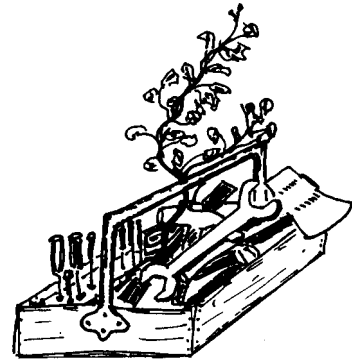


Unterrichtsprojekte Natur und Technik

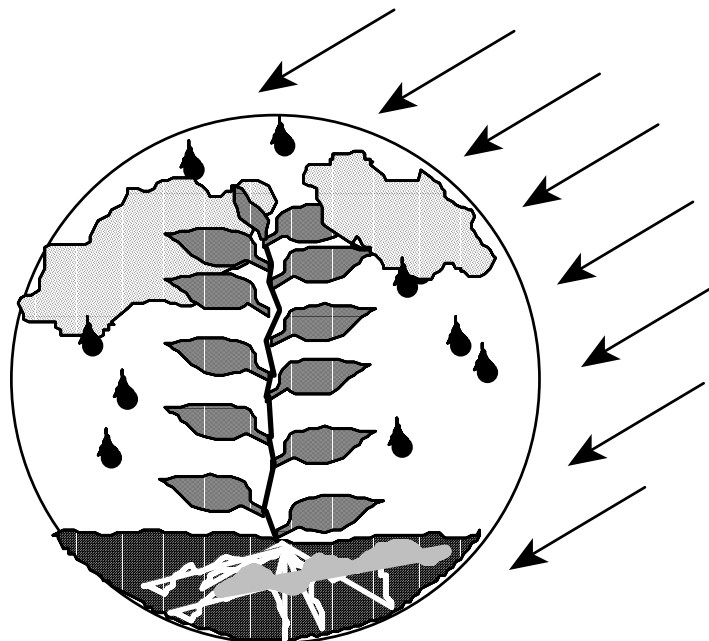
Hrsg.: Landeshauptstadt Hannover, Schulamt
Schulbiologiezentrum Hannover
Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover
Tel. : 168-47665/7
Fax: 168-47352
Email: 40.50@hannover-stadt.de
web: www.schulbiologiezentrum-hannover.de



19.39

Zum Nachbau
für fachübergreifenden Unterricht,
Arbeitsgemeinschaften und Projektwochen

"Das Raumschiff Erde" - eine künstliche Biosphäre als
Simulation der Lebensverhältnisse auf unserem
Planeten



Pflanzen, über Jahre im fest verschlossenen Glasgefäß "eingesperrt", ohne jede Pflege
üppig einfach vor sich hin wachsend....Gibt's das?

Müssen die Pflanzen nicht vertrocknen oder verhungern? Geht ihnen nicht irgendwann die Luft aus? Mitnichten!

In vielen Experimenten jahrelang getestet, zeigt sich, dass der "Regenwald im GURKENGAS",

wie wir die Biosphäre im Kleinformat irgendwann einmal getauft haben, bestens geeignet ist, auch dem gießfaulsten Menschen - ohne den berühmten "grünen Finger" - zum prachtvollen Blumenfenster zu verhelfen.

Dabei können wir eine Menge über die Funktionsweise der großen Biosphäre - unserer Erde - lernen.

Unter dem Titel "Biosphäre III - oder der Regenwald im GURKENGAS" haben wir 1994 eine "Bauanleitung" veröffentlicht (AH 19.10). Seit 1999 steht eine etwas größere Biosphäre im Themengarten "Sonne, Energie, Klima". Die Freilandaufstellung schuf eine Reihe neuer Fragestellungen und technischer Probleme, die wir aber als gelöst betrachten können. Das vorliegende Heft soll Anregung und Anleitung zugleich sein, ein ähnliches Projekt z.B. im Schulgarten anzugehen.

Um das Thema "Biosphäre" kreisen wichtige schulische Themen wie z.B.

- Wasserkreislauf und -haushalt in Ökosystemen
- Energiefluss in Ökosystemen
- Nahrungsketten
- Sonne und Klima
- Treibhauseffekt

Die Atmosphäre

Die Hauptbestandteile der Atmosphäre sind Stickstoff N_2 ($\approx 78\%$), Sauerstoff ($\approx 21\%$), Argon ($<1\%$), Kohlenstoffdioxid CO_2 ($\approx 0,035\%$) und Wasserdampf. Die Relation wird besonders anschaulich, wenn entsprechende Volumina verschiedenfarbiger Lösungen nacheinander in ein Zylindermessgefäß (z.B. bis 100 ml) gegeben werden.

Das "böse" CO_2 , ohne das wir nicht wären....

Der Begriff "Treibhauseffekt" ist nach Jahren der politisch geführten Klimadiskussion stark negativ besetzt. Wir haben an schmelzende Gletscher, Sturmfluten und andere, in erster Linie die menschliche Zivilisation betreffende Katastrophen zu denken.

Dem Kohlenstoffdioxid CO_2 , das in der Atmosphäre nur in Spuren (0,035%) vorkommt, wird in der Presse die Rolle eines "Klimakillers" zugewiesen. Die Verknüpfung Energie (Verbrennungsprozesse) - CO_2 zeigt auf das "Hauptübel" des Planeten, den Menschen, in erster Linie den Menschen der sogenannten "Ersten Welt". Soweit so gut - und dennoch zu kurz gegriffen.

Aus dem Blick gerät nämlich, dass dieser Planet ohne CO_2 höchstwahrscheinlich viel zu kalt wäre, um Leben zu gestatten.

Ohne den natürlichen Treibhauseffekt, an dem auch der viel unschuldiger daher kommende Wasserdampf erheblichen Anteil hat, läge die globale Mitteltemperatur der Erde 33° unter der tatsächlich gemessenen. Die Absorption der langwelligen Wärmestrahlung durch CO_2 ist der "Pelzmantel" einer sonst vereisten Erdoberfläche. Dass eine weitere Pelzschicht zur Erwärmung führt, steht außer Frage. Daher sollte ein Anwachsen der CO_2 -Konzentration schon aus Vorsicht vermieden werden, selbst wenn die Verknüpfung Treibhausgas - Erwärmung - Klimakatastrophe bis heute wissenschaftlich nicht eindeutig ist.

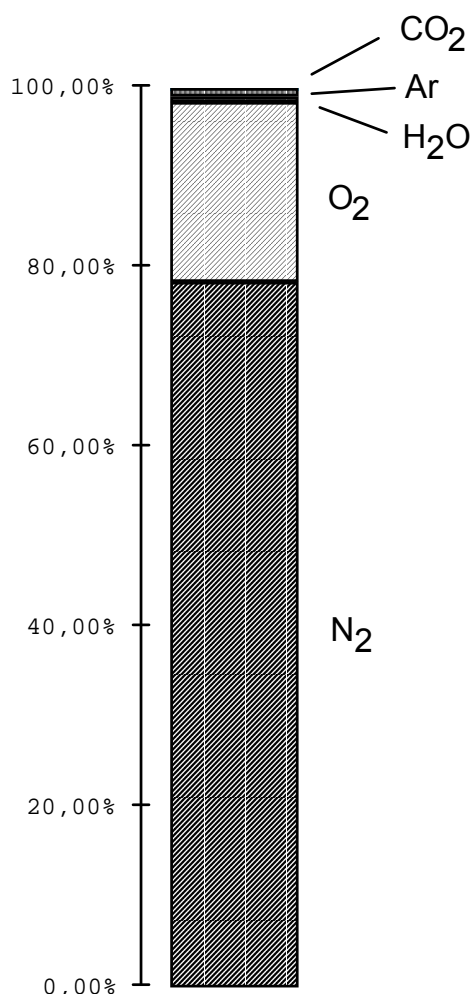
Ohne CO_2 (und Wasserdampf) wäre unser Planet kalt und tot, das sollte im Bewusstsein bleiben.

Schließlich wäre die "Urproduktion" von Nährstoffen ohne CO₂ nicht möglich. Es gäbe weder Pflanzen, Tiere noch Menschen. Kein Brot, keine Pizza, aber auch kein Steak ohne die Photosynthese der grünen Pflanzen. Aber auch kein Sauerstoff zum Atmen, den eben diese Photosynthese dem Wasser zu entreißen vermag...

Das (fast) ausbalancierte Verhältnis des zur Photosynthese notwendigen CO₂ und des zur Atmung erforderlichen O₂ lässt sich in einer künstlichen Biosphäre demonstrieren.

Offensichtlich herrscht über lange Zeiträume hinweg (Jahre) kein Mangel, weder am einen noch am anderen Gas. Dies unterscheidet die Biosphäre von einem Glas, in dem sich eine brennende Kerze oder eine Maus befindet.

Eine dünne Haut aus Gas



Die Erdatmosphäre des "blauen Planeten" ist gemessen an der Größe der Erde eine verschwindend dünne Schicht. An einem Globus lässt sich das mit Maßband und Dreisatzrechnung (oder einfacher!) zeigen. Besonders gut geeignet ist eine große aufblasbare Erdkugel.

Gehen wir davon aus, dass oberhalb von 8000 m kein Mensch ohne lebenserhaltende Systeme existieren kann.

Wie dick wäre die Atmosphäre auf dem Globus? Der Umfang der Erde von 40000 km wird mit 8 km ins Verhältnis gesetzt.

Mit dem Maßband ermitteln wir den Äquatorumfang des Globus, z.B. 200 cm. Wenn 40000 km auf 200 cm zusammenschrumpfen, ist 1 Erdkilometer auf dem Globus 200 cm : 40000 = 0,005 cm = 0,05 mm lang. Die Dicke der "Globusatmosphäre" ist damit 0,05 mm x 8 = 0,4 mm.

Die Anteile, in Gedanken übereinander gestapelt, sind auf dem angeführten Globus kaum noch darzustellen: N₂ (≈0,32 mm), Sauerstoff (≈ 0,08 mm), Argon (<0,004 mm), Kohlenstoffdioxid CO₂ (≈ 0,00014 mm) und Wasserdampf.

Wird die Biosphäre schwerer, wenn die Pflanzen wachsen?

Dass eine wachsende Topfpflanze immer mehr

Gewicht auf die Waage bringt, steht außer Frage. Wird auch die Erde unter der "Last" der Bäume schwerer?

Diese Frage kann überprüft werden, wenn unser Biosphärenexperiment zu Beginn des Versuches und über längere Zeiträume hinweg gewogen wird: Obwohl die Biomasse zunimmt, wird das System nicht schwerer. Das üppige Grün setzt sich ausschließlich zusammen aus den "Zutaten", die bereits vorher im Glas vorhanden waren. Im geschlossenen System kann zwar die gespeicherte Energie (durch Sonnenlicht) zunehmen, nicht aber die Gesamtmenge der Teilchen. Sie werden durch von der Sonne angetriebene Prozesse biochemisch umverteilt und neu geordnet, sie vermehren sich aber nicht.

Die Biosphäre und der Treibhauseffekt

Künstliche Biosphären oder nicht bepflanzte Vorstufen sind gut geeignet, den Treibhauseffekt experimentell zugänglich zu machen. Experimente zum Thema Treibhauseffekt werden in der AH 19.45 ausführlich beschrieben.

Die Glaswände und der daraus folgende Treibhauseffekt führen bei im Freiland aufgestellten Biosphären ohne geeignete Gegenmaßnahmen dazu, dass die Pflanzen bei starker Besonnung den Hitzetod sterben.

Die Erde, gewissermaßen die "Vorlage" aller künstlichen Biosphären, zeigt, wie das Problem in den Griff zu bekommen ist:

Wasser mildert Temperaturextreme

Etwa 70% der Erdoberfläche werden von Ozeanen eingenommen. Sie machen mit 1350×10^6 Kubikkilometern Volumen etwa 97% des Wassers auf dem Planeten aus. Wasser hat mit 4,19 kJ pro Kilogramm und Grad eine sehr große Wärmekapazität, was nichts weiter heißt, als das viel Energie nötig ist, um es zu erwärmen und dass die dann im Wasser gespeicherte Energie die Umgebung lange erwärmen kann. Heizungskörper enthalten nicht zufällig gerade Wasser. Helgoland bleibt im Sommer kühl, im Winter aber eisfrei, eben weil es rundum von Wasser umgeben ist. Die großen Temperaturamplituden meerferner Gebiete weisen darauf hin, was aus der Erde geworden wäre, wenn das Land-See-Verhältnis ein anderes geworden wäre.

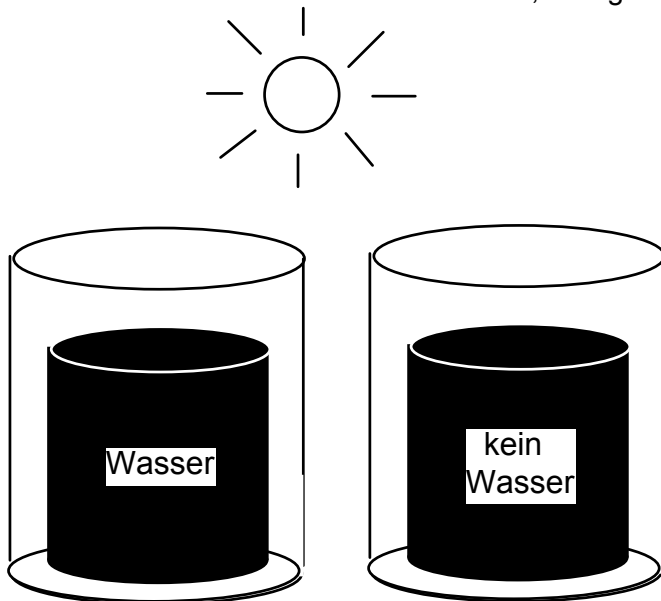
Ein einfacher Versuch demonstriert den Zusammenhang:

Malen Sie zwei leere Getränkedosen schwarz an. Die eine wird mit Wasser gefüllt, die andere bleibt leer. Stecken Sie je ein Thermometer in die Dosen oder besser: Messen Sie die Temperatur der Dosenoberfläche mit einem Digitalthermometer (Messfühler aufkleben).

Die Dosen werden in zwei Einmachgläser gestellt. Nach Verschließen der Deckel wird der Versuch so in die Sonne gestellt, dass beide Ansätze gleich stark bestrahlt werden.

Protokollieren Sie die Temperaturentwicklung.

Wenn nun die Gläser beschattet werden, was geschieht dann?



Die künstliche Biosphäre wird mit Wasser gekühlt und ebenso gegen Auskühlung geschützt. Das "Kühlwasser" in dem relativ kleinen Lebensraum sollte aber nicht zur "Versumpfung" des Bodens führen, was unweigerlich geschieht, wenn es aus offenen Schalen heraus verdunstet und sich dann über der ganzen Fläche niederschlägt. Geben Sie Wasser in *geschlossene* Gefäße, z.B. Einmachgläser. Dabei bedenken Sie bitte Folgendes. Viele kleine Gefäße haben zusammen genommen eine größere Oberfläche als wenige große. Die Kontaktfläche zwischen Luft und Wasser ist aber entscheidend für die

Geschwindigkeit des Temperatureaustausches. Ein Glas voll Tee wird schneller kalt, als die Kanne, aus der er stammt. Hier muss ein Kompromiss, abhängig von Größe und Gestalt

des Biosphärenbehälters, geschlossen werden.

Wir haben bei einem 200 Liter Becken mit 10 Einlitergläsern gute Erfahrungen gemacht. Mit einem großen und mehreren kleineren Gläsern "schlagen Sie beide Fliegen mit einer Klappe".

Strahlung reduzieren

Das Strahlungsangebot wird in der Erdatmosphäre durch Wolken reduziert. Ein großer Teil, etwa 19%, wird reflektiert, etwa 30% werden von den Wolken absorbiert. In der Gesamtbilanz erreichen nur 22% der Strahlung die Erdoberfläche. So sehr wir den blauen Himmel lieben, eine (dauernd) wolkenlose Atmosphäre hätte dramatische Konsequenzen für das Leben auf der Erde.

Wir haben die Glaswände der Biosphäre mit Wolken bemalt. Gut geeignet ist helle Schattierfarbe, die man in der Gewächshauskultur verwendet. Leider hat sie, wolkenuntypisch, einen starken Grüntich. Der Vorteil ist aber, dass sie sich, obwohl regenfest, mit der feuchten Bürste abwaschen lässt.

Absorption vermindern

Die in die Biosphäre gefüllte Erde ist dunkel. Mit dem absorbierten Sonnenlicht entsteht Wärme, was an den besonnten Kontaktflächen mit den Händen gefühlt werden kann. Die Oberfläche unseres Planeten ist ein Flickenteppich aus hellen und dunklen Materialien. Basalte erwärmen sich viel stärker als z.B. der weiße Gipssand der "White Sand"-Dünen in der Wüste New Mexicos.

Streuen sie hellen Kies auf den Boden. Die Temperaturen, besonders im Wurzelraum der Pflanzen, werden dadurch erheblich reduziert. Dadurch wird auch verhindert, dass der Boden bei starker Verdunstung verklebt, hart und luftundurchlässig wird.

Pflanzen in der Biosphäre

Wie schon im Projekt "Der Regenwald im Gurkenglas" vorgeschlagen, ist der "Flinke Heinrich" (*Tradescantia*) die erste Wahl bei der Bepflanzung. Sie ist im feuchtwarmen Südamerika zu Hause und für die Regenwaldbedingungen einer Biosphäre bestens geeignet. Kopf- oder Teilstecklinge lassen sich leicht herstellen und wachsen in fast 100% der Fälle an. Pflanzenmaterial ist auch in größeren Mengen bei uns erhältlich.

Die Streifenlilie *Chlorophytum comosum* bleibt im Wachstum hinter *Tradescantia* zurück, erträgt aber Trockenheit besser und kann im stärker besonnten Südteil der Biosphäre konkurrenzstärker sein.

Kakteen gedeihen unmittelbar hinter der Südwand. Hier kann es unter Umständen sehr heiß und trocken werden, ein Effekt, der sich besonders gut zeigen lässt, weil die dunkle Erde gleich hinter dem Glas der Sonne besonders stark ausgesetzt ist.

Von der noch in der Arbeitshilfe 19.10 "Der Regenwald im Gurkenglas" vorgeschlagenen Bartbromelie *Tillandsia usneoides* müssen wir abraten. Ihre Ansprüche an die Luftfeuchtigkeit werden zwar befriedigt, die wurzellose Pflanze, die von anderen Pflanzen wie ein langer Bart herabhängt, verhungert auf Dauer aber, weil zu wenig Staub- und Detritusteilchen auf sie herabregnen. Da Sie die Biosphäre ja verschlossen halten wollen, können Sie nicht die bei Zimmerhaltung empfohlene stark verdünnte Düngerlösung spraysen.

Auf der, der Sonne abgewandten Nordseite, herrschen ideale Bedingungen für Algen und Moose. Der grüne, moosige Überzug der Glasinnenseite erinnert an die Regenwälder der gemäßigten Pazifikküste Washingtons.

Da die hineingefüllte Erde nie ganz steril sein wird, kommen viele "Gäste" auf, wie Knöterich, Gräser und Klee, die die "gewollten" Pflanzen zunächst durchaus überwuchern können. Sie geben aber den jungen Stecklingen Schatten und verleihen der Biosphäre

eine "wilde" Eigendynamik.

Aufstellung der Biosphäre

In den meisten Fällen werden Sie als Biosphäre ein (ausgedientes) Aquarium oder Terrarium mit rechteckigem Grundriss verwenden. Natürlich muss es mit einer passenden Abdeckung aus Glas(!) verschlossen werden. Als Abdichtung können Sie Knetmasse benutzen, die sie zum Schutz vor "fummelnden" Kinderhänden mit einem Klebeband überziehen sollten. Dichtmittel aus Silicon haben den Vorteil, jeden davon überzeugen zu können, dass die Biosphäre wirklich dicht ist. Man kommt aber im Fall der Fälle, z.B. beim evtl. Nachbesetzen mit weiteren Tieren, nur schwer an den Inhalt heran.

Aus dem bisher Gesagten können Sie schließen, dass es nicht egal ist, wie Sie die Biosphäre aufstellen. Um Überhitzung zu vermeiden, sollte die Schmalseite des Behälters nach Süden zeigen. So entwickelt sich, direkt hinter der Südwand, eine "aride" Zone, wüstengleich, evtl. sogar mit Kakteen. Die lange Ost- und Westseite werden von der Morgen- bzw. Abendsonne beschienen, die aufgrund ihres geringeren Horizontwinkels nicht die Kraft hat, die Pflanzen zu verbrennen.

Wie viel Wasser?

Eine Literangabe können wir schon wegen der unterschiedlichen Größe der möglichen Biosphären (vom Einmachglas bis zum Mini-Treibhaus) nicht geben. Die Erde sollte gut feucht, aber nicht nass und sumpfig sein.

Statt eines Rezeptes und Mengenangaben: Geben Sie Wasser nach Gefühl hinein und verschließen Sie den Deckel. Wenn im Laufe eines halben Tages keine Tropfen am Deckel hängen, war es zu wenig. Wenn die Pflanzen im Wasser "schwimmen", lassen Sie den Deckel so lange offen, bis der Überschuss verdunstet ist. Dabei darf es natürlich nicht regnen.

Tiere in der Biosphäre

Der Zusammenhang Sonne - Produzenten - Konsumenten ließe sich gut darstellen, wenn es gelänge, einen anspruchslosen "Blattfresser" zu finden, der mit den starken Temperaturschwankungen zurecht kommt. Wenn dieser Konsument auch noch vermehrungsfreudig wäre, könnte das Auf und Ab des Nahrungsmangels- und überangebots verfolgt werden. Dieses Tier haben wir bisher nicht gefunden.

Gut geeignet sind dagegen Tiere, die, wie Regenwürmer, von den "Abfällen" der Biosphäre leben. Tauwürmer und Enchyträen, die einen als Angelköder gezüchtet, die anderen aus dem Komposthaufen gegraben, haben sich offensichtlich gut an ihre "Gefangenschaft" gewöhnt. Weite Areale des Bodens, vom "Urwald" beschattet und durch die Verdunstung temperiert, bleiben für die Bodentiere kühl und feucht genug.

Wie viel Sauerstoff entsteht?

Die Wasserpest (*Elodea canadensis*), unter eine (ausleihbare) Assimilationsglocke gebracht, zeigt sehr anschaulich, dass bei Belichtung und Übersättigung des Mediums Gasbläschen entstehen. Die Kienspanprobe zeigt, dass es sich um Sauerstoff handelt. Mit einem gradierten Auffanggefäß lässt sich die O₂-Produktion messen. Ein großer Teil des Sauerstoffs wird bei der pflanzlichen Atmung wieder verbraucht. Daher sollte der Gaspegel am nächsten Morgen noch einmal gemessen werden.

Wie viel Sauerstoff wird verbraucht?

Sauerstoffverbraucher in der Biosphäre sind

- die Photosynthesetreibenden grünen Pflanzen (Atmung)
- Tiere

- Bodenbakterien

Die von Tieren verbrauchten O₂-Volumina sind mit einem Manometer messbar. Das ausgeatmete CO₂ wird durch Kaliumhydroxid gebunden, so dass die Menge des entzogenen O₂ durch einen entsprechenden Abfall des Flüssigkeitspegels quantifizierbar wird (O₂-Verbrauch pro Gramm Körpergewicht). Verrechnen wir das O₂-Angebot der Pflanzen mit dem tierischen O₂-Bedarf, lässt sich grob abschätzen, mit wie vielen Tieren die Biosphäre besetzbar wäre. Das dazu nötige Versuchssset zur "Messung des respiratorischen Quotienten" steht im Schulbiologiezentrum zur Ausleihe bereit.

Ingo Mennerich, Februar 2000