



→ TREIBHAUS IM WELTRAUM

Ergebnisse und Schlussfolgerungen, Teil 2

Bei Langzeitmissionen stellt die gesunde Ernährung der Astronauten eine besondere Herausforderung dar. Wäre die Besatzung in der Lage, einen Teil ihrer Nahrungsmittel an Bord zu erzeugen, so wäre sie zumindest bis zu einem gewissen Grad autonom. In der begrenzten Welt einer Raumstation im Orbit oder auf einem anderen Planeten sind dafür spezielle Treibhäuser erforderlich.

Auf der Erde lassen sich in Treibhäusern verschiedene Parameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wasser und Licht kontrollieren. Auch die Belüftung ist ein wichtiger Faktor – sie beugt Infektionen und dem Wachstum schädlicher Organismen wie zum Beispiel Schimmel vor.

In Treibhäusern kann das ganze Jahr über Obst und Gemüse gezüchtet werden, was besonders in Ländern mit niedrigen Temperaturen und verminderter Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten von großer Bedeutung ist. Ein gutes Beispiel dafür sind die Niederlande, wo Treibhausanlagen wie die unten abgebildete eine wichtige Rolle spielen.



In **Teil I** werden die Photosynthese, also der Prozess, mit dem Grünpflanzen aus Sonnenlicht Energie erzeugen, sowie die Voraussetzungen für die Keimung von Samen erläutert.

Für ein gesundes Wachstum müssen Pflanzen die notwendigen Nährstoffe über ihre Wurzeln aufnehmen. Der Boden ist das Medium, in dem sich diese Nährstoffe befinden. Er selbst ist für das Pflanzenwachstum allerdings nicht notwendig.

Weltraumfakt

Auf Weltraummissionen werden organische Materialien wie Erde aus Sicherheitsgründen nicht mitgeführt. Stattdessen weicht man auf ein sterilisiertes Medium namens Perlit aus. Die nötigen Nährstoffe mit allen Ionen und Verbindungen, die Pflanzen zum Wachsen brauchen, stammen aus zugesetztem Dünger.

Im „Treibhaus im Weltraum“-Projekt wurde untersucht, ob es möglich ist, unter den Bedingungen der Mikrogravitation im Weltraum aus Samen Pflanzen zu ziehen. Samen der *Arabidopsis thaliana* (Acker-Schmalwand), einer kleinen, selbstbestäubenden Blütenpflanze, wurden in einem speziellen Minitreibhaus herangezogen. Als Wachstumsmedium enthielt dieses Treibhaus Perlit mit zugesetztem Dünger, der den Pflanzen die nötigen Nährstoffe für ein gesundes Wachstum lieferte.

Arabidopsis thaliana entwickelt sich aus winzigen Samen und bildet rosettenartig angeordnete Grundblätter, aus denen lange Stängel emporwachsen, an denen sich kleine, weiße Blütenstände bilden. Die



Blüten sind selbstbestäubend. Sie bringen lange, geschlossene Schoten als Fruchtstände hervor. Diese sind anfangs grün, werden dann braun und trocknen aus. Mit den winzigen Samen darin beginnt ein neuer Lebenszyklus.

Auf der Erde richtete die ESA (Europäische Welt- raumorganisation) als Kontrollversuch ein ver- gleichbares Treibhaus ein und beobachtete den Entwicklungsverlauf.



Das Treibhaus wurde in einem Modul platziert, das ähnliche Be- dingungen bot wie das Colum- bus-Modul im Weltraum.

Die Abbildung links zeigt das Wachstum der Pflanzen auf der Erde innerhalb von mehreren Wochen.

Schon gewusst?

Das Weltraumtreibhaus war eine Spezialentwicklung, bei der sich die Samen und das Wachstumsmedium in einer Wachstumskammer befanden. Andernfalls wären sie in der Schwerelosigkeit davongeschwebt! Zur Bewässerung diente Wasser (im Weltraum äußerst kostbar) aus einem speziellen Trinkwasserbeutel, das mittels einer Spritze verteilt wurde. Die gesamte Wachstumskammer war versiegelt. Sobald der Astronaut die Stöpsel (rot) herauszog, war das Treibhaus einsatzbereit. Ein gewisses Maß an Belüftung war jedoch gegeben, da es nicht hermetisch abgedichtet war.



Auch in Schulen wurden ähnliche Experimente unternommen. Die Schüler zogen in ihren eigenen Minitreibhäusern Samen der gleichen Spezies und über-

wachten die Wachstumsbedingungen im Treibhaus. Ziel war ein Vergleich des Wachstumsverhaltens ähnlicher Samen unter den Bedingungen der Mikrogravitation und der irdischen Schwerkraft.

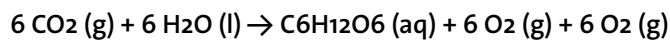


Einige Ergebnisse und Beobachtungen

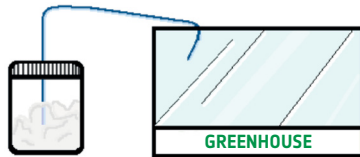
Das Projekt war auf 10 Wochen ausgelegt. Über eine aktive [Facebook](#)-Seite konnten die Schulen und die ESA während des Beobachtungszeitraums miteinander kommunizieren.

Ein direkter Vergleich zwischen dem Experiment im Weltraum und den Ergebnissen auf der Erde war letztlich jedoch nicht möglich. Im Weltraum entwickelte sich im Perlit, wo die ersten *Arabidopsis*-Pflanzen gekeimt hatten, eine schimmelartige Substanz. Aus Sicherheitsgründen musste das Weltraumexperiment daher abgebrochen werden. Wie der ESA-Astronaut Paolo Nespoli das Problem löste, siehst du [hier](#).

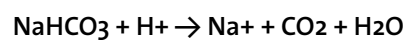
Auch in einigen Schulen kam es zu ähnlichen Ergebnissen. Die Erich-Kästner-Schule (Deutschland) versuchte, ihre Samen mithilfe einer Mischung aus Natrontabletten und Essigsäure mit zusätzlichem Kohlendioxid zu versorgen. Durch die Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration lässt sich die Photosyntheserate bis zu einem gewissen Grad erhöhen. Bei der Photosynthese werden aus Kohlendioxid und Wasser Zucker und Sauerstoff gebildet.



Gasförmiges Kohlendioxid + Wasser → Glucose (Zucker) + gasförmiger Sauerstoff



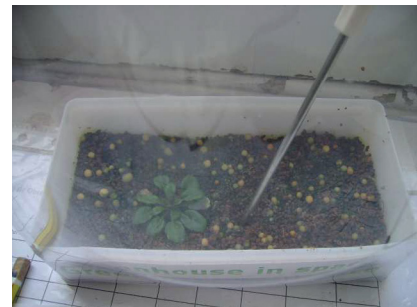
Das Natriumhydrogencarbonat (Natron) reagiert mit dem Wasserstoff aus der Essigsäure, wobei unter anderem Kohlendioxid entsteht.



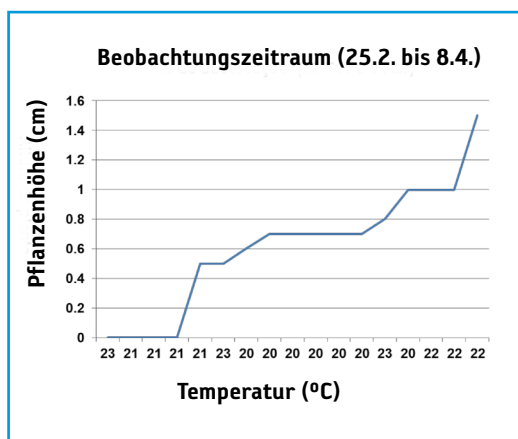
Die engagierten Schüler versuchten sogar, den Schimmel mit Pinzetten zu entfernen, aber auch das konnte das Absterben ihrer Pflanzen nicht verhindern. Allerdings erzielten sie bei der Anzucht der Samen in handelsüblicher Blumenerde große Erfolge und schlossen daraus, dass die Qualität des Perlits der Verbesserung bedurfte. Auch andere Schulen, ebenso wie die ESA, wechselten das Wachstumsmedium. Das Ergebnis war ein mehrwöchiges, gesundes Pflanzenwachstum, das schließlich in einem vollständigen Lebenszyklus mit neuer Samenbildung mündete. Auf [dieser](#) Facebook-Seite findest du weitere Informationen.



Der C.E.I.P León Filipe aus Madrid, Spanien, gelang die Züchtung einer gesunden Pflanze, ebenso den Schülern der weiterführenden Schule Antero de Quental Ponta Delgada in Açores, Portugal, die uns Fotos schickten.



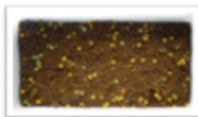
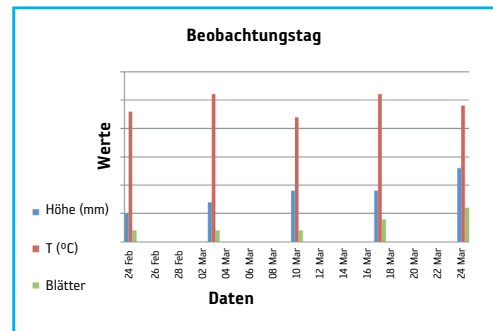
Die Ergebnisse wurden in unterschiedlicher Weise dargestellt:



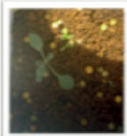
Laut Beobachtungen der Schüler des Colégio Nossa Senhora do Alto aus Faro in Portugal keimten die Samen nach etwa 3 Tagen und wuchsen in den nächsten 6 Wochen langsam bis auf eine Höhe von 1,50 cm. Die Temperatur betrug dabei 20-23 °C. Dieses Ergebnis war nicht optimal und die Schüler fanden keine Erklärung dafür, warum die Pflanzen nicht gediehen. Möglicherweise lag es an den Düngerpellets, die sich im Perlit nur unzureichend auflösten. Pflanzen brauchen für ihr Wachstum eine ausreichende Zufuhr an Makronährstoffen.

Die Bausteine für das Pflanzenwachstum, „Makronährstoffe“ genannt, sind folgende:
 Nitrate und Ammoniumsalze (NO₃ oder NH₄)
 Phosphate (PO₄)
 Kalium (Kaliumsalze)
 Sulfate (SO₄)
 Kalziumsalze (Kalziumnitrat)

Die Schüler der EB 2/3 de Olival in Vila Nova de Gaia, Portugal, fanden heraus, dass die Anzahl der Blätter im Lauf der Zeit zunahm und sich diese Zunahme proportional zum beobachteten Wachstum verhielt. Die Temperatur im Treibhaus lag zwischen 22 und 26 °C. Die meisten berichteten von der Entwicklung einer schimmelartigen Substanz, möglicherweise zurückzuführen auf zu starke Bewässerung bzw. mangelnde Belüftung im Minitreibhaus.



Woche 3: Die Pflanze hat 3 Blätter und ist 7 mm hoch.



Woche 5: Die Pflanze hat 5 Blätter und ist 1 cm hoch.



Woche 7: Die Pflanze hat Blätter mit roten Stängeln. An der Basis bildet sich Schimmel.



Woche 8: Nach einem heißen Wochenende ist die Pflanze eingetrocknet und mit Schimmel überzogen. Sie wirkt vertrocknet.

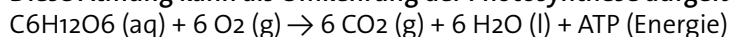
Die Bilder links stammen aus der EB 23 D. Duarte in Viseu, Portugal, wo man mit den Pflanzen ähnliche Probleme erlebte. Am Ende unterlagen sie dem Schimmel.

Schlussfolgerungen:

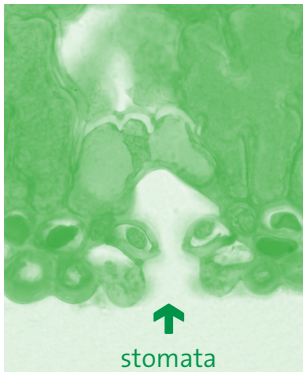
Als eine der wichtigsten Beobachtungen lässt sich festhalten, dass in den meisten Schulen einige Arabidopsis-Samen keimten, die Keimlinge aber innerhalb von 2-3 Wochen wieder eingingen. Dafür kommen mehrere Gründe in Frage. In der Alexander-Lebenstein-Realschule (Deutschland) beispielsweise keimten die Samen, aber die Schüler stellten das Treibhaus in direktem Sonnenlicht auf, wo die Temperaturen 42 °C erreichten und die Keimlinge abstarben.

Keimlinge müssen Photosynthese betreiben, um Energie in chemischer Form (Zucker) zu speichern und dadurch zu wachsen. Pflanzen müssen aber auch atmen. Als Atmung bezeichnet man einen Prozess, bei dem Zucker mithilfe von gasförmigem Sauerstoff in den Zellen verstoffwechselt wird (aerobe Atmung, Zellatmung). Dabei entsteht Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat), dem Energielieferanten für die lebensnotwendigen Prozesse in lebenden Zellen.

Diese Atmung kann als Umkehrung der Photosynthese aufgefasst werden:



Steigen die Außentemperaturen sehr stark an, können sich einige Pflanzen anpassen, indem sie auf ihren Blattoberflächen eine wachsartige Substanz bilden, die Wasserverlusten vorbeugt. Dies kann man beispielsweise bei Erbsen oder Kohl beobachten. Andere Pflanzen, wie etwa Kakteen, bringen als Anpassung Stacheln anstelle von Blättern hervor.



Der Wasserdampf geht bei Pflanzen durch winzige Öffnungen an der Blattunterseite, die so genannten Stomata, verloren. Über diese Öffnungen nehmen die Pflanzen auch das Kohlendioxid für die Photosynthese auf. Beim Austausch von Wasserdampf und gasförmigem Kohlendioxid verliert die Pflanze Wasser. Dieser Prozess heißt Transpiration.

Schüler des Liceo Claudio Eliano in Palestrina, Italien, fanden heraus, dass ein Mangel an Licht und Wärme bei ihren Keimlingen nach nur 3 Wochen zum Absterben führte. Denn selbstverständlich sind Licht und Wärme unverzichtbare Voraussetzungen für gutes Pflanzenwachstum. Es wäre also hilfreich gewesen, den Pflanzen mithilfe einer künstlichen Lichtquelle kontinuierlich Lichtenergie zuzuführen, um ihnen die Photosynthese zu ermöglichen.

An der Escola Secundária Antero de Quental (ESAQ) Ponta Delgada in Açores, Portugal, entwickelte sich im Treibhaus der Schüler nur eine einzige gesunde Pflanze, während die anderen Samen nicht keimten. Die Pflanze zeigt die klassische Blattrosette an der Basis.

Die portugiesische Schule Abel Salazar in Matosiños testete mehrere Verfahren, um die Samen zum Keimen zu bringen. Einige Samen säten die Schüler in Gelatine aus. Diese gingen kurz nach der Keimung ein. Andere Samen wurden in Torf ausgesät und keimten nur langsam. Am Ende fanden die Schüler einen geeigneten Kompost, auf dem die Samen keimten und die Pflanzen einen kompletten Lebenszyklus vollenden konnten.

Die Schüler der Don Carlo Martino-Schule in Italien beobachteten im Februar ein spärliches Pflanzenwachstum und kamen zu dem Schluss, die niedrigen Temperaturen sowie das im Perlit gebundene Wasser seien dafür verantwortlich. Aber sie gaben nicht auf. Anfang April pflanzten sie die Keimlinge in feuchte Erde um. Dank einer sorgsamten Kontrolle von Bewässerung und Temperatur entwickelten die Pflanzen innerhalb des ersten Wachstumsmonats Blütenstände und schon Mitte Juni die ersten Samen. Am Ende des Experiments hatte eine reife Pflanze 58 Blätter und 25 Blüten, und zwar bei einer Temperatur von 28 °C im Treibhaus.



Pflanzen brauchen Wasser, Sonnenlicht und Kohlendioxid, um zu gedeihen. In einem Treibhaus kann man Temperatur und Luftfeuchtigkeit kontrollieren und auf diese Weise die Wachstumsbedingungen regulieren, aber unter Umständen kommt es trotzdem zur unerwünschten Entwicklung von Schimmelpilzen. Ursache sind oft zu viel Wasser und zu wenig Belüftung. Die am „Treibhaus im Weltraum“-Projekt beteiligten Schüler testeten anhand unterschiedlicher Verfahren, was als Ursache für den unvollständigen Lebenszyklus ihrer Pflanzen infrage kam. Sie experimentierten mit unterschiedlichen Wachstumsmedien, der Zugabe zusätzlicher Nährstoffe und sogar mit unterschiedlichen Treibhaustypen. Auf diese Weise versuchten sie, Hypothesen über die Ursache des geringen Pflanzenwachstums aufzustellen.

Die Schüler mehrerer Schulen nahmen das „Weltraumexperiment“ zum Anlass, sich als Wissenschaftler zu versuchen, und setzen ihre Untersuchungen, wie man Samen von der Keimung bis zur Reife führen kann, bis heute fort.

Abschließende Überlegungen

Schon seit langer Zeit werden im Rahmen von Weltraumprogrammen Experimente zum Pflanzenwachstum durchgeführt. Pflanzenfachleute werden auch künftig Forschungen über die Zucht von Nahrungspflanzen auf Langzeitmissionen durchführen, die den Astronauten ein gewisses Maß an Autonomie sichern könnten.

17 Monate lang fungierten die Mitglieder der **Mars500**-Besatzung als „Weltraumgärtner“. Sie führten das gleiche Experiment durch wie Paolo Nespoli auf der ISS und schafften es, ihre Pflanzen bis zur Reife zu führen und eine neue Samengeneration zu gewinnen.

Romain Charles, ein Mitglied der Besatzung, fasste die Ergebnisse folgendermaßen zusammen:

*„Am 17. Februar 2011 begannen wir das Experiment **Treibhaus im Weltraum** mit vier kleinen Treibhäusern. Wir säten insgesamt 36 Samen aus. Nach einem Monat hatten sich in zwei der Treibhäuser nur fünf Keimlinge entwickelt. Daraufhin beschloss ich, in den zwei anderen Treibhäusern neue Erde auszubringen und dort 16 neue Samen auszusäen. Nach ein paar Wochen hatten sich sieben verschiedene Pflanzen entwickelt, von denen einige aber bereits wieder abstarben.*

Nach 12 Wochen (3 Monaten) öffneten sich die Schoten der einzigen überlebenden Pflanze und ich konnte die Samen ernten. Daraufhin habe ich wieder ein Treibhaus mit neuer Erde vorbereitet und die geernteten Samen darin ausgesät, um zu testen, ob unsere Pflanzenzucht nachhaltig war. Aber leider waren nach 3 Wochen immer noch keine Keimlinge zu sehen.“

Die Ergebnisse dieser Experimente kannst du ebenfalls auf **Facebook** verfolgen.

Mehr über die Investitionen der ESA in die Erforschung der Pflanzenzucht und Nahrungsmittelkonservierung auf Langzeitmissionen sowie in Erfolg versprechende Technologien für die künftige Nahrungsmittelproduktion auf der Erde, wo Klimawandel und Bevölkerungswachstum globale Herausforderungen darstellen, findest du auf der **DVD „Feeding our Future – Nutrition on Earth and in Space“**.