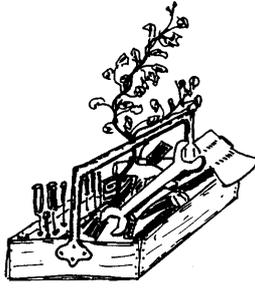


Unterrichtsprojekte Natur und Technik

Landeshauptstadt	Hannover	Vinnhorster Weg 2 30419 Hannover	
		Telefon: 0511-168-47665/7	
		Fax: 0511-168-47352	
		E-mail: 40.50@hannover-stadt.de	
		Internet: www.schulbiologiezentrum-hannover.de	

19.55

Besucherdinformation:

„Sonne, Energie, Klima“

Ein Themengarten im Schulbiologiezentrum Hannover



Vorwort



Die Idee zu diesem Garten entstand Mitte der neunziger Jahre. Die Vielzahl "ambulanter" Experimente rund um Sonne, Energie und Zeit, die wir mit vor allem jungen Menschen durchgeführt hatten, rief geradezu nach einer festeren und größer angelegten Einrichtung. Ein Ziel dabei war es, diese Fläche der Öffentlichkeit auch außerhalb des Unterrichts nutzbar zu machen. Die EXPO 2000 (hier das Projekt „Stadt als Garten“ bot hier ein uns geeignetes Forum.

Dass dies eine "Freiluftanlage" im Sinne eines Gartens werden müsste, war im Schulbiologie-zentrum mit seiner langen Gartentradition von Anfang an selbstverständlich. Dies bedeutete aber, dass neben technischen Lösungen auch viele landschaftsarchitektonische Aspekte eine Rolle spielten.

Die Niedersächsische Umweltstiftung, die uns dankenswerterweise schon bei der Finanzierung einer schulorientierten Photovoltaik- und Windstromanlage und einer solaren Heißwasseranlage großzügig und unbürokratisch zur Seite gestanden hatte, machte die Umsetzung unserer Ideen 1998/99 durch eine weitere Zuwendung möglich. Möglich werden Dinge aber letztlich durch Arbeit. Der Dank geht hier an die Mitarbeiter des Zentrums, die manchen Stein geschleppt, manche Stele in den Boden gebracht haben. Zu danken ist nicht zuletzt den „auswärtigen“ Menschen und Gruppen, die Kopf- und körperliche Schwerarbeit geleistet haben. Dazu gehören die "Ländliche Erwachsenenbildung", das Tiefbauamt der Stadt Hannover, die Schüler der Albert-Liebmann-Schule (Hannover) und der Heinrich-Goebel-Realschule (Springe). Wir sind gemeinsam, wie an den anderen Themenbereichen auch, an den sich stellenden Problemen gewachsen.

Auch bei diesem Projekt stand der Wunsch im Vordergrund, das Schulbiologiezentrum aus seiner langjährigen Tradition heraus inhaltlich zu erweitern und zu erneuern, ohne dabei das Gewachsene und Erfolgreiche aus den Augen zu verlieren.



Viele der in diesem Themengarten vereinten Elemente sind in Einzeldarstellungen näher dokumentiert (Arbeitshilfenreihe "Natur und Technik").



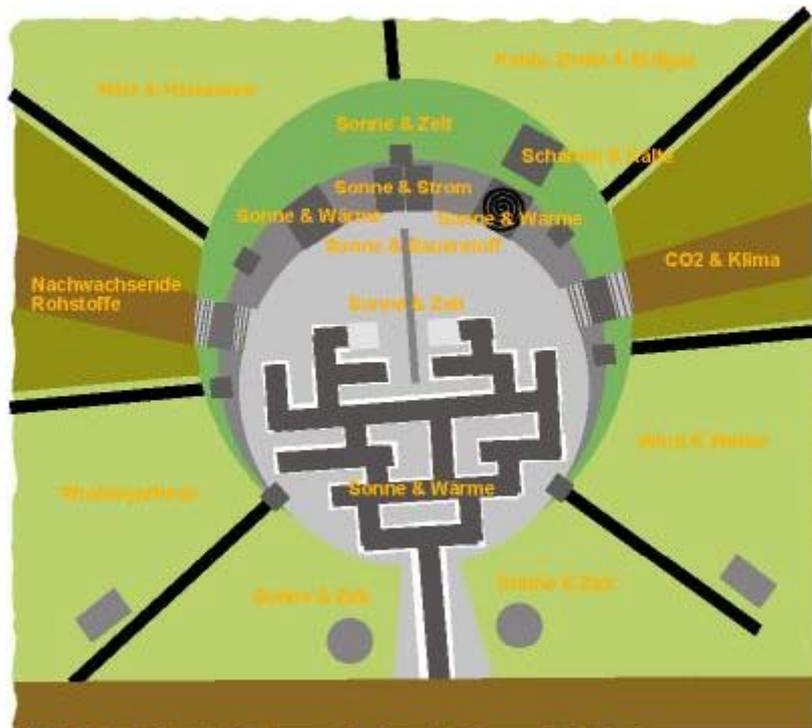
Ein Überblick

Das Zentrum des "Sonnen-, Energie- und Klimagartens" wird von einem nach Süden offenen, ringförmigen Erdwall gebildet. Er umschließt eine kreisförmige Pflasterfläche von etwa 10 m Durchmesser. Das schwarz-weiße Muster ist ein wärmeabsorbierendes Fußlabyrinth. In der Mitte der Anlage erhebt sich, schräg zum Himmelsnordpol weisend, der Schattenstab einer Sonnenuhr, zwei weitere Sonnenuhren befinden sich am Eingang der Anlage. Die Granitstelen auf dem Wall markieren die Nordrichtung und die Aufgangs- bzw. Untergangsorte der Sonne zu Beginn der Jahreszeiten. Sie finden ihre Fortsetzung in den Basaltstreifen, die strahlig aus der Anlage herausführen und den äußeren Bereich in sieben Themenfelder teilen. Auf der vorwiegend mit wärme- und trockenresistenten Sukkulenten bepflanzten Wallinnenseite finden sie verschiedene Beispiele für die technische Nutzung der Sonnenenergie: Photovoltaikmodule, Solarbackofen und einen Warmwasserbereiter. Zwei Treppen führen über die Wallkrone in den Außenbereich.

Die Streifen untergliedern die äußere Fläche in 6 Themengebiete

- Photosynthese und Sauerstoff
- Nachwachsende Rohstoffe
- Holz und Holzkohle
- Kohle, Erdöl und Erdgas
- CO₂ und Treibhauseffekt
- Sonne, Wind und Wetter

Einige Themenfelder im Außenbereich sind noch in Planung!



Sonne und Zeit: Die beiden Sonnenuhren am Eingang des Gartens

Beidseitig am Eingang stehen wie Molenfeuer an der Einfahrt eines Hafens Sonnenuhren auf kleinen Mauertürmchen. Die linke Uhr ist ein "High-Tech"-Instrument aus Acrylglas, die Rechte eine Nachempfindung prähistorischer Steinkreise. Beide erfüllen die gleiche Funktion, symbolisieren dabei aber "Alt" und "Neu" und das uralte, wie moderne Bedürfnis des Menschen, die Zeit fassbar zu machen.



Das moderne Instrument links ist eine sogenannte Äquatorial-sonnenuhr, deren Achse zum Himmelsnordpol zeigt (so auch der Schattenstab im Zentrum der Anlage). Das Zifferblatt liegt in einer Ebene mit dem Himmelsäquator (daher "Äquatorial-"). Der Himmelsäquator ist die Projektion des Erdäquators hinaus ins Weltall. Alle Himmelskörper, die auf dem Himmelsäquator liegen, gehen z.B. in Quito/Ecuador genau im Osten auf und genau im Westen unter, mittags stehen sie genau senkrecht über dem Beobachter. Der Himmelsäquator ist zugleich die Ebene, welche die Sonne zweimal, nämlich zum Frühlingsbeginn am 21.3. und zum Herbstbeginn am 23.9. kreuzt (scheinbar, aus unserer irdischen Perspektive!)

Besonders an dieser Uhr ist, dass nicht ein Schatten die Zeit markiert, sondern das Sonnenlicht im Acrylzylinder wie mit einer Lupe zu einem Brennpunkt vereinigt wird, der mit der (scheinbaren) Sonnenbewegung wandert.

Die Messgenauigkeit der Uhr liegt bei ± 5 min. Beachten Sie bitte, dass eine Sonnenuhr stets nur die "wahre" und damit lokale Sonnenzeit angeben kann. Diese ist ortsabhängig und weicht von der Mitteleuropäischen Zeit um 5 - 35 Minuten ab (Anfang November steht die Sonne in Hannover um 12 h 05 min, Mitte Februar erst um 12 h 35 m im Süden). Hilfen zur Umrechnung von "wahrer Sonnenzeit" zur MEZ finden Sie auf einer Tafel neben den Uhren. Im Zentrum der Anlage, mitten auf der Pflasterfläche, finden Sie eine weitere "äquatoriale" Sonnenuhr, hier allerdings mit horizontalem Zifferblatt (siehe dort).



Die "prähistorische" Sonnenuhr, also der Steinkreis (eigentlich ein Halbkreis) aus kleinen "Menhiren" ist eine Möglichkeit, ohne mathematische und tiefere astronomische Kenntnisse eine Sonnenuhr zu bauen. Die Anordnung der Steine ergibt sich aus der Beobachtung des Sonnenlaufs und der Schattenrichtungen über ein ganzes Jahr hinweg. Eine Besonderheit sind die drei schattenwerfenden Steine in der Mitte des Halbkreises: Ein senkrechter Stein würde nur an zwei Tagen im Jahr die richtige Sonnenzeit anzeigen (wie die Beobachtung z.B. an einem hohen Schornstein lehrt). Der mittlere Stein steht in einer Position, von der aus der Schatten zum Frühlings- bzw. Herbstbeginn richtig auf die "Stundensteine" fällt, der nördlich bzw. südlich davon gelegene erfüllt diese Aufgabe zur Sommer- bzw. zur

Wintersonnenwende. Für alle dazwischen liegenden Tage gilt: Der Schattenwerfer muss gedanklich zwischen diesen "Eckwerten" hin und her wandern.

Die Steine sind, gemäß der unterschiedlichen Schattenlängen im Laufe des Jahres, verschieden groß: Im Winter werfen alle Objekte längere Schatten als im Sommer, daher taugt der Schatten des kleinen "Wintersteins" noch als Zeiger, der "Sommerstein" dagegen muss groß sein, weil sein Schatten sonst zu kurz wäre. Als "Eselsbrücke" könnte man sich merken: "Kurzer Stein - kurzer Tag, langer Stein - langer Tag".

Übrigens: Wenn die Schatten aller drei Steine ineinander übergehen, hat die Sonne ihren höchsten Punkt am Horizont erreicht ("wahrer" Mittag in Hannover)

Dieser Typ mit senkrechtem, im Jahreszeitenrhythmus wandernden Schattenwerfer heißt "analematische" Sonnenuhr. Eine zweite Uhr dieser Art finden Sie auf der zentralen Pflasterfläche, hier allerdings sind Sie selbst der Schattenwerfer (siehe dort).



Schuhe aus, Socken aus und mit den Füßen sehen lernen Das Fußlabyrinth

Vom Hauptweg führt ein aus schwarzem Basalt gepflasterter Weg in genau nördlicher Richtung in das Fußlabyrinth hinein. Gleichzeitig sehen Sie, mit welch einfachen und z.T. unauffälligen Mitteln sich Sonnenuhren z.B. auf Schulhöfen platzieren lassen (siehe unten).

Scheint die Sonne, können Sie mit den Händen fühlen, dass sich die dunklen Steine stärker erwärmen als das weiße Randpflaster. Dunkle Körper absorbieren den überwiegenden Teil des Lichts und wandeln dessen Energie in Wärme um,



weiße Gegenstände dagegen reflektieren die Strahlung nahezu ungenutzt. Dieser Sachverhalt lässt sich im Labyrinth mit den (nackten) Füßen erleben. Startpunkt ist einer der beiden Metallplatten, auf die jeweils ein weißer und ein schwarzer Fußabdruck aufgemalt ist. Metall erwärmt sich besonders leicht, infolgedessen ist hier der Unterschied besonders deutlich. Schließen Sie die Augen und vertrauen Sie sich ihren Füßen an. Der Ausgang des Labyrinths liegt im Süden, so dass sie die wärmende Sonne

in ihrem Gesicht auch "blind" als grobe Orientierungshilfe benutzen können. Setzen Sie langsam einen Fuß vor den anderen und vor allem: Lassen Sie sich Zeit!



Noch einmal Sonne und Zeit: Die äquatoriale Sonnenuhr

In der Mitte der Pflasterfläche erhebt sich ein Metallrohr in einem Winkel von 52° , entsprechend der geographischen Breite Hannovers. Es zeigt damit auf den Polarstern. Das Rohr ist drehbar gelagert und muss, soll es seine Aufgabe als Schattenwerfer einer Sonnenuhr erfüllen, genau nach Norden zeigen. Sie können dies überprüfen, indem Sie sich so im Süden davon aufstellen, dass der Fußpunkt des Rohres mit Granitstele auf dem Wall, welche die Nordrichtung vorgibt, in einer Linie liegt. Kneifen Sie dafür bitte ein Auge zu! Lassen Sie jetzt einen Partner solange das Rohr drehen, bis es nach Norden zeigt!

Die Spitze des Rohrs zeigt jetzt auf den Himmelsnordpol (fast genau auf den Polarstern, den wir allerdings tagsüber nicht sehen). Warum übrigens ein Winkel von 52° ? Auf Sylt z.B. steht der Polarstern 2° , das sind vier Vollmondbreiten, höher über dem nördlichen Horizont als in Hannover, über dem Nordpol selbst steht er senkrecht über dem Beobachter. Leicht erkennen wir einen Zusammenhang: Die Neigung des Schattenstabes zum Nordpunkt am Horizont muss gleich der geographischen Breite sein, auf der sich die Sonnenuhr befindet.

Oder anders ausgedrückt: Die geographische Breite eines Ortes ist definiert als die Höhe des Himmelsnordpols über dem Nordhorizont.

Als Stundenmarkierungen sind schwarze Basaltpflastersteine in den grauen Granit der Grundfläche eingelassen. Denken Sie bitte daran, dass die Sonnenuhr stets die "wahre" Sonnenzeit anzeigt und diese von der amtlichen Mitteleuropäischen Zeit abweicht.

Alle hannoverschen Sonnenuhren gehen im Mittel 21 Minuten nach. Die MEZ gilt in ganz Mitteleuropa, ignoriert aber wie alle "Zonenzeiten" die Tatsache, dass die Erde sich nicht in 24 Sprüngen pro Tag, sondern kontinuierlich dreht. Sie dreht sich, wie an der Bewegung des Schattens zu sehen, nach Osten (daher geht die Sonne im Osten auf!). Das hat zur Folge, dass in Hannover die Sonne später aufgeht und ihre größte Höhe erreicht als in Görlitz. Die MEZ ist auf den 15. östlichen Längengrad bezogen, und dieser



zieht mitten durch Görlitz.

Das 21-minütige „Nachgehen“ der Sonne wird zusätzlich durch eine Schwankung zwischen +16 und -14 Minuten überlagert, die dadurch zustande kommt, dass die Erdumlaufbahn kein Kreis sondern eine Ellipse ist. Die Umlaufgeschwindigkeit der Erde verändert sich dadurch und mit ihr der Zeitpunkt, an dem die Sonne genau im Süden steht ("wahrer" Mittag).

Wenn Sie acht Minuten zum Lesen dieses Textes gebraucht haben, sind Sie (und ganz Hannover) mit Überschallgeschwindigkeit nach Osten gerast und sind dort, wo vor fünf Minuten noch Magdeburg war.

Die Menschen-Sonnenuhr

Etwas nördlich des Schattenstabes finden Sie drei weiße Markierungen im Grundpflaster. Zusammen mit den am Fuße des Walls eingelassenen weißen Steinen ist dies eine "analemmatische" Sonnenuhr, bei der Sie selbst der Schattenwerfer sind. Damit die Uhr richtig funktioniert, müssen Sie am richtigen Ort stehen, im März und September auf der mittleren Markierung, im Juni auf der nördlich davon gelegenen, im Dezember auf der südlichen. Zu anderen Zeiten stehen Sie entsprechend dazwischen. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich Ihre Standort in der Zeit der Tag- und Nachtgleichen (Frühjahr-/Herbstbeginn) von Woche zu Woche weiter entfernen muss als zu den Sonnenwenden (Winter-/Sommeranfang). Im Juni bzw. Dezember können Sie einige Wochen lang auf dem gleichen Punkt stehen. Das Prinzip ist das gleiche wie beim "prähistorischen Steinkreis" am Eingang. Nur hier gibt es nur einen Schattenwerfer: Sie!

Detailliertere Informationen zum Thema so wie Planungs- und Berechnungsgrundlagen für ähnliche Projekte finden Sie in unserer Broschüre "Die Sonnenuhr auf dem Schulhof".

Sonnenlicht erzeugt Strom und Wärme:

Auf der nördlichen Innenseite des Walls wird die Nutzung der Sonnenenergie thematisiert. Hier finden Sie Solarmodule zur Umwandlung des Lichts in elektrischen Strom, einen Solarbackofen und einen solaren Wassererhitzer ("Heiße Schlange"). Vor dem Pavillon stehen 2 Solarkollektoren mit einer Gesamtfläche von 4,6 m². Sie versorgen zusammen mit einem 300 l Speicher beide Unterrichtsräume mit warmem Wasser.



Strom aus Sonnenlicht:

In der Mitte sind vier Solarmodule à 75 Watt installiert, die, gemeinsam mit einer kleinen Windstromanlage über Erdkabel mit dem zentralen Schulgebäude verbunden sind. Hier befinden sich Messeinrichtungen (Volt- und Amperemeter), Zähler, die Akkus zur Speicherung der Energie und ein Wechselrichter zur Umwandlung der von den Modulen erzeugten 12V-Gleichspannung in 230V Wechselspannung. Die Solarmodule decken einen Teil des Strombedarfs der Unterrichtsräume. Die Leitungsführung ist so angelegt, dass



Besucher die "Wege" des Stroms nachvollziehen können.

Die Frage "Was kann Solarenergie?" kann durch ein Vielzahl von Experimenten beantwortet werden, gerade weil der Raum als mögliche "Strominsel" ausgelegt ist. Input und Output müssen in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Durch den (selbst auferlegten) Zwang, nur vom eigenen Ertrag zehren zu können entstand ein ganz besonderes Verhältnis zur Nachhaltigkeit.

Zur Zeit versorgt die Anlage ein separates Deckenbeleuchtungssystem in beiden Unterrichtsräumen. Möglich ist auch das Hinzuschalten von Kleinverbrauchern, etwa Mikroskopleuchten, Videoanlage usw. Da das Haus nach wie vor konventionell mit Fremdstrom beliefert wird, lässt sich das Kosten-/Nutzenverhältnis für beide Systeme gegeneinander rechnen. Im Solarbetrieb setzen wir nur etwa 1/5 der zur konventionellen Beleuchtung erforderlichen Leistung um. Die Investitions- und Betriebskosten der Anlage führen aber zu einem Mehrfachen des normalen kWh-Preises.

Die nach Süden ausgerichteten Solarmodule sind mit Messanschlüssen ausgestattet, die z.B. die Aufnahme von Spannungs- und Stromkennwerten ermöglicht. Hier lässt sich auch die Elektrolyse des Wassers oder die Technik der Brennstoffzelle demonstrieren. Das dafür Solarstrom genutzt wird weist auf viele Parallelen zur Photosynthese hin. Bei der Elektrolyse wird Wasser (H₂O) in seine Komponenten Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. Die Wiedervereinigung führt zur allgemein bekannten Knallgasreaktion.



In der Abbildung steht links vom Elektrolysegerät eine mit der Wasserpest (*Elodea canadensis*) besetzte sogenannte Assimilationsglocke. Damit wird der bei der Photosynthese freigesetzte Sauerstoff aufgefangen. Ohne dieses von Tieren und Menschen eingeatmete und in geologischer Urzeit einmal hoch giftige „Abfallprodukt“ der grünen Pflanzen wäre die Nutzung der mit der Nahrung aufgenommenen Energie nicht möglich.



Strom aus Muskelkraft

Was sind 100 Joule oder 100 Watt? Wir möchten oft unhandliche physikalische Begriffe körperlich erfahrbar machen und sie so darstellen, dass man im Alltag leichter damit umgehen kann. Dazu dient u.a. ein Trimmgerät, das mit einem 500 W/12 V Generator gekoppelt ist. Eine angeschlossene Lichtsäule zeigt nach dem „Haut den Lukas“-Prinzip die gerade erzeugte Leistung an. Jedes Lämpchen steht für 20 Watt. Zusätzlich möglich ist der Anschluss z.B. eines Camping-Wasserkochers mit dem Kaffee gekocht werden kann. Das Gerät wurde von „Pro-Klima“ gefördert.

Ein zweites, etwas älteres Muskelkraftwerk bringt es auf 230 V Spannung und bringt Overheadprojektoren oder alle im Unterricht benutzten Mikroskoplampen zum Leuchten. Übrigens: Für eine große Tasse kochenden Wassers braucht man mindestens 20 Minuten!



Der Solarbackofen:

Im Solarbackofen im nordwestlichen Teil des Walls wird der "Treibhauseffekt" genutzt, um z.B. Reis zu kochen. Die Temperatur im Ofen kann in den Vormittagsstunden durchaus 150°C erreichen. Ein Topf mit kalt aufgesetztem Reis ist nach gut einer Stunde gar. Das Licht der Sonne durchdringt eine Doppelglasscheibe und wird durch den Boden aus schwarzgefärbten Metall und den schwarzen Topf in Wärme verwandelt. Die Wärmestrahlung kann den Ofen nur schlecht verlassen, weil Glas für diesen Bereich recht "undurchsichtig" ist. Eine gute Isolationsschicht (z.B. aus Stroh) sorgt dafür, dass die Wärme nicht nach außen abfließen kann.



Die Position des Solarbackofens ist so gewählt, dass die späte Vormittags-sonne gerade bis zur Essenszeit für eine warme Mahlzeit sorgen kann. Die Zutaten können, wenn es jahreszeitlich passt, im benachbarten Gemüsegarten geerntet werden.

Der hier gezeigte Solarbackofen ist ein vergrößerter Nachbau des seit frühen den 90er Jahren sehr bewährten, und bei uns ausleihbaren Schweizer ULOG-Ofens.

Dieser dort als Bausatz erhältliche Backofen ist tragbar, leicht irgendwo in der Sonne aufzustellen und überzeugend durch seine einfache Funktion.



Eier kochen in der Satellitenschüssel



Eine polierte metallene Satellitenschüssel, genau ausgerichtet, bündelt das auf etwa 1,5 m² ihrer Fläche fallende Sonnenlicht. Im Brennpunkt wird es so heiß, dass ein hineingehaltener Fidibus aus Zeitungspapier sofort Feuer fängt und das Wasser in der schwarz gefärbten Würstchendose in wenigen Sekunden zu brodeln beginnt. Zwei Frühstückseier sind nach 4 Minuten gerade „richtig“!

Währenddessen erfahren die Besucher

spielend, wie ein Parabolspiegel funktioniert: Mit vielen Spiegelkacheln lenken wir gemeinsam einem ganz Mutigen das Sonnenlicht auf die Nase. Was schön warm werden kann!



Die "Heiße Schlange":



Auch hier geht es um die positiven Effekte des Treibhauseffektes: Auf einer 1,5 m x 1,5 m große Holzplatte haben wir schwarz gefärbtes Aluminiumblech aufgebracht. Darauf liegt, ähnlich einer Lakritzschnecke gewunden, 50 m langer, wassergefüllter schwarzer Schlauch (hier: Bremsrohr, eine freundliche Spende der Fa. WABCO). Eine transparente Acryl-Steplatte (Gewächshausbautechnik) deckt die schwarze Schlange ab und sorgt als "Wärmebremse". Etwa 25 Liter Wasser werden so zu Spitzenzeiten in weniger als einer Stunde von 20° auf 85° C aufgeheizt. Das entspricht einer Leistung von 1,8 KW.

Ein seitlich angebrachter Mischer mit zwei separaten Wasserhähnen sorgt für die passende Temperatur.

Das warme Wasser wird durch den Wall hindurch auf die Nordseite der Anlage geführt. Hier kann z.B. eine Dusche angeschlossen werden.
 Eine Bauanleitung für den Schul- oder Kleingarten finden Sie in unser Schrift "Die Heiße Schlange".



Warmes Wasser für Menschen, die sich hier im Unterricht auch mal die Hände schmutzig machen dürfen

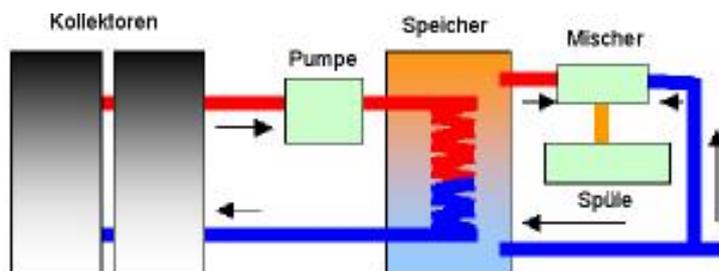


Vor fünf Jahren haben wir einen Teil der zum Schulbetrieb nötigen Warmwasserversorgung auf Solarbetrieb umgestellt. Möglich wurde das durch großzügig gewährte Finanzmittel der Niedersächsischen Umweltstiftung. Die beiden Solarkollektoren mit einer Gesamtfläche von 4,6 m² stehen frei zugänglich vor dem Pavillon. Auch der 300 l Speicher, die Steuerung, die Umwälzpumpe und große Teile des Rohrsystems wurden offen in den Unterrichtsraum integriert. Das ermöglicht jedem interessierten Besucher, sich ein Bild vom Betrieb

einer Solarwarmwasseranlage zu machen: Hier können das Funktionsprinzip der Anlage und der Wasserkreislauf durch das Ertasten heißer und kalter Leitungen oder sogar durch Ohrauflegen nachvollzogen werden. Dass die Kollektoren selbst bei hoch stehender Sonne nicht heiß werden, ist für viele eine überraschende Erfahrung.



Ein Rechenbeispiel: Wenn das Speicherwasser von 20°C auf 80°C erhitzt wird, steckt darin eine Energie von rund 75 MJ (Megajoule). Das sind rund 21 kWh (Kilowattstunden).
 300 Liter 80°C heißes Wasser wird mit 15°C kaltem Wasser auf eine Mischtemperatur von 40°C gebracht. Dazu braucht man 480 Liter kaltes Wasser, zusammen genommen ergibt das 780 Liter warmes Wasser. Wenn der Speicher mit 80°C heißem Wasser gefüllt ist, kann der voll aufgedrehte Wasserhahn eine Stunde lang 40°C warmes Wasser abgeben!





Treppen über den Wall

Warum wird der eine Stoff warm, der andere nicht?

An zwei Stellen kann nach Wall über eine Treppe überschritten werden. Die Stufen sind aus unterschiedlichen Materialien: Gummi, Metall und Holz. Obwohl alle Stufen schwarz sind, sind sie doch unterschiedlich warm, was mit nackten Füßen am besten erlebt werden kann. Grund dafür ist die unterschiedliche Wärmeaufnahmefähigkeit (Wärmekapazität). Je größer dieser Wert, desto mehr Energie muss umgesetzt werden, um das Material zu erhitzen. Stahl hat eine verhältnismäßig geringe Wärmekapazität, Holz und Gummi eine große. So wird die Metallstufe mit relativ wenig Energie und schnell heiß, die beiden anderen eher angenehm warm. Je nach Sonnenstand wird mal die eine, mal die andere Treppe wärmer sein, so dass wir eine "Morgen-" und eine "Nachmittagstreppe" haben. Die nordöstliche bzw. nordwestlichen Abgänge werden natürlich lange nicht so warm (oder sehr früh bzw. sehr spät)



Die Wallinnenseite

Die sich nach Süden öffnende Wallinnenseite ist mit trockenmauerartig aufeinander gesetzten dunkelgrauen Steinen bedeckt. In dieser Hanglage wird es bei starker Besonnung und Windstille oft sehr heiß. Sie können mit den Händen fühlen, wo es am heißesten wird. Hier ist die Lage zur Morgen-, Mittags oder Abendsonne entscheidend, besonders aber die Exposition der Fläche zum Sonnenlicht. Flächen, die senkrecht zur Einstrahlung liegen werden erheblich heißer als die Partien, auf die das Sonnenlicht im flachen Winkel trifft. Die Temperaturen können mit einem Infrarot-Thermometer natürlich auch berührungslos gemessen werden.

Das warm-trockene Mikroklima des Hangs schafft eine günstige Konkurrenzsituation für sukkulente Pflanzen, die andernorts von schnellwüchsigen Pflanzen überwuchert würden. Angepflanzt wurden u.a.. Walzenwolfsmilch, Dachhauswurz, verschiedene Fetthennenarten, Katzenpfötchen, Mauerpfeffer, im Übergangsbereich zur Pflasterfläche blüht im Frühsommer die Strandnelke.



Themensektoren außerhalb des Walls

Pflanzen erzeugen Nahrung und Sauerstoff: Die Photosynthese

Eine brennende Kerze, unter ein umgestülptes Marmeladenglas geschoben, geht aus. Was mit einer dort eingesperrten Maus geschähe, ist klar. Warum aber Pflanzen in einem fest verschlossenen Gurkenglas jahrelang am Leben bleiben, wirft eine Reihe von Fragen auf, Fragen übrigens, die die Natur (und nicht der Lehrer!) stellt.

Auch wir Lebewesen leben in einem begrenzten Raum: Höchstens acht Kilometer dick ist die Atmosphäre, die uns das Atmen ermöglicht, auf den Maßstab eines Globus bezogen nicht einmal die Stärke eines Blatts Papier. Mit fast 30 km pro Sekunde jagt unser "Raumschiff Erde" jahrein, jahraus um die Sonne herum. Im Gegensatz zu herkömmlichen Raumschiffen ist unsere Erde mit scheinbar unbegrenztem Sauerstoffvorrat ausgestattet, hat keine Druckabfallprobleme und ist fähig, Abfälle automatisch zu entsorgen. Unser Raumschiff muss in der Kälte des Raums weder beheizt noch bei starker Besonnung gekühlt werden. Die im Betrieb verbrauchte Nahrung ergänzt sich ohne die Notwendigkeit von Versorgungsschiffen. Und auf allen diesen Eigenschaften müssten Etikette wie "biologisch" und "solar" kleben - ohne die entsprechenden Preise...

Das sich selbst regulierende System Erde wird "solar" mit Energie versorgt, mit elektromagnetischer Strahlung, deren von unseren Augen wahrnehmbare Frequenzbereiche wir Sonnenlicht nennen. Ständig prasselt mit der Strahlung eine unvorstellbare Zahl von Energiepaketen, Photonen genannt, auf die Erde. Sie werden nicht nur in Wärme verwandelt, sondern setzen in grünen Pflanzen einen fundamentalen Prozess in Gang, dem fast alle Lebewesen ihre Existenz verdanken: Die Photosynthese.



Das Raumschiff Erde - "Biosphäre III"



Unsere Biosphäre III orientiert sich an zwei großen Vorbildern: Der Erde und der Biosphäre II in den USA. Obwohl unser Experiment fällt kleiner aus, zeigt es doch wesentliche Elemente, die das "Raumschiff Erde" funktionieren lassen.

- Wasser, einmal in ausreichender Menge eingebracht, kann nicht entweichen und zirkuliert im Gefäß. Es verdunstet, schlägt sich in kühleren Bereichen nieder und regnet wieder auf den Boden herab, wenn die Tropfen eine gewisse Größe erreicht haben. So steht den

Pflanzen immer ausreichend Wasser zur Verfügung, das sie über die Spaltöffnungen der Blätter gasförmig wieder an die Umgebung zurückgeben. Die Geschwindigkeit des Kreislaufs ist - wie jeder durch Beobachtung der Tropfenbildung an der Gefäßwänden beobachten kann - abhängig von der Temperatur.

Unsere Biosphäre ist ein Treibhaus mit all den positiven und negativen Effekten eines solchen. Glas ist für Licht (kurzwellige elektromagnetische Strahlung) durchsichtig, die im Glas erzeugte Wärme dagegen (langwellige elektromagnetische Strahlung) wird von ihm zurückgehalten. Vergleichbares geschieht in der Erdatmosphäre durch Kohlenstoffdioxid (CO₂), Wasserdampf und andere sogenannte Treibhausgase.

- Der Erwärmung unter Glas, aber auch das Auskühlen über Nacht wird durch Wasser gemildert. Wasser ist durch seine große Wärmekapazität ein Wärmepuffer, der einen großen Teil der eingestrahnten Energie als Wärme bindet, ohne dabei zu Temperaturen zu erreichen, die für die Lebewesen schädlich wären. Wasser speichert die Wärme und gibt sie bei Temperaturabfall verzögert wieder ab. Auf der Erde erfüllen die Weltmeere diese Funktion, ohne die Ozeane wäre es tagsüber viel heißer und nachts viel kälter. Wir haben als "Ozeanersatz" 10 Liter Wasser in Einmachgläser gefüllt. Die Behälter sind hier jedoch wegen der geringen Ausdehnung unserer Biosphäre verschlossen.

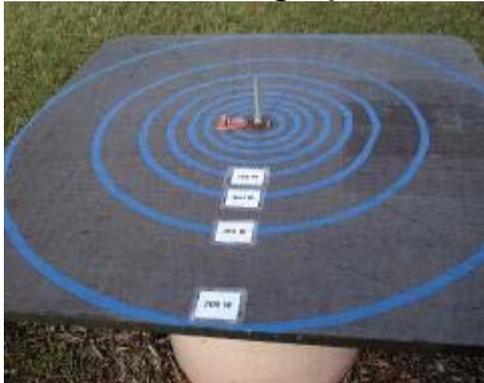
- Wolken reflektieren und streuen einen Teil der Strahlung. Ohne Wolken wäre es tagsüber viel heißer, nachts viel kälter. Da sich in unserer kleinen Biosphäre keine Wolken bilden, haben wir die Gefäßwände mit gemalten Wolken versehen. Sie lassen nur einen Teil des Sonnenlichts durch.

- Dunkle Körper absorbieren das Licht viel stärker als helle. Diese Erfahrung können Sie hier z.B. im Fußlabyrinth machen. Dunkle Böden heizen die Erde daher stark auf. Die Wüsten der Erde bestehen glücklicherweise zumeist aus hellen Sanden und Geröll. In unserer Biosphäre haben wir den dunklen Boden mit helle Kies bestreut und erhöhen so den Anteil des zurückgestrahlten Lichts.

- Die Biosphäre wurde im Frühjahr 1999 mit Tradescantia-Stecklingen und Kindeln der Streifenlilie (Chlorophytum) bepflanzt. Zwar wurde die Erde vorher sterilisiert, dennoch kamen im Sommer viele Triebe des Knöterichs, aber auch Klee auf.



Solare Energie pro Quadratmeter



Eine horizontale Fläche von einem Quadratmeter empfängt in Hannover pro Sekunde bis zu 800 Joule Energie oder 800 Watt Strahlungsleistung. Zum Vergleich: Wenn acht Leute jeweils zwei 5-Kilo-Hanteln um einen Meter stemmen, setzen Sie zusammen auch 800 Joule. Pro Stunde wird daraus eine Strahlungsmenge von 0,8 Kilowattstunden oder 2,88 Megajoule, genug um die 16 Hanteln etwa 3,6 Kilometer hochzuziehen. Genug, um fast 9 Liter Wasser zum Kochen zu bringen. Bei einem Verbraucherpreis von DM 0,30/kWh fallen so rein

rechnerisch an einem sonnigen Tag 24 Pfennige pro Stunde auf jeden Quadratmeter, auf das Stadtgebiet Hannovers mit einer Fläche von 6570 km² fast 1,6 Milliarden DM.... Doch leider lässt sich nur ein Teil davon nutzen.

Die Energie erreicht uns in Form von winzigen, für uns nicht sichtbaren Energiepaketen, Photonen genannt, die sich mit Lichtgeschwindigkeit bewegen und deren Zahl so unvorstellbar groß ist, dass es sich auch hier lohnt, einen Vergleich anzustellen. Da der Energieinhalt der Photonen bekannt ist, lässt sich ausrechnen, wie viele nötig sind, um 800 Joule Energie zusammenzutragen. Auf einen Quadratmeter prallen $2,5 \times 10^{21}$ Photonen pro Sekunde, eine 2,5 mit 20 Nullen! Wenn jedes dieser Photonen ein Sandkorn wäre, käme da gut und gerne pro Sekunde ein Sandwürfel von 4,5 km Kantenlänge zusammen und es wäre interessant, herauszufinden, ob dies mehr oder weniger als alle Sandkörner an allen Stränden der Nordsee wäre....

Der solare Energiefluss kann im Garten mit einem Solarwattmeter gemessen werden. Eine 1 Quadratmeter große, horizontale Platte gibt die Bezugsfläche vor. Zwei 5-Kilo-Hanteln ermöglichen Ihnen, sich an der Sonne zu messen. Um die oft gebrauchten Größen "Joule", "Watt" und "Wattstunden" zu veranschaulichen, haben wir eine Masse von 100 g bereitgestellt. Wenn Sie die Masse um einen Meter anheben, ist 1 Joule Energie erforderlich. Wenn Sie dies im Sekundentakt tun, erbringen Sie 1 Watt Leistung. Wenn Sie die Lust und Ausdauer haben, die Masse eine Stunde lang auf und nieder zu bewegen, haben Sie 1 Wattstunde oder Arbeit verrichtet oder 3600 Joule Energie verloren.



Energie und Jahreszeiten

Der Einfallswinkel der Strahlung folgt dem Tagbogen der Sonne. Gleichzeitig ist er abhängig von der Jahreszeit. Nicht die Entfernung der Erde von der Sonne ist, wie viele glauben, der Grund für die Hitze des Sommers und die Kälte des Winters. Abgesehen von den

unterschiedlichen Tageslängen und der tatsächlichen Sonnenscheindauer ist es die im Jahreslauf unterschiedliche Höhe der Sonne, die den Boden weniger oder stärker erwärmt. Neben der 1-Quadratmeter großen Platte liegt ein Rohr bereit. Nehmen Sie das Rohr in die Hand und halten es so, dass die Sonnenstrahlen gerade durch das Rohr auf die Platte fallen. Der Schatten des Rohrs darf jetzt nur die Form eines schmalen Rings. Bitten Sie Ihren Partner, die Innenseite des Schattenrings zu ummalen. Das Licht, das durch das Rohr fällt, verteilt sich auf eine elliptische Fläche (obwohl das Rohr einen kreisförmigen Querschnitt hat). Zählen Sie die Kästchen, die von der Ellipse begrenzt werden. Wie viele Kästchen passen auf den Rohrquerschnitt?

Sie werden schnell feststellen, dass sich die Strahlen bzw. Photonen, die den Querschnitt des Rohrs passieren, auf eine größere horizontale Fläche verteilen. Damit erhält jeder Quadratzentimeter auf der Platte weniger Energie als ein Quadratzentimeter Rohrquerschnitt. Das Verhältnis "Rohrquerschnitt" / "beleuchtete Fläche" wird bei niedrig stehender Sonne ungünstiger. Früh morgens oder spät abends ist die beleuchtete Ellipse lang ausgezogen, wodurch jeder Quadratzentimeter nur noch einen Bruchteil der mittäglichen Strahlungsenergie empfängt.

Zum Winterbeginn erreicht die Sonne in Hannover mittags nur noch 14° Höhe über dem Horizont, am 21. März sind es etwa 38°, bei Sommerbeginn 61° und am 23. September wieder 38°. Entsprechend unterschiedlich ist die Größe der Fläche, die von einer bestimmten Anzahl von Sonnenstrahlen beleuchtet werden.

Pflanzliche Energieträger und nachwachsende Rohstoffe

Zwei radial vom Wall ausstrahlende Streifen sind dem Thema Energiepflanzen und nachwachsende Rohstofflieferanten gewidmet. Die eindrucksvolle Vorführung einer Mehlstaubexplosion mit Kartoffelstärke zeigt, dass Pflanzen Energiespeicher anlegen, die der Mensch zu Nahrungsmitteln veredelt. Heute werden aus Kartoffeln nicht nur Chips, sondern z.B. auch sogenannte Bioalkohole hergestellt. Raps ist nicht nur Margarinebestandteil, sondern steckt auch im Biodiesel. Faserpflanzen, wie z.B. Lein oder der THC-freie Faserhanf gelten als Alternativen zu z.T. weniger umweltfreundlichen, weil bewässerungs- und pestizidabhängigen Importen wie z.B. Baumwolle.

In unmittelbarer Nachbarschaft zum seit vielen Jahren bestehenden, von Schülergruppen mitbetreuten Gemüsegarten wachsen hier von Jahr zu Jahr wechselnde Kulturen in kleinen Parzellen. Unser Ziel heißt, noch vermehrt heute fast vergessene, weil vom Massenanbau zurückgedrängte Pflanzen zu zeigen.

Holz und Holzkohle

Noch in Planung!

Kohle, Erdöl und Erdgas

Noch in Planung!



Energienutzung, CO₂, Wasserdampf und Treibhauseffekt

Der z.Z. wieder heftig umstrittene Treibhauseffekt so genannter „Klimagase“ lässt sich im Rahmen in gewissem Umfang im Unterricht demonstrieren und untersuchen. Dem bei jedem Verbrennungsprozess entstehende Kohlenstoffdioxid (CO₂) wird wegen seiner Eigenschaft langwellige Wärmestrahlung zu absorbieren ein „Glashauseffekt“ nachgesagt,



der Schritt für Schritt in ein Katastrophenszenario mit abschmelzendem Inlandeis, steigendem Weltmeeresspiegel, Dürre und verheerenden Wirbelstürmen führen soll.

Es ist nicht leicht, sich angesichts der Vielzahl von wissenschaftlichen Feststellungen und Meinungen ein eigenes, von den Medien einigermaßen unabhängiges Bild zu machen.

Wir können als nicht forschende Vermittler nur Beiträge zum Verständnis der Gesamtproblematik liefern. Dazu gehört aber die Einsicht in die Funktionsweise und tatsächliche Tragweite des

Treibhauseffekts, gewonnen etwa durch Temperaturmessungen unter Glas oder in kleinen, mit CO₂ und Wasser angereicherten „Klimakammern“, wie größeren Gurkengläsern. Der abgebildete Versuch zeigt die Verminderung der ins All abfließenden Wärmestrahlung durch die Absorption von CO₂- und Wasserdampf-Molekülen. Der Versuchsaufbau kann, wie viele andere hier aufgeführte Geräte und Modelle auch, von Schulen ausgeliehen werden. Ein ausführlicher Katalog liegt bei uns und im Internet bereit.

Sonne, Wind und Wetter



Wer macht den Wind?

Zwei Daunenfedern hängen am seidenen Faden von der Decke des großen Glasbeckens herab. Wie von Geisterhand bewegt, schaukeln sie, mal schwächer, mal stärker hin und her. "Du hast den Wind hineinblasen lassen und ihn dann eingesperrt", meinte ein kleiner Junge, der beim Aufbau an einem zugegeben ziemlich windigen Tag zuschaute. In der Tat sind es keine Erdstrahlen oder ähnlich esoterische Kräfte, die das Schaukeln verursachen, sondern der Wind. Da das Becken aber luftdicht verschlossen ist, muss er im Becken "geboren" werden.



Das Becken ist in zwei Zonen geteilt, eine wassergefüllte "Seeseite" und eine, zur Morgensonne hin zeigende und ansteigende "Landseite". Die Oberfläche des Hangs besteht aus dunklen Steinen. Morgens, wenn die Sonne im Südosten steht, erwärmen sich die Steine, während das "Meer" noch kühl ist. Die erwärmte, leichtere Luft steigt auf und wird von der "Meeresluft" ersetzt, was an der landwärts gerichteten Federbewegung gut zu sehen ist. In

der Höhe, also unter dem Glasdeckel, strömt die Luft zurück zum "Meer". Die Feder am kurzen Faden wird nach zur Seeseite ausgelenkt. Wenn sich das Wasser im Laufe des Tages erwärmt, kommt die Zirkulation fast zum Erliegen um später, wenn die späte Nachmittagssonne die Landseite nur noch im flachen Winkel trifft, sogar umzukehren. Das Schaukeln der Feder hat also die gleichen Ursache, die an einem sonnigen Hochdrucktag die Fahnen am Meer zum Land hin wehen lässt. Das Meer ist allerdings so groß, dass es sich im Laufe eines Tages nur wenig erwärmt. Daher kommt es erst nachts, nach dem Abkühlen des Landes zum Landwind.



Sommer und Winter auf unserem Planeten



Der Weihnachtsmann in Australien trägt bekanntlich kurze Hosen und Schnee fällt in Neuseeland vorzugsweise im Juli. Warum ist das so? Warum gibt es Jahreszeiten? Es hat *nichts* damit zu tun, dass wir im Laufe des Jahres der Sonne mal weiter, mal näher sind (Im Gegenteil: Zur Zeit sind wir im Januar der Sonne am nächsten!). Es sind die kurzen Tage im Winter bzw. die langen Tage im Sommer und die unterschiedliche Sonnenhöhe die weniger bzw. mehr Energie auf die Erdoberfläche bringen. Daneben spielt natürlich der Bedeckungsgrad des Himmels

eine wichtige Rolle.

Auf der im Sektor "Sonne, Wind und Wetter" aufgestellten "Erdkugel" können Sie die auf der Erde Jahreszeiten fühlen. Die "Erdachse" sollte nach Norden zeigen. Legen Sie die Hände den Globus und fühlen Sie die unterschiedlichen Temperaturen, die sich natürlich auch, z.B. mit dem Infrarot-Thermometer messen lassen. Im Sommer wird die Kugel oberhalb des Äquators wärmer sein als auf der "Südhälfte", denn im "Norden" fällt die hoch am Himmel stehende Sonne viel steiler ein als auf der Unterseite des Globus. Im Winter dagegen beleuchtet die tiefstehende Sonne vor allem die "Südhälfte", die obere Hälfte des Globus dagegen ist kalt. Der auf der Nord- bzw. Südhemisphäre unterschiedliche Einfallswinkel der Sonne lässt senkrecht auf die Oberfläche gesetzte "Türmchen" mal kurze, mal lange Schatten werfen.

Das Bild entstand auf dem alljährlich im September im Schulbiologiezentrum stattfindenden „Umweltforum“.



Wetterhütte



In der Wetterhütte finden Sie Zeigerinstrumente zur Darstellung der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit und des Drucks. Ein Trommelschreiber erfasst den Verlauf dieser Werte über jeweils eine Woche. Ein Temperatursensor schickt in kurzen Takten die Werte an einen Datenlogger (Computer) im Unterrichtsgebäude. Hier werden mehrere Temperaturkurven aus mehreren Monaten gespeichert (Raumtemperatur, Warmwassertemperatur, Außentemperatur).



Das Wetter aus der Satellitenperspektive



Regelmäßig zur Erde gefunkte Satellitenbilder (Meteosat 7) zeigen die Verteilung und Dynamik der Wolken z.B. über Deutschland. Mit der für Schulen ausleihbaren Anlage (Fernseher, Decoder, Satellitenschüssel) können u.a. mehrere Bilder nacheinander gespeichert werden und anschließend

auf dem Fernsehschirm als "Film" abgespielt werden. Die Bilder können im Unterricht auf der Basis von Wetterkarten und Wolkenbeobachtung erarbeitete Prognosen ergänzen.



Ausblick: Das Sonnensystem im „Golfplatzformat“



Entlang des 175 m langen, auf den zentralen Pavillon und das „Alte Schulhaus“ hinführenden Hauptweges können Sie gemächlichen Schrittes und gleichzeitig mit Überlichtgeschwindigkeit durch das stark verkleinerte Sonnensystem wandern. Die 5,9 Milliarden Kilometer Distanz zwischen Sonne und Pluto sind hier auf ein winziges Maß zusammengedrückt. Die Erde wird zum Stecknadelkopf, die Sonne zum über 5 m entfernten Golfball. Auf die Wiese gestreut, würden die Planeten nicht wiederzufinden sein. Aus diesem Grund haben wir sie auf Granitstelen gesetzt und mit durchsichtigen Kuppeln geschützt. Zwischen Sonne und den neun Planeten: ausgedehntes Nichts. Den nächsten der Sonne benachbarten Stern (Proxima Centauri, 4,6 Lichtjahre Entfernung) finden Sie vielleicht am Strand an der Westküste Irlands, den Sirius (8,6 Lj.) südlich von Rom.

Bei gutem Wetter schauen wir manchmal mit unseren Besuchern in die Sterne. Wenn dann der Riese Jupiter mit seinen Monden und der beringte Saturn selbst im Spiegelteleskop enttäuschend klein bleiben, wird deutlich, dass wir auf unserem bisschen Erde ziemlich einsam sind...

Unser Stern, die Sonne, ist nur einer unter wahrscheinlich 100 Milliarden anderen Sonnen, die zusammen unsere galaktische

Heimat bilden, die Milchstraße. Die Milchstraße ist nur eine von mindestens 100 Milliarden anderen Galaxien. Wie groß wäre ein Haufen aus 100 Milliarden Sandkörnern? Und: Würden wir uns darin wiederfinden?



Ingo Mennerich, Februar 2002