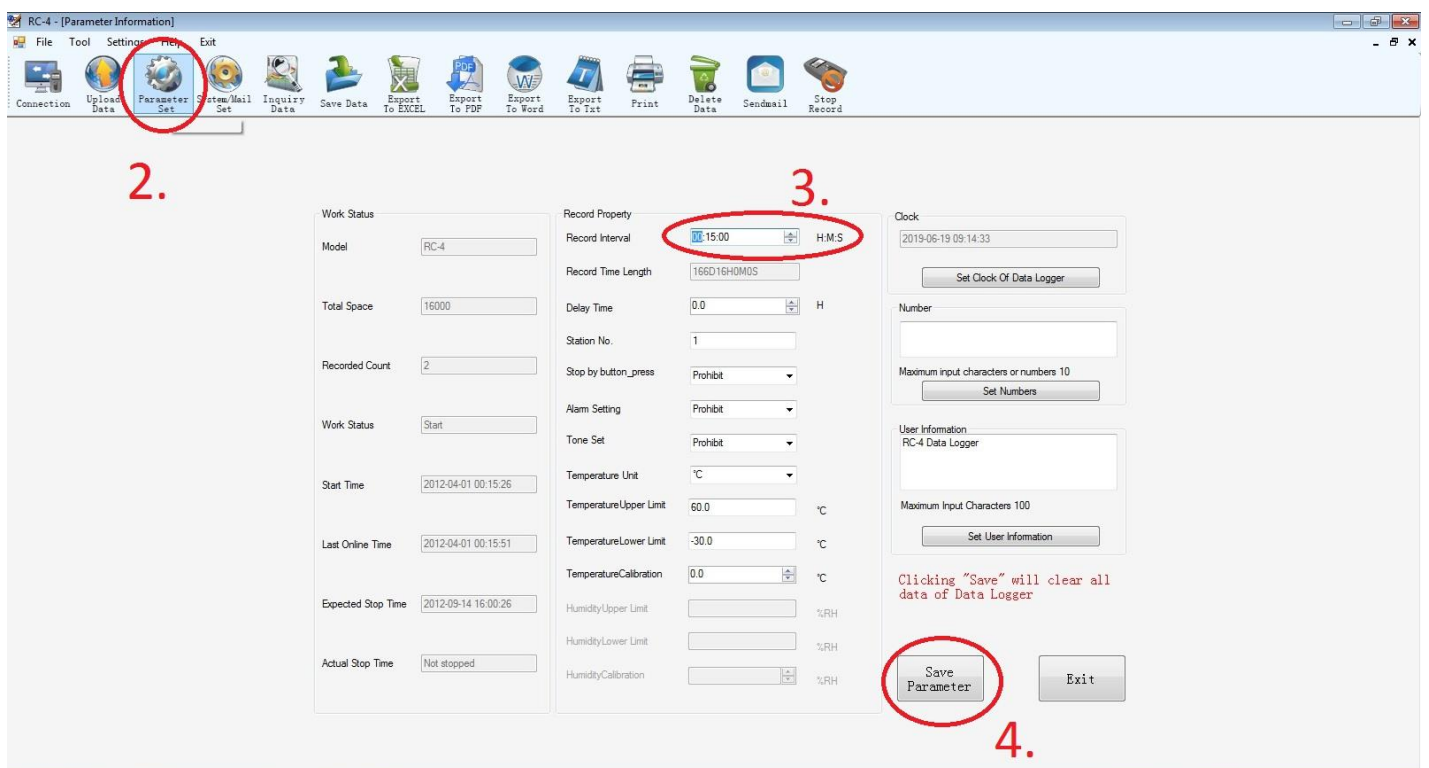
Das Gerät zeichnet Temperaturwerte in individuell wählbaren Zeitintervallen auf. Die aufgezeichneten Daten können über eine USB-Schnittstelle und die zugehörige Software am PC ausgelesen werden.

Handhabung:

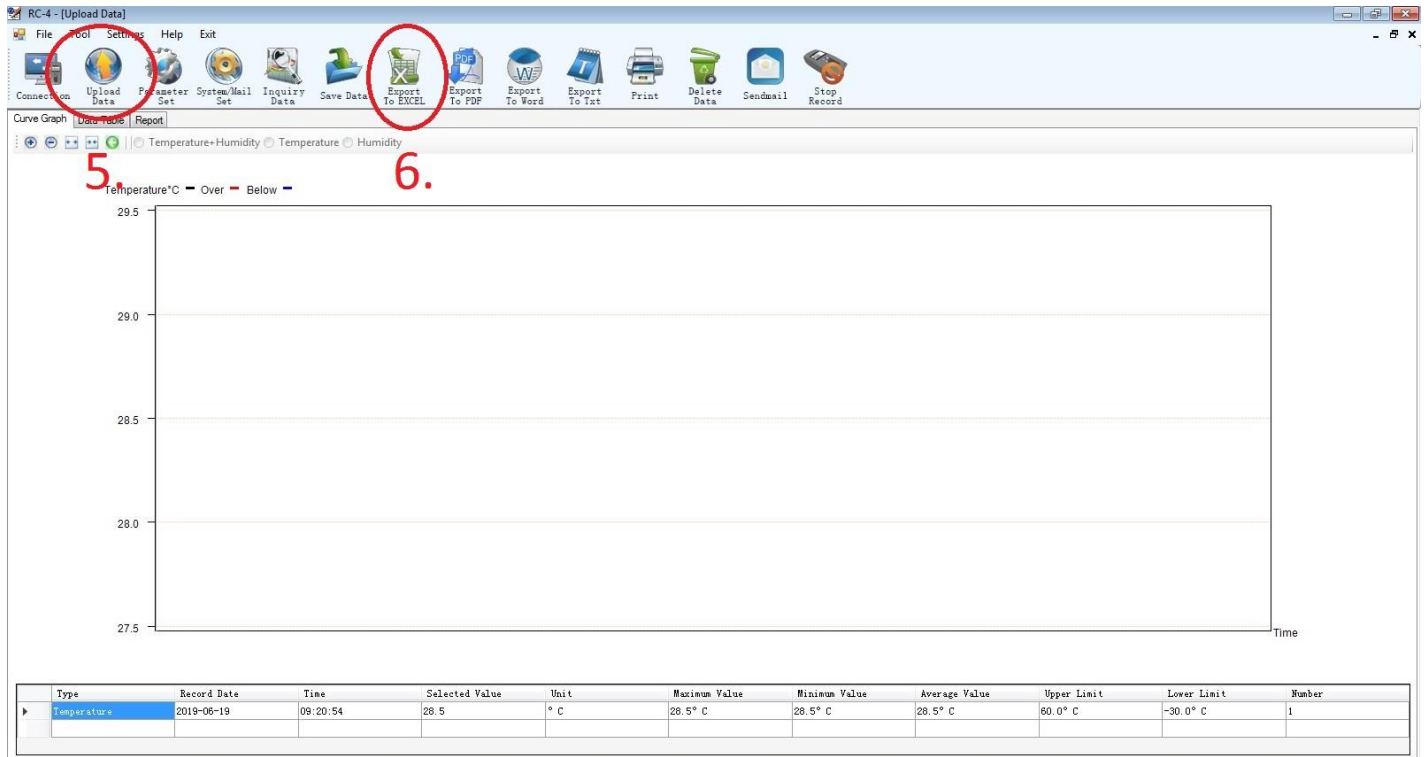
- I. Installieren Sie die zugehörige Software auf Ihrem PC. Die Software kann über <http://www.elitechlog.com/software/> heruntergeladen werden.
- II. Setzen Sie die Knopfzelle in den Temperaturlogger ein, wie in der beiliegenden Kurzanleitung beschrieben.
- III. Schließen Sie den Temperaturlogger über das mitgelieferte USB Kabel an den PC an
- IV. Datum und Uhrzeit sollten sich automatisch synchronisieren, sobald Sie auf „connection“ (1.) klicken (Sie können die Synchronisation auch manuell über den Button „Set Check Of Data Logger“ durchführen)



- V. Über den Button „Parameter Set“ (2.) können Sie die verschiedenen Variablen der Temperaturaufnahme einstellen.
- VI. Über die Schaltfläche „Parameter Intervall“ (3.) können sie einstellen wieviel Zeit zwischen den einzelnen Messpunkten vergehen soll
- VII. Sie können z.B. auch einstellen ob Sie die Temperatur in °C oder °F aufnehmen wollen, oder welche oberen und unteren Temperaturgrenzen Sie zulassen wollen
- VIII. Über den Button „Save Parameter“ (4.) speichern Sie die festgesetzten Variablen
Bitte beachten Sie, dass alle bereits aufgenommenen Daten gelöscht werden, wenn Sie die Parameter neu festlegen!
- IX. Sie starten die Datenaufnahme indem Sie auf dem Temperaturlogger die „▶“ Taste vier Sekunden lang drücken. Das „▶“ Symbol erscheint dann auch auf dem Display des Temperaturloggers



- X. Zum Auswerten der Daten können Sie direkt das mitgelieferte Programm nutzen. Klicken Sie dazu auf „Upload Data“ (5.), oder speichern Sie die Daten als Excel, PDF, Word oder Text Datei (6.)



Waage (L2-06-191)



Mit der Waage wird das Gewicht der Pflanzen und somit das Biomassewachstum bestimmt.
Messbereich: bis zu 5 Kg , Tolleranz: 1g

Pinzette (L2-06-192)



Werkzeug zum Greifen von kleinen Gegenständen, wie Keimlingen aus Kunststoff

Schlauchklemme (L2-05-141)



Die Schlauchklemme dient zum Verschließen bzw. Verengen von Schläuchen.

Erlenmeyerkolben (L2-06-075)



Erlenmeyerkolben 1000ml mit Schliff NS 29/32
Borsilikatglas

Zerstäuber (L2-06-200)



Der Zerstäuber dient der Befeuchtung der Pflanzensamen in der Keimbox um diese zum Keimen zu bringen.

Größe (d*H): 4,6*2,5 cm

Sprühvolumen: 350 ml/h

Maximale Wassertiefe: 5-7 cm

Output: 24V/ 1A

Input: AC 100-240V/ 50/60 Hz

Gefahren- und Sicherheitshinweise:

Allgemein

Das Tragen der entsprechenden Schutzkleidung beim Einsatz gefährlicher Flüssigkeiten wird empfohlen.

Laborgeräte müssen vor dem Einsatz durch den Anwender auf einwandfreie Funktion überprüft werden.

Geräte, die zur Reparatur eingesandt werden, müssen gereinigt und dekontaminiert sein.

Dünger (Universol Blue 323 18-11-18+2.5MgO+TE)



H318 - Verursacht schwere Augenschäden

H272 - Kann Brand verstärken; Oxidationsmittel

P280 - Schutzhandschuhe / Schutzkleidung / Augenschutz / Gesichtsschutz tragen.

P210 - Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen

P305 + P351 + P338 – Bei Kontakt mit den Augen: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.

P310 - Sofort Giftnformationszentrum oder Arzt anrufen

Produkt nicht unkontrolliert in die Umwelt gelangen lassen. Dieser Stoff darf nicht in der Kanalisation, im Erdreich oder in Gewässern entsorgt werden.

Kompostbeschleuniger (Dehner Kompostbeschleuniger)

Nach Hautkontakt: Bei Berührung mit der Haut mit viel Wasser abwaschen.

Nach Augenkontakt: Bei Berührung mit den Augen sofort gründlich mit Wasser abspülen und Arzt konsultieren.

Nach Verschlucken: Mund ausspülen und reichlich Wasser nachtrinken. Bei Verschlucken kein Erbrechen herbeiführen. Ärztlichen Rat einholen und Verpackung oder Etikett vorzeigen.

Nicht unverdünnt bzw. in größeren Mengen in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

Kohlenstoffdioxid

P403 - An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Methan und Wasserstoff



H220 - Extrem entzündbares Gas.

P210 - Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen sowie anderen Zündquellenarten fernhalten. Nicht rauchen.

P377 Brand von ausströmendem Gas: Nicht löschen, bis Undichtigkeit gefahrlos beseitigt werden kann.

P381 - Bei Undichtigkeit alle Zündquellen entfernen.

P403 - An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

Glasgeräte

Vor jedem Einsatz sind die Glasgeräte auf Beschädigungen zu untersuchen, um Verletzungen zu vermeiden. Beschädigte Glasgeräte stellen ein sehr großes Gesundheitsrisiko dar, da bei austretenden Chemikalien Verätzungen der Haut oder durch Glasbruch Schnittverletzungen auftreten können.

Vermeiden Sie während des Arbeitens mit Glasgeräten plötzliche Temperaturschwankungen, da dies zu Spannungen und dadurch zu einem erhöhten Bruchrisiko führen kann. Dies gilt besonders für dickwandiges Glas. (Dieses muss langsam abgekühlt werden.)

Vermeiden Sie plötzliche Druckänderungen, das heißt belüften Sie Gefäße, die unter Vakuum standen, langsam. Laborglasgeräte mit flachem Boden, wie Erlenmeyerkolben, sollten nicht unter Druck oder Vakuum gesetzt werden.

Glasgeräte können bei unsachgemäßer Handhabung zu tiefen Schnittwunden führen. Halten Sie Verbandsmaterialien sowie eine Pinzette bereit, um etwaige kleine Splitter zu entfernen.

Bei größeren Splittern nahe der Schlagadern sofort ärztlichen Rat einholen und Splitter vorerst nicht entfernen!

PEM-Brennstoffzelle

Spezifikationen:

- Ausgangsleistung: 270 mW
- Ausgangsspannung: 0,6 V (DC)
- Ausgangsstromstärke: 0,45 A

Wichtige Hinweise zur Handhabung:

- Die Brennstoffzelle sollte bei Nichtbenutzung in einem luftdichten Plastik-Beutel gelagert werden, um sie vor Austrocknung zu schützen.

Gebrauchsanweisung:

1. Um die PEM-Brennstoffzelle in Betrieb zu nehmen, ist Wasserstoff notwendig.
2. Wird Wasserstoff aus dem Gasspeicher entnommen, muss zunächst die Schlauchsperrung geschlossen werden, um ein Entweichen des Wasserstoffs zu verhindern.
3. Der Schlauch vom Gasspeicher wird anschließend mit dem oberen Anschluss an der Brennstoffzelle verbunden. Die O₂-Zufuhr wird beim verwendeten Modell durch die Umgebungsluft gewährleistet.
4. Am unteren Anschluss an der Brennstoffzelle wird das kurze Schlauchstück angebracht, dieses kann später mit einem Pin verschlossen werden.
5. Die Brennstoffzelle wird anschließend auf der Grundplatte in die passende Aussparung gesteckt. Dabei ist auf die richtige Polarität zu achten.
6. Nun kann ein elektrischer Verbraucher an die Modulplatte angeschlossen werden (Polarität beachten!). Der Stromkreis kann mit den Kurzschlusssteckern geschlossen werden.
7. Mit Öffnen der Schlauchsperrung wird die Wasserstoffzufuhr gestartet und das Experiment kann starten.



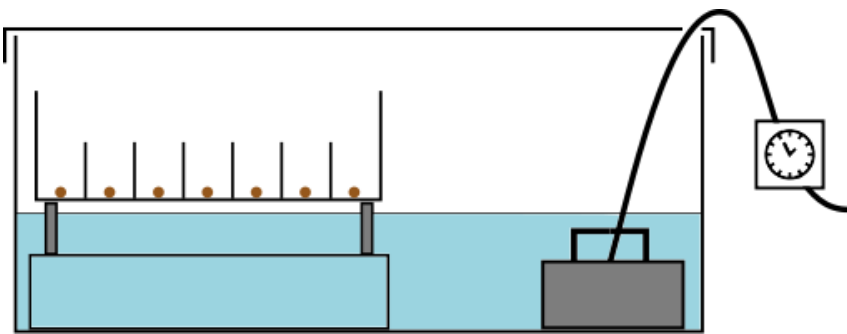
1. Keimung von Pflanzensamen

Aufgabe

Bringen Sie die Samen in der Keimbox zum Keimen. Beobachten Sie ihr Verhalten und notieren Sie die Keimzeit.

Aufbau

Benötigte Geräte



- Keimbox
- Box 6 L
- Samen-Set
- Zerstäuber
- Zeitschaltuhr
- Dünger
- EC-Messgerät
- ID-Schildchen

Zusätzlich:

- Wasser

Durchführung

Aufbau der Keimbox:

1. Setzen Sie die Keimbox und den Zerstäuber in die 6 L Box, wie in der Abbildung zum Aufbau dargestellt.
2. Stellen Sie aus Dünger und Wasser eine Lösung mit einem EC-Wert von $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ her und füllen Sie damit die Box soweit, dass der Zerstäuber vollständig bedeckt ist. Achten Sie darauf, dass die Keimbox nicht im Wasser steht.
3. Setzen Sie in die Fächer der Keimbox jeweils einen Samen aus dem Samen-Set und markieren Sie die Fächer mit den ID Schildchen.
4. Schließen Sie die 6 L Box mit dem zugehörigen Deckel so, dass das Kabel des Zerstäubers durch die Aussparung geführt wird und sich die Lüftungsschlitze über dem Setzkasten befinden.
5. Schließen Sie den Zerstäuber über die Zeitschaltuhr an eine Steckdose an und programmieren Sie die Zeitschaltuhr so, dass der Zerstäuber alle zwei Stunden für jeweils eine halbe Stunde aktiv ist. Justieren Sie dafür jede dritte Nase der Uhr nach unten, alle anderen nach oben. (vgl. Bild. S 34)

Zugabe von Dünger und Wasser:

Damit die Samen und Keimlinge immer die gleichen Umgebungsbedingungen haben, ist es wichtig, Wasser und Dünger regelmäßig zuzuführen.

1. Messen Sie alle 2-3 Tage den EC-Wert des Wassers in der Keimbox.
2. Füllen Sie Wasser und gegebenenfalls Dünger nach, bis der EC-Wert $900 \mu\text{S}/\text{cm}$ beträgt.
3. Achten Sie darauf, dass der Zerstäuber vollständig bedeckt ist und die Keimbox nicht im Wasser steht.
4. Nach etwa 2-3 Wochen sollten Sie das Wasser in der Keimbox einmal komplett wechseln. Reinigen Sie alle Materialien mit etwas Spülmittel und bauen Sie die Keimbox wieder zusammen.



1. Keimung von Pflanzensamen

Keimung:

1. Notieren Sie in einer Datenbank für jeden Samen die zugehörige ID-Nummer und das Datum, an dem Sie ihn in die Keimbox gesetzt haben.
2. Beobachten Sie die Samen jeden Tag und notieren Sie das Datum der Keimung.
3. Nach der Keimung können Sie täglich die Größe der Keimlinge messen und in die Datenbank eintragen.
4. Wenn die Keimlinge groß genug sind, können Sie sie in ein Töpfchen umsetzen, wie in Aufgabe 1.2 beschrieben. (*Tipp! Im Allgemeinen gilt: wenn die Keimlinge über die Wände der Keimbox hinausreichen, können sie in die Hydrokultur umgesetzt werden.*)

Messwerte

| Pflanzenart | Datum Ansatz | Datum Keimung | Größe 1. Tag | Größe 2.Tag | Größe 3. Tag | ... |
|-------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|-----|
| Mais | | | | | | |
| Radieschen | | | | | | |
| Salat | | | | | | |
| Weizen | | | | | | |
| Zuckerrübe | | | | | | |
| | | | | | | |

Auswertung

1. Welche Samen keimen schnell? Welche eher langsamer?

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Pflanzenart | | | | | | | | | | | |
| Keimzeit | | | | | | | | | | | |

2. Welche Keimlinge wachsen schnell?

- Mais und Radieschen keimen in der Regel am schnellsten, innerhalb von drei bis 5 Tagen



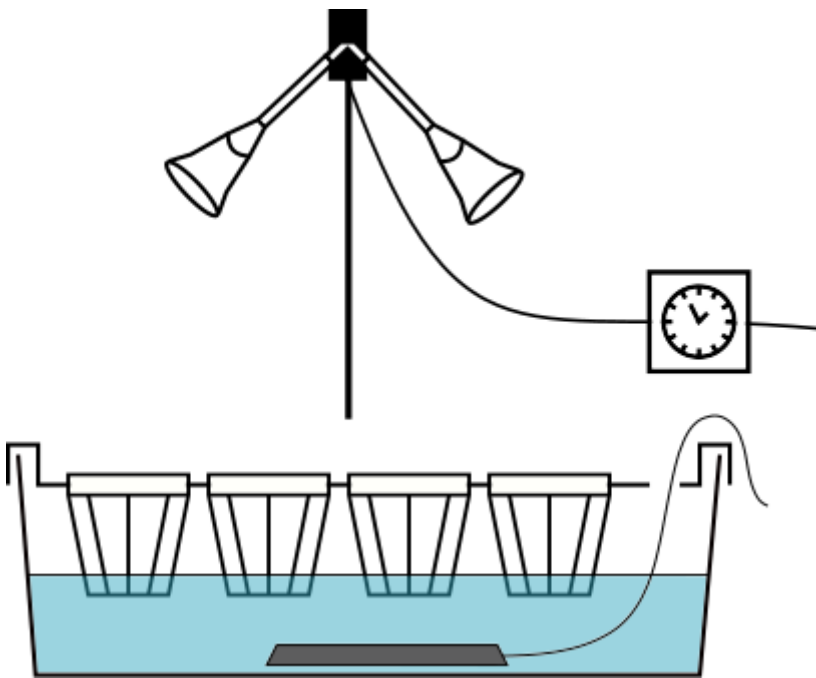
2. Pflanzenwachstum in der Hydrokultur

Aufgabe

Lassen Sie die Keimlinge in der Hydrokultur unter künstlicher Beleuchtung zu Pflanzen heranwachsen. Beobachten und protokollieren Sie dabei ihre Entwicklung.

Aufbau

Benötigte Geräte



- Box 75 mm
- Töpfchenhalter
- Gitternetztopfchen
- Blähtonkugeln
- evtl. Stopfen rot
- Belüftungssteine
- Schläuche
- Y-Verteiler
- Luftpumpe
- Pflanzenlampen
- Stativ Pflanzenbeleuchtung
- Zeitschaltuhr
- EC-Messgerät
- Waage
- Pinzette
- Dünger

Zusätzlich:

- Wasser
- Lineal oder Zollstock

Durchführung

Aufbau der Hydrokultur:

1. Führen Sie jeweils einen Schlauch durch die kleinen Löcher in den Töpfchenhaltern und schließen Sie je einen Belüftungsstein auf der Seite an, die später in der Hydrokultur-Box liegt. Verbinden Sie die freien Enden der Schläuche mit dem Y-Verteiler und schließen Sie diesen über den dritten Schlauch an die Luftpumpe an.
2. Setzen Sie den Töpfchenhalter auf die 75 mm Box und lassen Sie die Verschlüsse einrasten.
3. Beschriften Sie die beiden Boxen (1 und 2) am Rand mithilfe eines wasserfesten Stiftes oder Aufklebern.
4. Setzen Sie in jedes Loch des Töpfchenhalters ein Gitternetztopfchen.
5. Stellen Sie aus Dünger und Wasser eine Lösung mit einem EC-Wert von $1100 \mu\text{S}/\text{cm}$ her und füllen Sie damit die Box soweit, dass alle Gitternetztopfchen etwa 0,5 cm hoch mit Wasser bedeckt sind.
6. Schließen Sie die Luftpumpe an eine Steckdose an, stellen Sie das Rädchen auf "max." und vergewissern Sie sich, dass durch beide Belüftungssteine Luftbläschen in das Wasser eingeleitet werden.



2. Pflanzenwachstum in der Hydrokultur

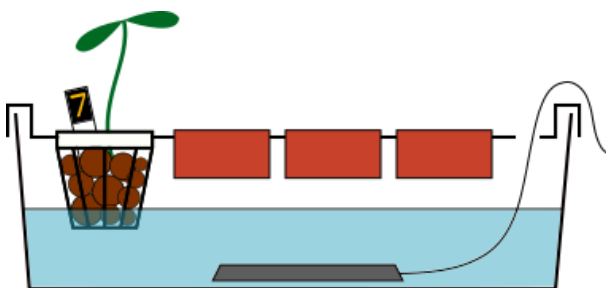
- Mithilfe der Schlauchklemme können Sie die gleichmäßige Luftzufuhr über die Belüftungssteine einstellen. Wählen Sie dazu den Belüftungsstein, aus dem die meiste Luft austritt und bringen Sie die Klemme am zugehörigen Schlauch an. Drehen Sie die Schlauchklemme soweit zu, bis aus beiden Belüftungssteinen die gleiche Menge Luftblasen austritt.
- Kontrollieren Sie regelmäßig, ob aus beiden Belüftungssteinen die gleiche Menge Luftblasen austritt und stellen Sie die Schlauchklemme gegebenenfalls nach.

Aufbau der Pflanzenbeleuchtung:

- Bauen Sie das Stativ zur Pflanzenbeleuchtung auf und drehen Sie den Lampen-Y-Verteiler ein.
- Drehen Sie die beiden Pflanzenlampen jeweils in einen Lampenhals und diese in den Y-Verteiler.
- Schließen Sie die Pflanzenbeleuchtung über die Zeitschaltuhr an eine Steckdose an.
- Stellen Sie auf der Zeitschaltuhr die richtige Uhrzeit ein und programmieren Sie sie so, dass die Pflanzen zwischen 06:00 und 20:00 Uhr beleuchtet werden.
Drehen Sie dazu die Uhr solange bis der kleine Zeiger auf die aktuelle Uhrzeit zeigt. Justieren Sie alle Nasen zwischen 06:00 und 20:00 Uhr nach unten und die verbleibenden nach oben. (vgl. Seite 34)
- Stellen Sie das Stativ zwischen beide Hydrokulturen und richten Sie die Pflanzenlampen so aus, dass beide Boxen gut ausgeleuchtet sind.

Keimlinge in die Hydrokultur umsetzen:

- Wenn die Keimlinge über die Wände der Keimbox hinausreichen, können sie in die Hydrokultur umgesetzt werden.
- Legen Sie die Gitternetztopfchen und Blähtonkugeln bereit.
- Entnehmen Sie mit der Pinzette einen Keimling aus der Keimbox und halten Sie ihn in die Mitte eines Töpfchens.
- Füllen Sie das Töpfchen vorsichtig mit Blähtonkugeln, so dass der Keimling stabil darin stehen kann.
- Stecken Sie die zugehörige ID-Nummer des Keimlings in das Töpfchen.
- Setzen Sie das bepflanzte Töpfchen in die Hydrokultur-Box.
- Die unbesetzten Plätze in der Hydrokultur können Sie mit roten Plastikstopfen abdecken.



Hinweis:

Bei Pflanzenarten die nur sehr kleine Keimlinge ausbilden, wie z. B. der Salat, ist es nötig die Keimlinge umzusetzen, obwohl sie noch sehr klein sind. Dazu füllt man in das Töpfchen so viele Blähtonkugeln bis diese gerade über den Wasserspiegel herausragen. Nun muss man die Keimlinge so auf die Kugeln legen, dass die Wurzeln im Wasser, die Blätter aber an der Luft liegen. Diese Tätigkeit erfordert etwas Ruhe und Geduld.



2. Pflanzenwachstum in der Hydrokultur

Zugabe von Dünger und Wasser:

Damit die Pflanzen immer die gleichen Umgebungsbedingungen haben, ist es wichtig, Wasser und Dünger regelmäßig zuzuführen.

1. Messen Sie alle 2-3 Tage den EC-Wert des Wassers in den Hydrokulturen.
2. Füllen Sie Wasser und gegebenenfalls Dünger nach, bis der EC-Wert 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ beträgt.
3. Notieren Sie in einer Datentabelle mit zugehörigem Datum für beide Hydrokulturen wie viel Wasser Sie zugeführt haben und ob Sie nachdüngen mussten.

Nach etwa 3 Wochen sollten Sie das Wasser in den Hydrokulturen einmal komplett wechseln. Reinigen Sie alle Materialien mit etwas Spülmittel und bauen Sie die Hydrokultur wie oben beschrieben wieder zusammen. Die Töpfchen mit den Pflanzen können Sie dazu vorsichtig entnehmen. Achten Sie dabei darauf, dass die Wurzeln nicht abbrechen.

Beobachtung des Pflanzenwachstums:

Notieren Sie alle 2-3 Tage Gewicht und Größe Ihrer Pflanzen.

1. Verwenden Sie für die Gewichtsbestimmung die Waage aus dem Koffer.
2. Entnehmen Sie ein Töpfchen mit einer Pflanze aus der Hydrokultur und lassen Sie das Wasser gut abtropfen.
3. Wiegen Sie das Töpfchen mithilfe der Waage und notieren Sie das Gewicht unter der zugehörigen Pflanzen-ID in Ihrer Datentabelle.
4. Durch die Gewichtsänderung an zwei unterschiedlichen Tagen, können Sie berechnen, wie schnell die Pflanzen an Gewicht zunehmen.
5. Sollten Sie Blähtonkugeln hinzugefügt haben, um die Pflanze zu stabilisieren, vermerken Sie das Gewicht der zugefügten Kugeln, damit Sie beim nächsten Mal diesen Wert wieder zurückrechnen können.

→ *Beispielrechnung:*

- Tag 1: 13,5 g
- Tag 2: 14,1 g
→ nach Wiegen werden 3,4 g Blähtonkugeln hinzugefügt
- Tag 3: 18,3 g
- Gewichtszunahme Tag 1-2: $14,1 \text{ g} - 13,5 \text{ g} = 0,6 \text{ g}$
- Gewichtszunahme Tag 2-3: $18,3 \text{ g} - 14,1 \text{ g} - 3,4 \text{ g} = 0,8 \text{ g}$

9. Die Größe der Pflanzen können Sie du mit einem Lineal oder Zollstock messen.
10. Beginnen Sie mit der Messung am oberen Töpfchenrand, bis zur höchsten Blattspitze.
11. Vermerken Sie auch alle anderen Veränderungen, die Sie an den Pflanzen beobachten können, wie beispielsweise gelbliche oder vertrocknete Blätter, Blüten- und Knospenbildung oder Frucht- und Rübenbildung.

Das Experiment zeigt nach 2-3 Wochen gute Ergebnisse. Sie können es allerdings auch über mehrere Monate laufen lassen.



2. Pflanzenwachstum in der Hydrokultur

Messwerte

Protokollieren Sie die Messwerte unter Angabe der zugehörigen Pflanzen-ID in der Datentabelle in der Rubrik „Pflanzenwachstum“. Dokumentieren Sie Gewicht, Größe und andere Beobachtungen, wie Blüten-, Knospen- und Fruchtbildung oder Mangelercheinungen.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I |
|---|---|--------|------------|-------------|-------|----------------|---------------------|------------------|----------------|
| 1 | Pflanzenwachstum | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | Anweisungen: - protokolliere Größe, Gewicht und Zustand der Pflanzen mit zugehöriger ID-Nummer | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | Datum | ID-Nr. | Größe (cm) | Gewicht (g) | Blüte | Knospenbildung | Frucht/Rübenbildung | Mangelercheinung | Bild-Dateiname |
| 6 | | | | | | | | | |

Auswertung

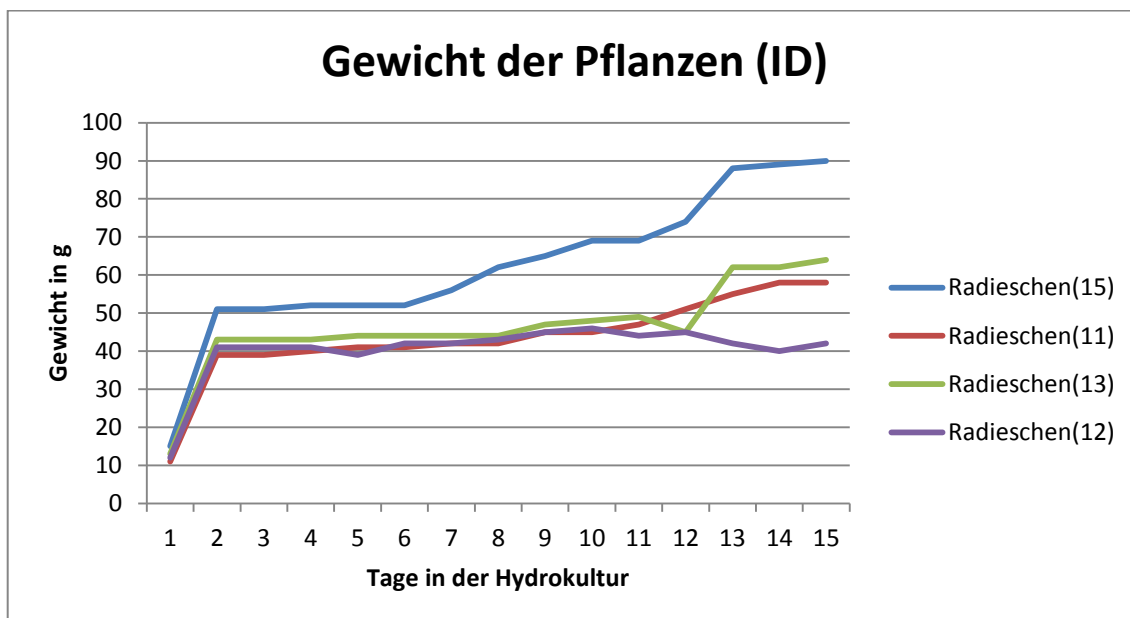
1. Welche Farben des Lichtspektrums sendet die Pflanzen-LED aus und warum?

Rot, Blau

Weil Pflanzen genau dieses Licht absorbieren, um Photosynthese zu betreiben. Deshalb sind sie auch grün.

2. Stellen Sie das Wachstum der Pflanzen grafisch dar, indem Sie in einem Diagramm Größe und Gewicht in Abhängigkeit von Anzahl der Tage einzeichnen.

Beispiel:



3. Welche Pflanzen wachsen schnell in die Höhe?

Mais, Weizen

4. Welche Pflanzen bauen schnell Biomasse auf?

Zuckerrübe, Radieschen, (Salat)



3. Nährstoff- und Wasserverbrauch

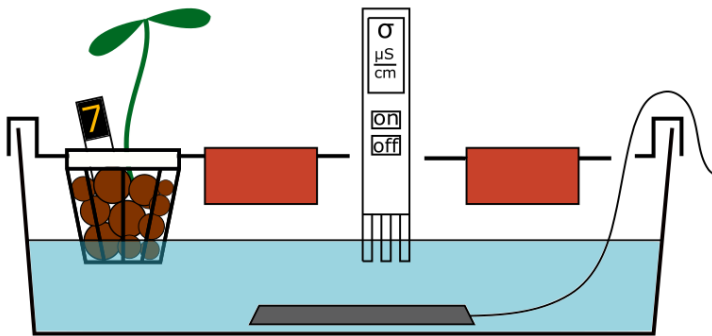
Aufgabe

Beobachten Sie den Nährstoff und Wasserverbrauch Ihrer Pflanzen in der Hydrokultur in Abhängigkeit von der Biomasse.

Aufbau

Benötigte Geräte

- EC-Messgerät



Durchführung

Die Beobachtung des Nährstoff- und Wasserverbrauches kann parallel zum Experiment 1.2 durchgeführt werden.

EC-Wert Beobachtung

1. Notieren Sie alle 2-3 Tage den EC-Wert der Hydrokultur. Am besten dann, wenn Sie auch die Größe und das Gewicht deiner Pflanzen messen.
2. Notieren Sie außerdem, wann Sie nachgedüngt haben und wie sich dabei die Werte verändert haben. Schreiben Sie in der Datentabelle dann den Messwert vor und nach der Düngung auf.

Wasserverbrauch

1. Überprüfen Sie alle 2-3 Tage, wie viel Wasser die Pflanzen in deiner Hydrokultur verbraucht haben.
2. Füllen Sie dafür das Wasser mit Hilfe eines Messbechers bis zur Markierung in Ihre Hydrokultur auf und notiere die zugegebene Wassermenge. Diese Wassermenge entspricht dem verbrauchten Wasser seit dem letzten Auffüllen.
3. Notieren Sie auch, wenn Sie das Wasser komplett auswechseln.

Der Verbrauch von Dünger und Wasser ist abhängig von der Größe und der Wachstumsphase der Pflanzen. Berechnen Sie deshalb mithilfe der Messwerte aus Experiment 1.2 die gesamte Biomasse der Pflanzen in deiner Hydrokultur und tragen Sie diese in die Datentabelle mit ein.

Notieren Sie außerdem in der Spalte „Beobachtungen“ alle Veränderungen an den Pflanzen, wie in Experiment 1.2.



3. Nährstoff- und Wasserverbrauch

Messwerte

Notiere Sie die Messwerte in der Datentabelle unter den Rubriken „EC Becken 1“ und „EC Becken 2“.

| | A | B | C | D | E | F | G |
|----|--------------------------|-----------|--|-------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | EC-Werte Becken 1 | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | Anweisungen: | | - Protokolliere bei jedem Gießen und Düngen die EC- Werte und dein Vorgehen | | | | |
| 6 | | | - Trage das Datum ein | | | | |
| 7 | | | - "Dünger zugefügt", "Wasser zugefügt?" und "Wasserwechsel?" mit ja/nein beantworten (auswählen) | | | | |
| 8 | | | - wenn Wasser zugefügt wurde, notiere die Menge in ml | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | Datum | EC | Dünger zugefügt? | Wasser zugefügt? | Wieviel ml? | Wasserwechsel? | neuer EC |
| 11 | | | | | | | |

Auswertung

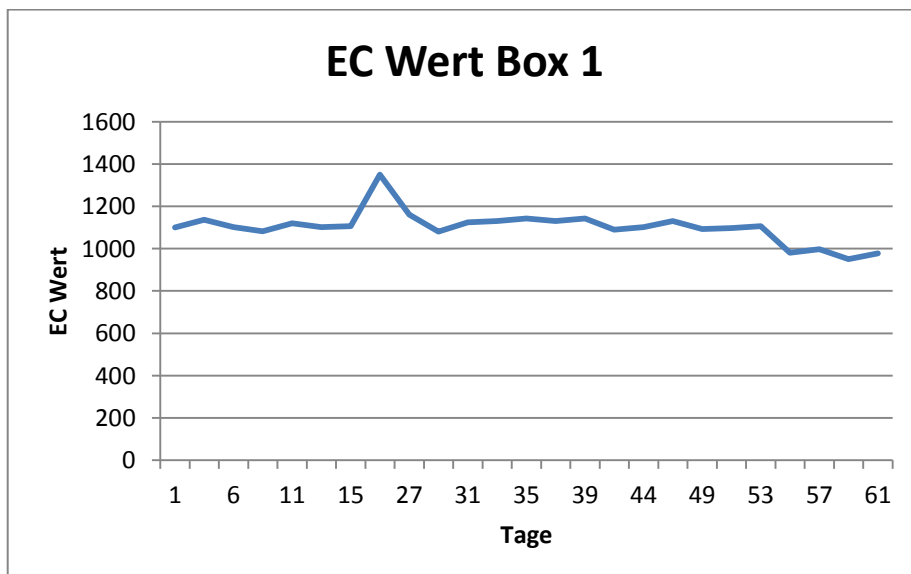
5. Was stellen Sie fest?

Je größer und älter die Pflanzen, das heißt, je größer die gesamte Biomasse in einem Becken, desto schneller sinkt der EC-Wert. Das bedeutet, größere Pflanzen verbrauchen mehr Nährstoffe.

Diagramme

Stellen Sie den EC-Wert in Abhängigkeit von der Zeit grafisch dar.

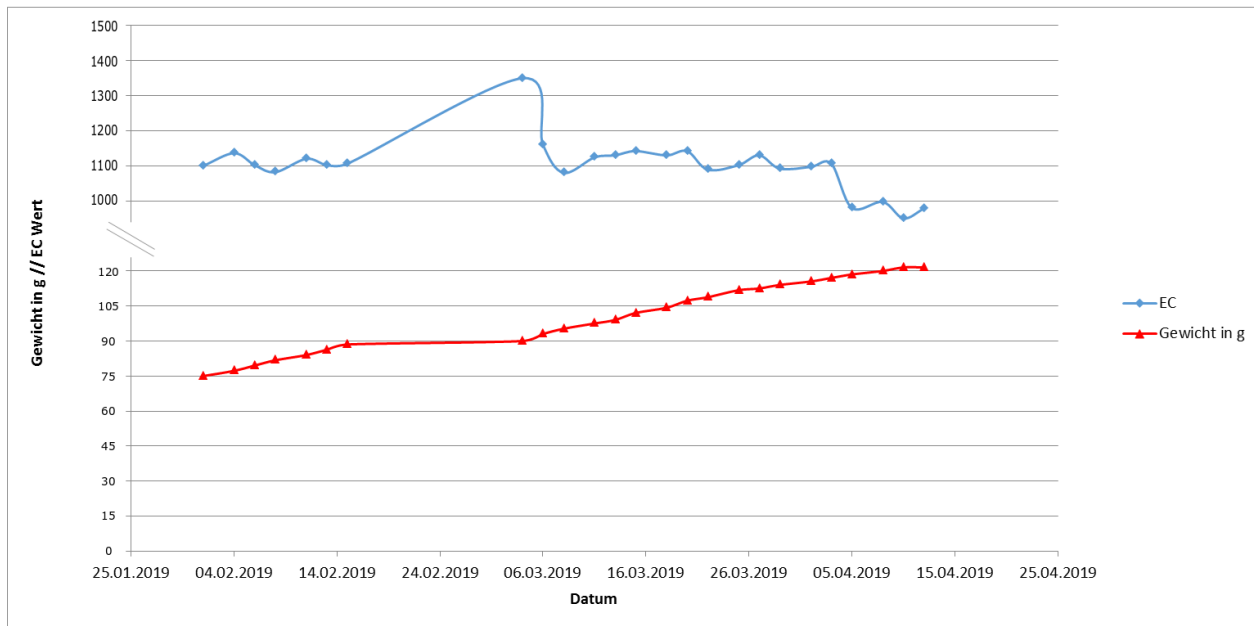
Beispiel:





Stellen Sie die EC-Wert Abnahme in Abhängigkeit von der Biomasse grafisch dar.

Beispiel:





4. Aerober Biomasseabbau im Kompost

Aufgabe

Setzen Sie einen Komposter an und beobachten Sie die Veränderungen in der Temperatur, Füllhöhe und dem Aussehen.

Aufbau



Benötigte Geräte

- Komposter
- Kompostbeschleuniger
- Temperaturlogger

Zusätzlich:

- Bioabfall
- Zweige
- Haustiermist
- Blätter, Gräser

Durchführung

Aufbau des Komposters:

1. Schließen Sie die Hülle des Komposters, indem Sie die Nasen an der kurzen Seite durch die Öffnungen auf der gegenüberliegenden Seite führen und einhaken.
2. Führen Sie die Nasen an der unteren Seite des entstandenen Zylinders in die Öffnungen der Bodenplatte des Komposters ein und drehen Sie den Zylinder soweit, dass die Nasen einhaken. Die Gummifüße der Bodenplatte sollten dabei nach unten zeigen.

Befüllen des Komposters:

1. Um Ihren Kompost zu befüllen, benötigen Sie Bioabfälle sowie kleine Zweige, Gräser, Blätter und Haustiermist, falls Sie zu Hause zum Beispiel ein Meerschweinchen halten.
Achten Sie darauf, dass die Bioabfälle keine Zitrusfrüchte oder bereits schimmelnde Bestandteile enthalten.
2. Mischen Sie die Bioabfälle mit Zweigen, Blättern, Gras und Haustiermist in einem Eimer.
3. Fügen Sie einige Teelöffel Kompostbeschleuniger und Wasser hinzu und vermischen Sie den Kompost gut.
4. Füllen Sie die Kompostmischung nun locker, ohne Druck auszuüben, in den Komposter.
5. Setzen Sie dabei den Temperaturlogger von oben in die Mitte des Kompostes ein.



4. Aerober Biomasseabbau im Kompost

Aufnahmen der Temperaturkurve:

1. Schließen Sie den Temperaturlogger an einen Computer an:
(Eine Kurzanleitung finden Sie im Abschnitt Handhabung oder im Internet unter www.elitechlog.com/software/)
 - a. Zeit und Datum sollten sich automatisch mit dem PC synchronisieren
 - b. Setzen Sie das Messzeit-Intervall auf 15 min.
 - c. Das Maximum und Minimum der Temperatur können Sie auf 20 und 60°C stellen.
2. Messen Sie die Raumtemperatur und notieren Sie sie.
3. Aktivieren Sie den Temperaturlogger, indem Sie den Playknopf „▶“ vier Sekunden lang drücken und lassen Sie ihn über zwei Wochen (oder mehr) Daten sammeln.

Beobachtung von Füllhöhe und Aussehen:

Notieren Sie außerdem über 2 Wochen täglich die Raumtemperatur und alle 2-3 Tage die Füllhöhe und die Erscheinung des Komposts (Farbe, Pilzwachstum aber auch Geruch, etc...) in der Datentabelle.

Messwerte

| Datum | Raumtemperatur | Füllhöhe [cm] | Zustand/Aussehen |
|-------|----------------|---------------|------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Auswertung

1. Stecken Sie den Temperaturlogger wieder an einen Computer an und lassen Sie sich von dem Programm den Grafen anzeigen. Drucken Sie ihn gegebenenfalls aus.
Was können Sie daraus ablesen? Begründen Sie dieses Phänomen.
2. Tragen Sie die Messwerte für die Füllhöhe in Abhängigkeit von der Zeit in das Diagramm ein. Was stellen Sie fest?
[Über die Zeit nimmt die Füllhöhe ab](#)
3. Beschreibe, wie sich das Aussehen deines Kompostes verändert und begründe dies.

[Bioabfälle werden dunkler, Füllhöhe des Kompostes nimmt ab](#)

→ Begründung: Organisches Material wird durch mikrobielle Prozesse abgebaut. Kompost verdichtet sich.



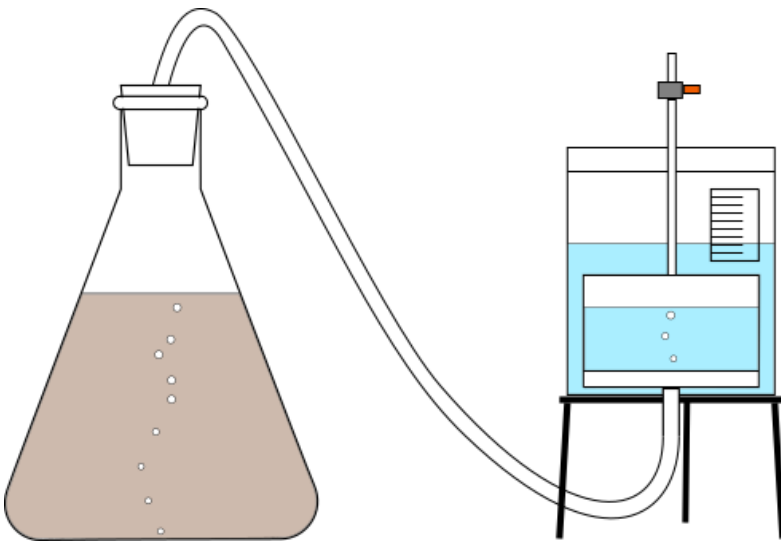
5. Anaerober Biomasseabbau zu Wasserstoff

Aufgabe

Erzeugen Sie Wasserstoff aus Biomasse. Weisen Sie ihn mit der Knallgasprobe nach und beobachten Sie die Umwandlung zu Strom mit Hilfe einer Brennstoffzelle.

Aufbau

Benötigte Geräte



- Erlenmeyerkolben
- Gummistopfen
- Gasauffanggefäß
- PEM-Brennstoffzelle
- Motormodul mit Propeller
- Kabel
- Kompostbeschleuniger
- Reagenzglas

Zusätzlich:

- Zucker
- Kochendes Wasser
- Kerze

Durchführung

Aufbau des Versuches:

1. Wiegen Sie 30 g Zucker und 10 g Kompostbeschleuniger ab und füllen Sie beides in den Erlenmeyerkolben.
2. Geben Sie dann 1 Liter kochend heißes Wasser darüber und verschließen Sie den Kolben mit dem Gummistopfen.
3. Bauen Sie das Auffangsystem zusammen und schließen Sie es an das Biomasseglas an:
 - a. Das Auffangsystem besteht aus zwei Behältern: dem kleineren Gasauffangbehälter im inneren und dem größeren Druckausgleichsbehälter mit der Skala den 2 Anschlüssen in Deckel und Boden.
 - b. Stellen Sie sicher, dass der Gasauffangbehälter im Druckausgleichsbehälter eingeschraubt ist.
 - c. Stellen Sie das Auffangsystem auf das Dreibein und schließen Sie von unten den Schlauch vom Erlenmeyerkolben an
 - d. Füllen Sie den Druckausgleichsbehälter mit Wasser. Der Gasausgleichsbehälter sollte sich ebenfalls langsam mit Wasser füllen
 - e. Füllen Sie den Druckausgleichsbehälter bis zur Nullmarkierung mit Wasser auf.



5. Anaerober Biomasseabbau zu Wasserstoff

- f. Führen Sie den Oberen Schlauch aus dem Gasauffangbehälter durch den Deckel des Druckausgleichsbehälters und schließe das Ventil an und drehen Sie das Ventil zu
- g. Schließen Sie den noch nicht verwendeten losen Schlauch am Ventil an und mit dem anderen Ende an der Brennstoffzelle

FUNKTIONSWEISE: Strömt nun Gas in das Gasauffanggefäß wird das Wasser nach oben in das Druckausgleichsgefäß verdrängt. An der Skala können Sie ablesen, wie viel Gas sich schon gesammelt hat. Wird das Ventil geöffnet, drückt das Wasser in dem Druckausgleichsgefäß das Gas aus dem Gefäß hinaus, weil es wieder nach unten strömen will.

4. Nach 1,5 bis 2 Tagen sollte sich anfangen in dem Gasauffangbehälter Gas zu sammeln.

Knallgasprobe

5. Ist der Gasauffangbehälter mehr als halb voll, nehmen Sie sich das Reagenzglas und lassen Sie über das Ventil etwas Wasserstoff hinein. Halten Sie es dann über eine Flamme. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.

Bitte passen Sie auf, dass Sie sich nicht verletzen und tragen Sie Handschuhe.

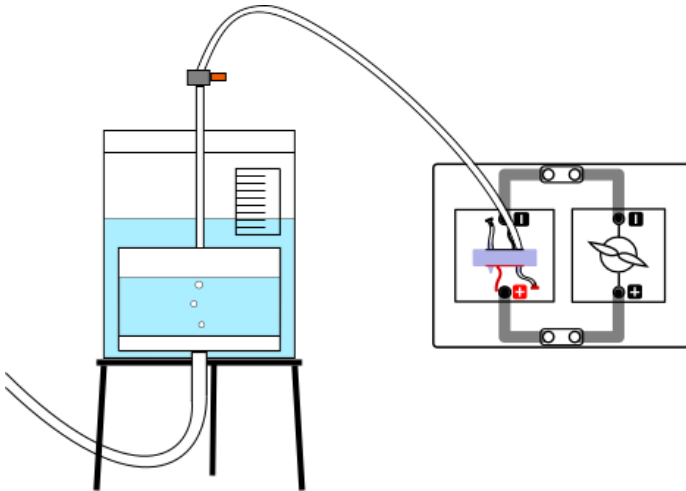
Gasproduktion mit und ohne Heizung

6. Lassen Sie das Gas über das Ventil bis zur Nullmarkierung ausströmen. Wie viel Gas hat sich nach einer Stunde wieder gesammelt?
7. Wiederholen Sie den Versuch mit der Heizung: Montieren Sie den Erlenmeyerkolben auf der Heizung und lassen Sie das Gefäß sich eine halbe Stunde lang erwärmen. Entleeren Sie es dann wieder bis zur Nullmarkierung und schauen Sie nach einer halben Stunde wieder wie viel Gas sich nun gesammelt hat.



5. Anaerober Biomasseabbau zu Wasserstoff

Brennstoffzelle



8. Stecken Sie nun den Schlauch vom Auffängergerät an die richtige Stelle der Brennstoffzelle an und öffnen Sie das Ventil.
9. Verbinden Sie mit den Kurzschlusssteckern das Motormodul mit der Brennstoffzelle.
10. Warten Sie zwischen 15 und 30 Minuten. Wann beginnt sich der Motor zu drehen?

Messwerte

1. Knallgasprobe

Beobachtung:

2. Gas sammeln

Wasserstoffvolumen ohne Heizung

Wasserstoffvolumen mit Heizung

3. Brennstoffzelle

Beobachtung:

Auswertung

1. Warum knallt das Gas?
2. Erklären Sie warum sich mit oder ohne Heizung mehr Gas in der gleichen Zeit im Reagenzglas sammelt.

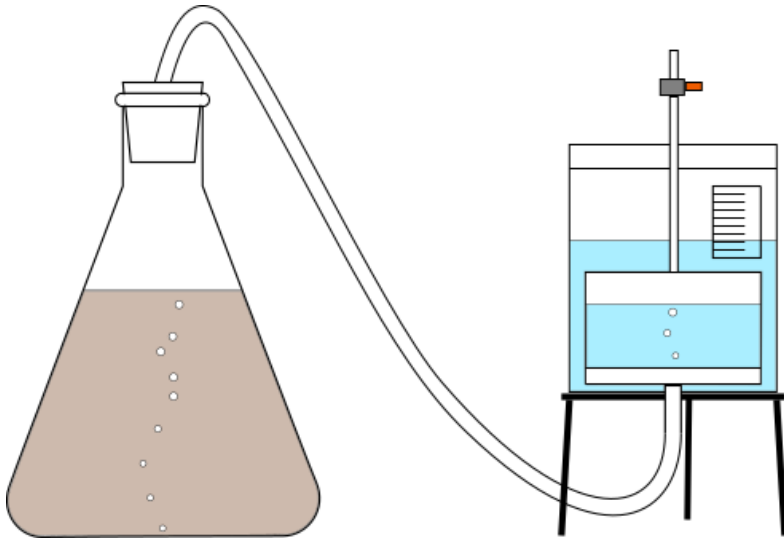


6. Anaerober Biomasseabbau zu Methan

Aufgabe

Erzeugen Sie Methan aus Biomasse. Weisen Sie das Methan nach, indem Sie es mit dem Bunsenbrenner verbrennen.

Aufbau



Benötigte Geräte

- Erlenmeyerkolben
- Gummistopfen
- Gasauffanggefäß
- Bunsen Brenner

Zusätzlich:

- Kuhdung
- Wasser

Durchführung

1. Besorgen Sie sich Kuhdung von einem Bauernhof oder einer Weide.
2. Geben Sie den Kuhdung in das Glas bis es etwa zu einem Drittel damit gefüllt ist und füllen Sie es bis zum Rand mit kaltem Wasser auf.
3. Schrauben Sie den Deckel darauf und schütteln Sie das Glas leicht, damit sich der Kuhdung gut mit dem Wasser mischt.
4. Bauen Sie das Auffangsystem zusammen und schließen Sie es an das Biomasseglas an:
 - a. Das Auffangsystem besteht aus zwei Behältern: dem kleineren Gas auffangbehälter im inneren und dem größeren Druckausgleichsbehälter mit der Skala den 2 Anschlüssen in Deckel und Boden.
 - b. Stellen Sie sicher, dass der Gas auffangbehälter im Druckausgleichsbehälter eingeschraubt ist.
 - c. Stellen Sie das Auffangsystem auf das Dreibein und schließen Sie von unten den Schlauch vom Erlenmeyerkolben an
 - d. Füllen Sie den Druckausgleichsbehälter mit Wasser. Der Gasausgleichsbehälter sollte sich ebenfalls langsam mit Wasser füllen
 - e. Füllen Sie den Druckausgleichsbehälter bis zur Nullmarkierung mit Wasser auf.
 - f. Führen Sie den Oberen Schlauch aus dem Gas auffangbehälter durch den Deckel des Druckausgleichsbehälters und schließe das Ventil an und drehen Sie das Ventil zu
 - g. Schließen Sie den noch nicht verwendeten losen Schlauch am Ventil an und mit dem anderen Ende an dem Bunsen Brenner



FUNKTIONSWEISE: Strömt nun Gas in das Gasauffanggefäß wird das Wasser nach oben in das Druckausgleichsgefäß verdrängt. An der Skala können Sie ablesen, wie viel Gas sich schon gesammelt hat. Wird das Ventil geöffnet, drückt das Wasser in dem Druckausgleichsgefäß das Gas aus dem Gefäß hinaus, weil es wieder nach unten strömen will.

5. Nach 2 Wochen sollte sich in dem Gasauffangbehälter Gas langsam sammeln.
6. Wenn sich der Gasauffangbehälter zu einem Viertel oder mehr gefüllt hat, können Sie das Gas auf seine Brennbarkeit testen:
 - a. Öffnen Sie dazu das Ventil und versuchen Sie das ausströmende Gas mit einem Feuerzeug oder Streichholz zu entzünden. **Bitte achten Sie auf Ihre Sicherheit!**
 - b. Die bläuliche Flamme sieht man am besten vor einem dunklen Hintergrund, also schalten Sie eventuell das Licht aus.
 - c. Am Anfang kann es sein, dass das Gas nicht brennt. Ist das der Fall, lassen Sie das Gas ab, bis das Wasser wieder an der Nullmarkierung steht und warten, bis sich wieder genug Gas gesammelt hat, welches Sie erneut testen können.
 - d. Sobald Sie eine Flamme erzeugen können, können Sie mit den Experimenten fortfahren.

Gasproduktion mit und ohne Heizung

7. Leeren Sie das Methan im Gasauffanggefäß bis zur 0 Linie aus.
8. Beobachten Sie wie viel Gas sich im Zeitraum von einem halben bis einem Tag in dem Gefäß sammelt, wenn Sie die Heizung nutzt. Notieren Sie die Volumen.
9. Leeren Sie das gesammelte Methan dann wieder bis zur 0 Linie aus.
10. Nehmen Sie den Erlenmeyerkolben von der Heizung und beobachten Sie wiederum, wie viel Gas sich nun im Gefäß nach einem halben bis einem Tag sammelt.



6. Anaerober Biomasseabbau zu Methan

Messwerte

Methanproduktion

| | Start | Test 1 | Test 2 | Test 3 | ... |
|----------------|-------|--------|--------|--------|-----|
| Datum, Uhrzeit | | | | | |
| Brennbarkeit | --- | | | | |

Gasproduktion mit und ohne Heizung

| | Mit Heizung | | Ohne Heizung | |
|-----------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| | Datum, Uhrzeit | Volumen (ml) | Datum, Uhrzeit | Volumen (ml) |
| Start | | | | |
| Nach einem halben Tag | | | | |
| Nach einem ganzen Tag | | | | |

Auswertung

Nach welcher Zeit ist das aufgefangene Gas brennbar? Erklären Sie ihre Beobachtung?

Am Anfang ist das Gas nicht brennbar, weil die Bakterien zuerst nur CO₂ produzieren.

Wie viel mehr Gasvolumen kann man mit oder ohne Heizung an einem Tag sammeln. Warum ist das so?

Die Bakterien sind aktiver, wenn es wärmer ist und produzieren so mehr Methan.

leXsolar GmbH
Strehleener Straße 12-14
01069 Dresden / Germany

Telefon: +49 (0) 351 - 47 96 56 0
Fax: +49 (0) 351 - 47 96 56 - 111
E-Mail: info@lexsolar.de
Web: www.lexsolar.de