



Das GLOBE-Programm[®]

„Atmosphäre und Klima“

GLOBE-Lehrerhandbuch





Übersetzung des Kapitels „Atmosphäre und Klima“ aus dem englischsprachigen Lehrerhandbuch „GLOBE Program® Teachers Guide“ (Ausgabe 2000).

Das DLR besitzt das „copyright“ für die deutsche Übersetzung. Vervielfältigungen durch Fotokopie oder andere Verfahren bedürfen der schriftlichen Zustimmung des DLR (Projektleitung GLOBE Germany). Vervielfältigungen für den schulinternen Gebrauch sind ohne weitere Zustimmung zulässig.



„Atmosphäre und Klima“

Inhalt

Willkommen beim Studienprogramm "Atmosphäre und Klima"

Anschreiben des Wissenschaftlers an die Schüler	2-5
Dr. Susan Postawko stellt sich vor	2-6
Allgemeine Übersicht	2-11
Atmosphäre und Klima in der praktischen Beobachtung	2-12
Wissenschaftliche Schwerpunkte	2-14
Vorbereitung der Feldphase	2-17
Lernziele	2-18
Leistungsbeurteilung	2-19

Protokolle

Hinweise zur Durchführung der Atmosphäre- und Klimabeobachtung	2-21
Wolkentypen	2-23
Bewölkungsgrad	2-24
Regen	2-26
fester Niederschlag	2-29
Höchst- und Tiefsttemperaturen, aktuelle Temperatur	2-32
Messung der relativen Luftfeuchtigkeit	2-35
Luftdruck	2-43
Aerosol	2-51
Oberflächen-Ozon	2-75

Lernschritte

Beobachtung, Beschreibung und Einordnung von Wolkenformen	2-86
Beurteilung des Bewölkungsgrads: eine Simulation	2-92
Untersuchungen an der Meßstation	2-96
Bau eines Thermometers	2-101
Land, Wasser und Luft	2-112
Wolkenbeobachtung	2-114

Anhang

Protokollblatt für Atmosphärendaten	2-117
Beobachtung von Wolkenformen	2-119
Begriffsverzeichnis	2-122

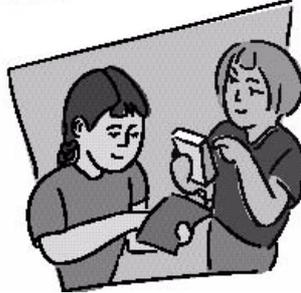
Erweiterung

Protokoll 1: pH-Wert des Niederschlags	2-124
Atmosphäre und Klima Datenblatt	2-129
Internetmaske für die Dateneingabe	2-132



Studienprogramm "Atmosphäre und Klima" im Überblick

PROTOKOLLE



Tägliche Erfassung folgender Größen (jeweils bei Sonnenhöchststand ± 1 Stunde):

- Aktuelle Temperatur
- Höchsttemperatur innerhalb der letzten 24 Stunden
- Tiefsttemperatur innerhalb der letzten 24 Stunden
- Wolkenform
- Bewölkungsgrad
- Niederschlag (Regen oder Schnee)

Empfohlener Ablauf

Lektüre des Begrüßungstexts *Willkommen beim Studienprogramm Atmosphäre und Klima*
Vervielfältigung und Verteilung des *Anschreibens des Wissenschaftlers* sowie
des *Interviews* an die Schüler. Lektüre der *Protokolle* zwecks Information über die zu erfassenden
Größen und einzusetzenden Meßverfahren Lektüre der *Lernschritte auf einen Blick* zu Beginn des
Kapitels *Lernschritte*.

Durchführung folgender Schritte gemeinsam mit den Schülern (vor Beginn der
Protokolldurchführung):

Beobachtung, Beschreibung und Einordnung von Wolkenformen
Beurteilung des Bewölkungsgrads: eine Simulation

Errichtung der Meßstation und des Regenmessers an einem geeigneten Standort auf
dem Schulgelände. Die Schüler sollten in die Auswahl des Standorts nach Möglichkeit einbezogen
werden. Kriterien für die Standortauswahl enthält der Abschnitt *Protokolle*.

Meldung der Standortdaten an den GLOBE Student Data Server. Vervielfältigung des
Atmosphäredaten-Arbeitsblatts (im Anhang).

Einweisung der Schüler in die Durchführung der täglichen Messungen gemäß
den Hinweisen in den Protokollen.

Tägliche Datenübermittlung an den GLOBE Student Data Server.

Durchführung der übrigen Lernschritte im weiteren Verlauf der täglichen Messungen.

☀️ Wichtiger Hinweis

Vergewissern Sie sich, daß die zur Erstellung der Atmosphäre-Protokolle benötigten Geräte
vollständig vorhanden sind. Hinweise zur Beschaffung dieser Instrumente enthält der Abschnitt
Instrumente und Technische Daten im *Werkzeugkasten*.



Anschreiben der Wissenschaftlerin an die Schüler



Liebe Schüler,

Hallo! Ich heiße Susan Postawko und bin wissenschaftliche Leiterin des GLOBE-Programms *Atmosphäre und Klima*. Ich unterrichte an der Fakultät für Meteorologie der Universität Oklahoma in Norman, Oklahoma (USA). Meine Mitarbeiter in der hiesigen Forschungsgruppe *Atmosphäre und Klima* sind Dr. Mark Morissey, Frau ReneeMcPherson, Dr. Ken Crawford und Dr. Rajeev Gowda. Daneben gehört eine Reihe von Studenten zu unserem Team. Wir möchten Euch im Rahmen des Forschungsprogramms *Atmosphäre und Klima* herzlich begrüßen und freuen uns auf die Zusammenarbeit mit Euch.

Es gibt kaum einen Menschen auf unserem Planeten, der sich nicht in der einen oder anderen Form für das Thema Klima bzw. Klimaveränderung interessiert. Jede langfristige Veränderung der weltweiten Temperatur- und Klimaverhältnisse betrifft schließlich uns alle. In vielen Ländern werden Bildungs-, Informations- und Trainingsprogramme mit dem Ziel durchgeführt, das allgemeine Bewußtsein für die möglichen Konsequenzen einer Klimaveränderung zu schärfen. Um langfristige Tendenzen erkennen zu können, müssen wir das Weltklima jedoch erst einmal genauer beobachten.

Eure täglichen Bewölkungs-, Temperatur- und Niederschlagsmessungen erlauben uns, wertvolle aktuelle Daten über den Zustand unseres Planeten zu gewinnen. Ihr spielt damit eine aktive Rolle bei der Überwachung der Veränderungen, die sich momentan überall auf der Erde vollziehen. Damit übernehmt Ihr eine große Verantwortung, der ihr jedoch - wie wir meinen - durchaus gewachsen seid.

Durch die Erfassung dieser Umweltdaten und ihrer gemeinsamen Auswertung mit Schülern aus aller Welt werdet Ihr Erfahrungen und Wissen gewinnen, auf deren Grundlage sich Entscheidungen treffen lassen - auch darüber, wie die Welt aussehen wird, die wir zukünftigen Generationen hinterlassen.

Wir werden Euch über die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Thema Wetter und Klima informiert halten. Umgekehrt bitten wir Euch, uns Eure Beobachtungen mitzuteilen.

Noch einmal, willkommen beim GLOBE-Programm. Und nun viel Spaß!

Dr. Susan Postawko
University of Oklahoma
Norman, Oklahoma, USA



Dr. Susan Postawko stellt sich vor

Dr. Postawko: Ich bin Dozentin an der Fakultät für Meteorologie der Universität von Oklahoma in Norman im US-Bundesstaat Oklahoma. Mein Interesse gilt dem Wetter - überall auf der Welt, aber auch auf anderen Planeten, speziell dem Mars. Ich untersuche, was sich auf dem Mars in der Frühzeit unseres Sonnensystems abgespielt hat und vergleiche die Ergebnisse mit der möglichen Entwicklung unserer Erde.

GLOBE: Auf dem Mars gibt es Wetter?

Dr. Postawko: Der Mars hat eine Atmosphäre, und auf jedem Planeten, der über eine Atmosphäre verfügt, gibt es auch Wetter. Die Dichte der Atmosphäre auf dem Mars beträgt nur 1/100 der unsrigen, wobei die Durchschnittstemperatur unterhalb des Gefrierpunktes liegt. Aber wenn man den Mars durch ein Teleskop betrachtet, sieht man dort Wolkenbilder, die unserer irdischen Bewölkung durchaus vergleichbar sind. Kurz nach der Entstehung des Mars, vor etwa vier Milliarden Jahren, sah er der Erde womöglich sehr viel ähnlicher. Nicht nur, daß wir dort Objekte beobachten können, die wie ausgetrocknete Flußläufe aussehen - es gibt auch andere Hinweise darauf, daß auf der Oberfläche des Mars einst Wasser floß. Möglicherweise waren die Unterschiede zwischen diesem Planeten und unserer Erde noch vor drei Milliarden Jahren gar nicht so groß. Mich interessiert die Frage, warum sich der Mars und die Erde so unterschiedlich entwickelt haben, wenn es früher einmal diese Ähnlichkeiten gab.

GLOBE: Gibt es in unserem Sonnensystem - außer auf der Erde - sonst noch irgendwo Wasser?

Dr. Postawko: Vielleicht auf dem Jupitermond Europa. Schlüssige Indizien weisen darauf hin, daß es unter seiner Eiskruste, die möglicherweise Dutzende von Metern dick ist, flüssiges Wasser gibt. Dies ist anzunehmen, weil die Oberfläche des Europa so unvorstellbar glatt ist. Die meisten Himmelskörper in unserem Sonnensystem sind mit Kratern übersät. Von diesem Jupitermond wissen wir jedoch, seitdem die Voyager-Raumsonden ihn überflogen haben, daß sein Relief wahrscheinlich nur einige Meter Höhenunterschiede aufweist. Viel mehr ist derzeit noch nicht bekannt. Es scheint, daß sich auf dem Europa jede geologische Formation, die höher als dieses Relief ist, sofort mit einer aus dem Inneren nachströmenden Flüssigkeit füllt. Da die Oberfläche dieses Mondes eisbedeckt ist, gilt als ziemlich gewiß, daß es sich bei dieser Flüssigkeit um Wasser handelt.

GLOBE: Mit seiner Oberfläche ähnelt er also einer großen Billiardkugel.

Dr. Postawko: Ja. Unser Sonnensystem ist ein faszinierender Ort. Man betrachtet diese Himmelskörper und ist überwältigt, und dann fragt man sich, wie sie sich zu ihrem heutigen Zustand entwickelt haben.

GLOBE: Welche Daten sollen die Schüler im Rahmen dieses GLOBE-Programms sammeln, und weshalb?

Dr. Postawko: Mich interessieren Regenfälle und Bewölkung. Niederschlag und Wolken bestimmen, wieviel Sonnenstrahlen unsere Erde erhält, und die Sonne ist Energielieferant für unseren ganzen Planeten. Alles Leben hängt von ihr ab.

Wir müssen wissen, wieviel Sonneneinstrahlung wir bekommen, und welche Wolkenarten das Sonnenlicht möglicherweise reflektieren, so daß es uns nicht erreicht. Die Wolken geben auch darüber Aufschluß, wieviel Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden ist - dies verbessert unser



Verständnis des Wasserkreislaufs, des wahrscheinlich wichtigsten aller Stoffkreisläufe auf der Erde. Wieviel Wasser verdunstet von der Oberfläche? Wieviel Wasser ist in der Atmosphäre vorhanden? Wieviel Niederschlag fällt zu einem gegebenen Zeitpunkt insgesamt?

Die Klimaerwärmung ist heute in aller Munde. Was die genauen Auswirkungen menschlichen Wirkens auf die Atmosphäre anbelangt, gehen die Meinungen noch immer auseinander. Richtig ist jedoch auf jeden Fall, daß sich das Klima auf der Erde zu allen Zeiten verändert hat. Manchmal war es wärmer, manchmal kälter. Wir müssen diese Veränderungen begreifen, um richtig reagieren zu können, wenn neue Veränderungen auf uns zukommen. Steht uns eine neue Eiszeit bevor? Und wenn ja, wo werden dann Menschen leben und wo wird man noch etwas anbauen können?

GLOBE: Sie können Tendenzen erkennen - aber können Sie auch ihre Ursachen feststellen?

Dr. Postawko: Nicht immer. Die Erde ist ein komplexes System, und die Naturwissenschaftler, die wissen möchten, welche Einflüsse zur Veränderung eines einzelnen Faktors führen, müssen ein wenig von allem verstehen - Klimawissenschaft, Ozeanographie, Geologie, Biologie usw. Lange Zeit hat jede Wissenschaft in ihrer eigenen Nische geforscht. Erst vor kurzem ist uns klar geworden, daß sich die Erde nicht stückweise begreifen läßt. Damit ist es nur schwieriger geworden, die Ursachen eines einmal beobachteten Trends zuverlässig zu ermitteln. Offenbar hat die Entwicklung der Niederschläge damit zu tun, daß sich das Klima auf unserem Planeten geringfügig erwärmt. Dies führt natürlich zu der Frage, wodurch diese geringfügige Erwärmung bedingt ist. Vielleicht nimmt die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre zu. Vielleicht sind aber auch ganz andere Faktoren im Spiel.

GLOBE: Hat es bei der Beeinflussung des Wetters Erfolge gegeben? Zum Beispiel, daß man es heute über der Wüste stärker regnen lassen kann?

Dr. Postawko: Dies ist ein umstrittenes Thema. Seit sich der Mensch mit dem Wetter befaßt, hat es Versuche gegeben, es zu beeinflussen. Eine Zeitlang hat man versucht, Wolken mit Chemikalien (z.B. Silberiodid) zu "besäen", um Regen herbeizuführen. Es hat Versuche gegeben, Wirbelstürme zu entschärfen, bevor sie das Festland erreichen. Die Wahrheit ist, daß wir in den meisten Fällen nicht wissen, ob diese Bemühungen überhaupt irgendeine Wirkung zeigen. Wir können nicht sagen, ob das Einbringen von Silberiodid in die Wolken zu Niederschlägen führt, oder ob es nicht ohnehin geregnet hätte.

GLOBE: Haben Schüler den Wissenschaftlern auch bei der Sammlung dieser Daten geholfen?

Dr. Postawko: Unbedingt. Wir arbeiten z.B. an einem Programm, bei dem Schüler im Bereich des Pazifik während der vergangenen drei Jahre die Regenfälle gemessen haben. Im Pazifik gibt es riesige Wasserflächen und nur wenig Land - die Daten, die wir von den Schülern erhalten, sind für uns von unschätzbarem Wert, wenn es darum geht, die Temperatur- und Niederschlagsveränderungen in dieser Region zu beurteilen. Fast 30% aller im Pazifik durchgeführten Messungen stammen von Schülern.

GLOBE: Erzählen Sie uns ein wenig über sich. Wo sind sie geboren? Wo sind Sie aufgewachsen?

Dr. Postawko: Aufgewachsen bin ich in St. Louis im US-Bundesstaat Missouri. Nach dem Abitur habe ich zunächst das College an der Universität von Missouri in St. Louis besucht. Da mein eigentliches Interesse damals der Astronomie galt, habe ich zunächst Physik und Astronomie studiert. Allerdings war ich auf die Anforderungen dieses Studiums erstaunlich schlecht vorbereitet. Auf der High School wurden uns in Mathematik und Naturwissenschaften nur die



wichtigsten Grundlagen vermittelt. Ich hatte zwar einen Hang zur Naturwissenschaft, befaßte mich jedoch nie gern mit Mathematik. Erst als ich erfuhr, welche Anwendungen die Mathematik in der Naturwissenschaft hat, war mein Interesse geweckt. Das ging soweit, daß ich schließlich sogar Hilfsdozentin für Mathematik wurde, was ich mir nie hätte träumen lassen. Ich erwarb schließlich den akademischen Grad eines Bachelors in Physik und Astronomie. Während ich mir noch überlegte, für welches weiterführende Studium ich mich entscheiden sollte, gab mir ein Professor den Rat, mich doch einmal mit der Klimawissenschaft zu befassen, da sich dieses Gebiet auch auf Atmosphäre und Klima anderer Himmelskörper erstreckt. Ich immatrikulierte mich also in diesem Fach an der Universität Michigan, wo ich 1983 promovierte. Danach erforschte ich einige Jahre an der Universität von Hawaii die Entwicklung und atmosphärischen Bedingungen anderer Planeten. Im Jahre 1991 kamen mein Mann und ich an die Universität von Oklahoma, wo ich heute an einer sehr traditionellen meteorologischen Fakultät arbeite. Es macht mir großen Spaß. Sobald sich das Wetter verschlechtert, laufen alle Leute zu ihren Autos, um irgendeinen Tornado zu verfolgen.

GLOBE: Sie verfolgen Tornados?

Dr. Postawko: Meine Kollegen tun das. Ich persönlich suche bei Unwetter lieber Schutz im Keller. Die anderen laufen stattdessen zu ihren Autos. Einige Studenten haben mir schon angedroht, sie würden mich früher oder später zwingen, sie auf eine dieser Expeditionen zu begleiten. Kaum jemand, der nicht mindestens eine Videokamera hat. Ich selbst sehe mir das alles lieber im Fernsehen an.

GLOBE: Was passiert, wenn der Tornado Sie verfolgt?

Dr. Postawko: Dann hat man natürlich ein paar ganz elementare Probleme.

GLOBE: Haben Sie Kinder?

Dr. Postawko: Nein, aber ich habe drei Hunde, fünf Katzen und zwei Vögel.

GLOBE: Was machen Sie in Ihrer Freizeit?

Dr. Postawko: Meine Freizeitbeschäftigungen haben zumeist auch etwas mit Naturwissenschaft zu tun. Abends gehe ich gern mit dem Fernrohr hinaus, um mir Sternbilder anzusehen, Sternschnuppen zu beobachten und Planeten zu lokalisieren. Seit wir nach Oklahoma gezogen sind, hat sich meine Vorstellung von Freizeitgestaltung grundlegend gewandelt. In Hawaii gehörten Wandern, Kajak-Fahren und Tauchen zu meinen Hobbies. In Oklahoma gibt es keine Möglichkeit zu tauchen. Ansonsten ist es jedoch ein sehr interessanter Staat.

GLOBE: Sie haben sich schon auf der Oberschule für Astronomie interessiert?

Dr. Postawko: Ich interessiere mich für Astronomie, solange ich denken kann. Vielleicht hat es damit zu tun, daß sich mein Vater so gern die Sternbilder ansah. Er las mir Bücher über die Planeten und andere astronomische Fakten vor.

GLOBE: Welches Verhältnis hatten Sie in der Mittel- und Oberstufe zu den Naturwissenschaften?

Dr. Postawko: Ich habe mich immer gerne mit Naturwissenschaften befaßt. Nur Mathematik fiel mir schwer, weil ich nicht einsah, wozu das alles gut sein sollte. Auf dem College war meine Studienberaterin eine ältere Dame. Als ich ihr erzählte, ich wolle Physik und Astronomie als Hauptfächer wählen, sagte sie zu mir: "Du weißt, daß das eine Menge Mathematik voraussetzt." "Wenn das so ist, komme ich eben um Mathematik nicht herum", erwiderte ich. Sie dachte, ich hätte



mich lieber für Spanisch entscheiden sollen, weil das schon auf der Oberschule mein Leistungsfach war. Ich konnte ihr jedoch deutlich machen, daß ich meinen Abschluß keineswegs in Spanisch machen wollte.



GLOBE: Hat man je versucht, Sie als Frau von einer naturwissenschaftlichen Karriere abzubringen?

Dr. Postawko: Nur diese eine Studienberaterin. Ich glaube, sie hatte einfach noch nicht viele Frauen in die Naturwissenschaften gehen sehen. Wenn mir heute Frauen von den Hindernissen erzählen, die sie zu überwinden hatten, bewundere ich sie wegen ihres Stehvermögens. Ich selbst hatte nie den Eindruck, daß mich irgend jemand von meinem Kurs abbringen wollte. Meine Eltern haben mich stets ermutigt, meine eigenen Ziele zu verfolgen. Ich hatte wunderbare Professoren, von denen mir keiner je zu verstehen gab, ich sollte mich lieber mit etwas anderem befassen als Naturwissenschaften.

GLOBE: Wenn nun ein Geist aus einer Flasche stiege und bereit wäre, Ihnen jede Frage zu beantworten - welche Frage würden Sie stellen?

Dr. Postawko: Wie sah es auf dem Mars in seiner Frühzeit aus? Seit Jahren bemühe ich mich, diese Frage zu klären.

GLOBE: Glauben Sie, daß man das herausfinden kann, ohne hinauszufiegen? Oder müssen wir uns unbedingt selbst dorthin begeben und nachgraben?

Dr. Postawko: Nach meiner Meinung werden wir früher oder später hinfliegen müssen. Das Problem mit ferngesteuerter Technik besteht teilweise darin, daß diese Geräte keine ungewöhnlichen Phänomene erkennen und prüfen können. Über den Mond wissen wir u.a. deshalb heute so gut Bescheid, weil sich die Astronauten dort persönlich umschauen und entscheiden konnten, welche Fragen einer genaueren Untersuchung bedurften.

GLOBE: Was war für Sie als Naturwissenschaftler die größte Herausforderung, die Sie zu bewältigen hatten?

Dr. Postawko: Das Faszinierende an den Naturwissenschaften ist, daß man fast täglich Dinge tut, die kein anderer vor einem getan hat. Man erfährt Dinge, die vorher niemand wußte. Aufregend an



den Naturwissenschaften sind nicht nur die großen Entdeckungen, die man zufällig macht, wenn man entsprechend Glück hat, sondern die Tatsache, daß man Tag für Tag sein Wissen erweitern kann.

GLOBE: Wo liegt der Lohn der Wissenschaft?

Dr. Postawko: Nach meiner Meinung gibt es für den Wissenschaftler zweierlei Befriedigung. Zum einen findet er Dinge heraus, die dem Menschen im Alltag nützen. Sehen Sie sich nur einmal die Technologie an, mit der wir heute täglich umgehen - das sind alles Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschung, die irgend jemand irgendwann betrieben hat. Zum anderen ist es ein erhebendes Gefühl, sein Wissen zu erweitern und immer mehr über die Erde, die Planeten und das Weltall in Erfahrung zu bringen zu können. Man weiß nie, welches Wissen zukünftigen Generationen von Nutzen sein wird. Als Isaac Newton die Differentialrechnung oder Schwerkrafttheorie entwickelte, konnte er sich die Anwendungen seiner Ergebnisse durch spätere Generationen vermutlich nicht vorstellen. Heute benutzen wir diese Erkenntnisse, um Raumschiffe bis zum Jupiter zu schicken.

GLOBE: Hatten Sie Vorbilder, als Sie aufwuchsen?

Dr. Postawko: Astronauten. Ich wollte Astronautin werden. Ich hielt sie für die tollsten Typen überhaupt.

GLOBE: Können Sie einem Schüler, der sich heute für Geowissenschaften interessiert, einen Rat geben?

Dr. Postawko: Er muß Selbstvertrauen haben, eigene Ziele verfolgen. Man darf sich von niemandem sagen lassen, man sei nicht intelligent genug. Wenn ich es geschafft habe, kann es auch jeder andere schaffen. Man muß seinem Herzen folgen, seinen eigenen Interessen. Wer sich wirklich vornimmt, sein Ziel zu erreichen, der hat auch Erfolg. Das mag kitschig klingen, und wenn es mir jemand gesagt hätte, als ich in der achten Klasse war, hätte ich sicher geantwortet. "Aber sicher doch, klar. Du weißt ja nicht, wie die Wirklichkeit aussieht." Aber es stimmt tatsächlich.

GLOBE: Möchten Sie sonst noch etwas hinzufügen?

Dr. Postawko: Ich hoffe, daß bei den Schülern nicht der Eindruck entsteht, Wissenschaftler seien Menschen, die im Elfenbeinturm sitzen und keinen echten Bezug zur Wirklichkeit haben. Naturwissenschaften sind nichts anderes als die Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit. Sie sind wie ein Kriminalroman, man sucht ständig nach Antworten. Was ist der Grund für dieses oder jenes Ereignis? Naturwissenschaften müssen Spaß machen!



Willkommen zum Studienprogramm *Atmosphäre und Klima*

Allgemeine Übersicht

"Alle reden über das Wetter, aber niemand unternimmt etwas dagegen!" Dies ist ein altes Klischee und eine weltweit seit Jahrhunderten verbreitete Klage. Aber es gibt durchaus Menschen, die sich nicht nur oberflächlich mit dem Wetter auseinandersetzen. Wissenschaftler in allen Ländern der Erde erforschen unser Wetter tagesin, tagaus - und im Rahmen des GLOBE-Studienprogramms können sich jetzt auch Ihre Schüler an dieser Arbeit beteiligen. Die Messungen und Beobachtungen der Schüler werden uns helfen, ein besseres Verständnis des Klimas zu gewinnen, das auf unserem Planeten herrscht.

Temperaturen und Niederschlagsmengen sind aus vielerlei Gründen wichtig. Auch die Bedeutung von Wolkentypen und Bewölkungsgraden dürfte für Schüler ohne weiteres einsichtig sein. Einige dieser Gründe (welche Kleidung man draußen tragen soll, ob es sich lohnt, einen Regenschirm mitzunehmen, oder welche Wetterprognose sich anhand des heutigen Wolkentyps für den morgigen Tag treffen läßt) motivieren auch Wissenschaftler, sich mit der Atmosphäre zu befassen. Es gibt kaum jemanden, der nicht gerne wüßte, welches Wetter ihn in Zukunft erwartet - nicht nur morgen oder übermorgen, sondern auch in sechs Monaten, in einem Jahr oder in zehn Jahren. Landwirte müssen wissen, ob ihre Felder genug Regen bekommen. Wintersportorte müssen wissen, ob es genug Schnee geben wird. In Gebieten, die von Wirbelstürmen bedroht sind, müssen die Menschen wissen, mit wieviel dieser Unwetter sie in diesem Jahr rechnen können. Die Wissenschaftler, die sich mit der Atmosphäre befassen, untersuchen nicht nur die Entwicklung unseres heutigen Wetters, sondern auch, warum es in der Vergangenheit so war und wie es in der Zukunft aussehen wird.

Mit "Wetter" meinen wir damit die Ereignisse, die sich heute, morgen oder in der nächsten Woche in der Atmosphäre abspielen. Der Begriff "Klima" bezeichnet dagegen das Wetter im Zeitverlauf. Nehmen wir z.B. an, die Temperatur betrüge in einer bestimmten Stadt momentan 25°C. Dies ist eine Wetterbeobachtung. Betrachten wir jedoch die Wetteraufzeichnungen der letzten 20 Jahre, so stellen wir womöglich fest, daß die Durchschnittstemperatur in dieser Stadt an diesem bestimmten Tag 18°C beträgt. Dies ist eine Klimaaussage. Möglicherweise finden wir auch heraus, daß die Temperatur in der Vergangenheit zwischen 30°C und 12°C schwankte und der aktuelle Wert von 25°C kein besonders ungewöhnliches Ergebnis darstellt.

Jede Untersuchung der Geschichte unseres Erdklimas zeigt schnell, daß die Temperaturen und Niederschläge innerhalb eines geographischen Bereichs einer ständigen Veränderung unterliegen. Die Aufnahmen spezieller Satelliten beweisen z.B., daß es in der Sahara einst große Flüsse gab. Wir können auch feststellen, daß die polaren Eiskappen einst bis nach Afrika reichten und ein Großteil der USA früher von einem flachen Meer bedeckt war. All diese Veränderungen traten ein, längst bevor diese Regionen von Menschen besiedelt waren. Aber wenn unsere Erde in der Vergangenheit so anders aussah - können wir dann vorhersagen, was in der Zukunft geschehen wird?

Die Erdatmosphäre stellt eine dünne Gasschicht dar, die zu 80% aus Stickstoff und zu 20% aus Sauerstoff besteht. Hinzu kommen Spuren einiger weiterer Gase. Diese Atmosphäre ist fließend und dynamisch, d.h. jede Veränderung in einem Teil der Welt wird sich mit hoher Wahrscheinlichkeit an anderer Stelle auswirken. Viele Wissenschaftler befürchten, daß durch die Verbrennung fossiler Energieträger wie z.B. Kohle und Öl soviel Kohlendioxid in die Atmosphäre gelangt, daß wir womöglich im Begriff sind, das Klima unseres gesamten Planeten zu verändern. Zwar gibt es auch natürliche



Klimaschwankungen auf der Welt, doch ist der Mensch imstande, das Klima unseres Planeten wesentlich schneller zu ändern, als es die Natur allein je könnte.

Die Folgen einer Klimaveränderung können für jeden lebendigen Organismus auf der Erde spürbar werden. Um die möglichen Auswirkungen einer weltweiten Klimaveränderung begreifen und steuern zu können, ist internationale Kommunikation und Zusammenarbeit gefordert. Umweltparameter müssen gemessen werden, um ein Bild vom derzeitigen Zustand der Atmosphäre zu gewinnen. Satelliten können zwar ein weltweites Bild unserer Erde liefern, sind jedoch nicht imstande, z.B. Niederschlagsmengen direkt zu messen. Hier brauchen wir Messungen von der Erdoberfläche, die uns die Möglichkeit geben, die Satellitenbeobachtungen korrekt zu deuten.

Die Messungen, die von Ihren Schülern im Rahmen des GLOBE-Programms durchgeführt werden, werden uns dabei helfen, ein besseres Verständnis der heute auf unserer Erde herrschenden Umweltbedingungen zu gewinnen und eine Datenbank mit Meßwerten aufzubauen, anhand derer etwaige langfristige Klimaveränderungen nachweisbar werden. Viele Menschen meinen, die Wissenschaft habe alle diese Vorgänge weltweit längst erfaßt - dies ist jedoch bei weitem nicht der Fall. Es gibt viele Regionen, in denen wir nur über ein ganz allgemeines Verständnis der Umweltfaktoren (z.B. Temperatur, Niederschläge), verfügen. Und selbst dort, wo wir scheinbar eine Fülle von Daten besitzen, wissen wir immer noch nicht, wie groß die Schwankungen der Temperaturen und Niederschlagsmengen innerhalb kurzer Zeiträume sind. Die von den Schülern durchgeführten Messungen werden erheblich dazu beitragen, unser Verständnis klimatischer Abläufe zu verbessern.

Atmosphäre und Klima in der praktischen Beobachtung

Obwohl es eine Vielzahl atmosphärischer Kriterien gibt, deren Verständnis für uns wichtig ist, wollen wir uns auf einige Grundbeobachtungen konzentrieren. Gemessen werden sollen Form und Intensität der Bewölkung, Lufttemperatur und Niederschlagsmenge. Am besten macht man es sich zur Gewohnheit, zum Himmel zu blicken, wann immer man ins Freie tritt. Achten Sie darauf, was in der Atmosphäre vor sich geht. Sie werden überrascht sein, wieviel es dort zu beobachten gibt.

Die Wolkenbeobachtungen werden von den Schülern mit dem bloßen Auge vorgenommen. Eine Größe, die dabei erfaßt werden soll, ist der Bewölkungsgrad, der von 0% (wolkenloser Himmel) bis 100% (geschlossene Wolkendecke) reicht.

Ein weiteres Merkmal, das mit dem bloßen Auge bewertet wird, ist die Wolkenform. Die Wissenschaft unterscheidet je nach Aussehen und Höhe verschiedene Erscheinungsformen der Bewölkung. Mit einigen Wolkenformen (z.B. den für Gewitter typischen Kumulonimbuswolken oder den faserigen, hochliegenden Eiswolken, die als Zirruswolken bezeichnet werden) dürften die Schüler bereits vertraut sein. Anhand von Fotografien typischer Formen werden sie in den Stand versetzt, jede Wolke einem von zehn Typen zuzuordnen.

Das wichtigste Instrument zur Temperaturmessung ist das Thermometer, das in vielerlei Formen vorkommt. Quecksilberthermometer basieren auf dem Prinzip, das sich dieses chemische Element mit zunehmender Temperatur ausdehnt. Wird das Quecksilber in ein Röhrchen eingeschlossen, nimmt es darin bei hohen Temperaturen einen größeren Rauminhalt als bei tieferen Temperaturen ein. Durch Kalibration des Röhrchens in der Standardeinheit "Grad Celsius" läßt sich die Temperatur quantitativ erfassen. Andere Thermometer basieren auf dem Verhalten anderer Substanzen wie z.B. temperaturempfindlicher Metalle. Es gibt auch spezielle Mini/Max-Thermometer, die die Höchst- und Tiefsttemperatur über einen definierten Zeitraum aufzeichnen.



Thermometer sollten grundsätzlich an einem gut belüfteten Ort aufgehängt werden, an dem sie keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, damit die Messung der Lufttemperatur nicht verfälscht wird. Überlegen Sie schon einmal, welche Faktoren in den einzelnen Gebieten temperaturbestimmend sind. Konzentrieren Sie sich dabei zunächst auf die unmittelbare Umgebung (welche Temperaturschwankungen gibt es innerhalb des Schulgeländes?) und gehen Sie von dort zu der Frage über, wie und warum die Temperatur weltweit variiert.

Niederschläge sind relativ leicht zu messen. Ein Regenschirm besteht im Grunde aus einem einfachen Gefäß, in dem sich der Regen sammelt, sowie einer Vorrichtung zur Bestimmung dieser Regenmenge. Wichtig ist, daß das Gerät nicht an einem Ort aufgestellt wird, der durch Häuser abgeschirmt oder von Bäumen beschattet wird - beides könnte das Meßergebnis verfälschen. In Regionen, in denen Niederschläge auch als Schnee fallen, läßt sich die Tiefe des Schnees mit einem Lineal messen. Die Wassermenge, die ein bestimmter Schneefall enthält, kann jedoch sehr unterschiedlich sein, so daß auch hier Proben genommen werden müssen. Überlegen Sie sich, wie bereits bei der Temperatur, welche Faktoren wohl für die lokalen und weltweiten Schwankungen der Niederschlagsmenge verantwortlich sind.

Bevor Sie die in diesem Modul verwendeten Meßinstrumente aufstellen, lesen Sie bitte den Abschnitt zur Instrumenteneinrichtung im Kapitel *Protokolle* und stellen Sie anhand einer Begehung des Schulgeländes fest, welche Orte für die Meßstation am geeignetsten sind. Dies ermöglicht Ihnen nicht nur, die Ausgangskennnisse Ihrer Schüler zu beurteilen, sondern veranlaßt auch die Schüler, sich über die für ihre Messungen maßgeblichen Einflußfaktoren Gedanken zu machen.

Stellen Sie den Schülern folgende Fragen: An welcher Stelle des Schulgeländes sieht man die meisten Wolken? Und wo die wenigsten? An welcher Stelle des Schulgeländes ist mit den höchsten Temperaturen zu rechnen? Weshalb? Wo dürften die Temperaturen wohl am niedrigsten sein? Weshalb? An welcher Stelle müßte man ein Brett installieren, damit sich darauf möglichst viel bzw. wenig Schnee sammelt?

Lassen Sie die Schüler während dieser Begehung des Schulgeländes eine Karte zeichnen. Bitten Sie sie, darauf zunächst nur die wichtigsten Dinge wie z.B. Schulgebäude, Parkplätze, Schulhöfe, Sportplätze usw. einzutragen. Danach sollten Details folgen - so z.B. über die Schulhofoberfläche (Pflaster, Rasen, Naturboden). Auch Wasserläufe oder Teiche sowie Baumgruppen sollten eingezeichnet werden. Das Ziel besteht darin, eine Zeichnung des Schulgeländes zu erstellen, auf der die Schüler den Standort der Meßinstrumente lokalisieren können, sobald Sie sich für einen Standort entschieden haben. Dies versetzt sie in die Lage, die Umgebung der Meßinstrumente zutreffend zu beschreiben.

Wissenschaftliche Schwerpunkte

Von der Vielzahl der Messungen, die sich im Rahmen dieser Untersuchung zweifellos durchführen ließen, wollen wir uns auf die wichtigsten konzentrieren: Bewölkung, Niederschlag und Temperatur.

Bewölkung

Wolken werden von uns allen wahrgenommen, doch nicht jeder ist sich ihrer Bedeutung für Wetter und Klima bewußt. Eine bestimmte Wassermenge ist in Form von Wasserdampf stets in der Atmosphäre präsent. Wie andere Gase, die in der Atmosphäre vorkommen (Stickstoff, Sauerstoff usw.), ist auch Wasserdampf für das menschliche Auge nicht sichtbar. Im Gegensatz zu anderen Gasen in der Atmosphäre kann Wasserdampf jedoch bei Erreichen einer entsprechenden



Konzentration vom gasförmigen in den festen (Eiskristalle) oder flüssigen (Tropfen) Zustand übergehen. Bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes, wie sie hoch oben in der Atmosphäre vorherrschen, bilden sich stattdessen winzige Eiskristalle. Wolken sind nichts anderes als die sichtbare Form dieser Kristalle bzw. Tropfen.

Die Art der Bewölkung, die sich uns darbietet, hängt von den jeweils herrschenden (oder unmittelbar bevorstehenden) Wetterbedingungen ab. Einige Wolkenformen bilden sich nur bei schönem Wetter, wogegen andere mit Regenschauern oder Gewitter einhergehen. Bald werden Sie imstande sein, durch Beobachtung des Bewölkungsbildes einfache Wettervorhersagen zu treffen.

Wolken spielen im Klimasystem eine komplexe Rolle. Sie sind Ausgangspunkt für Niederschläge und mitbestimmend dafür, wieviel Energie unsere Erde von der Sonne empfängt. Zu jedem beliebigen Zeitpunkt ist etwa die Hälfte der Erdoberfläche von Wolken bedeckt. Wolken reflektieren einen Teil des Sonnenlichts, so daß die Temperatur auf der Erde niedriger wird, als sie es ohne Bewölkung wäre. Zugleich absorbieren Wolken jedoch auch einen Teil der von der Erde entweichenden Wärme und lenken einen Teil dieser Wärme auf die Erdoberfläche zurück, so daß es hier unten wärmer wird, als es ohne diese Wolken der Fall wäre. Satelliten-messungen haben gezeigt, daß die Kühlwirkung der Bewölkung im Durchschnitt ausgeprägter als ihre wärmende Wirkung ist. Würden sich auf der Erde niemals Wolken bildeten, so wäre es auf unserem Planeten im Durchschnitt etwa 30°C wärmer.

Diskussionsfrage: Stellen Sie die durchschnittliche Anzahl Sonnentage und die Durchschnittstemperatur jedes einzelnen Monate in Ihrer Region fest (z.B. anhand eines Wetterkalenders oder ähnlichen Nachschlagewerks oder über Internet-Suche). Wie würden sich nach Meinung der Schüler die lokalen Temperaturen verändern, wenn sich die Anzahl der Sonnentage erhöhte oder verminderte?

Niederschlag

Die Niederschlagsmenge ist eine weitere zentrale Einflußgröße, die von den Schülern zu ermitteln ist. Der Begriff "Niederschlag" bezeichnet alle Formen flüssiger oder fester Wasserteilchen, die aus der Atmosphäre herabfallen und die Erdoberfläche erreichen. Flüssige Niederschläge umfassen u.a. Regen und Sprühregen, wogegen feste Niederschläge in Form von Schnee, Eiskörnern, Hagel, Eiskristallen und Eisregen ("unterkühltem Regen") auftreten.

Die Erde ist ein Wasserplanet - der einzige Planet des Sonnensystems, auf dessen Oberfläche natürlich flüssiges Wasser strömt. Nahezu alle Formen des Lebens sind auf Wasser angewiesen. Das Wasser, das in die Atmosphäre entweicht, um von dort an die Erdoberfläche zurück-zukehren, ist Bestandteil des übergeordneten Wasserkreislaufes. In diesem Kreislauf verdampft Wasser von der Meeres- und Landoberfläche, durchläuft die Atmosphäre, kehrt als Niederschlag zur Erdoberfläche zurück und wird über Flüsse und andere Wege dem Meer wieder zugeführt. Niederschläge sind ein wichtiger Bestandteil des Klimas. Wo sie zu knapp ausfallen, bilden sich Wüsten. Wo sie im Überfluß niedergehen, entsteht üppige Vegetation. Wasser ist Lebensgrundlage. Niederschläge sind für unsere Landwirtschaft und Trinkwasser-versorgung (in einigen Regionen auch für die Stromerzeugung) von unverzichtbarer Bedeutung.

Eine der wichtigsten Funktionen des Wassers auf der Erde besteht darin, Wärme aus den Äquatorgebieten in höhere Breitengrade zu transportieren. Dies erfolgt nicht nur durch Meeresbewegungen (Ströme), sondern auch durch das in der Atmosphäre vorhandene Wasser. Die Energieeinstrahlung der Sonne ist am Äquator intensiver als an den Polen. Dies ist einer der Hauptgründe, weshalb es in den Tropen warm, in der Arktis und Antarktis dagegen kalt ist.



Ein Großteil der Sonnenenergie wird in den Äquatorgebieten vom Meer absorbiert und trägt zur Verdampfung von Meerwasser bei. Dieser Wasserdampf kann sich daraufhin frei in der Atmosphäre bewegen. Sobald er in höhere Breitengrade gelangt, wo die Luft kühler ist, beginnt er zu kondensieren (d.h. er geht vom gasförmigen in den flüssigen Zustand über), wobei sich Wolken und Niederschläge bilden. Wenn Wasser von seinem gasförmigen in den flüssigen Zustand übergeht, gibt es dabei Wärme in die Atmosphäre ab. Durch die Umwandlung des Wassers von seinem flüssigen in den gasförmigen und zurück in den flüssigen Zustand wird demnach ein Teil der Sonnenenergie von den Äquatorgebieten in die Polargebiete transportiert.

Die durch die Kondensation von Wasser bedingte Energiefreisetzung in die Atmosphäre liefert wichtige wissenschaftliche Aufschlüsse zur Klärung der Ursachen für beobachtete Luftströmungen. Klimawissenschaftler erstellen Computermodelle der Erdatmosphäre (sogenanntes Globale Zirkulationsmodelle, engl. GCM) um herauszufinden, an welchen Orten sich Wolken und Niederschläge bilden - daraus läßt sich ableiten, wo Wärme an die Atmosphäre abgegeben wird. Die von den Schülern durchgeführten Wolken- und Niederschlagsmessungen unterstützten die Klimawissenschaft insofern, als sie wichtiges Zahlenmaterial über Bewölkungsgrade, Wolkenformen und Niederschläge liefern, die sich in die entsprechenden Computermodelle eingeben lassen und damit eine Prognose des zukünftigen Erdklimas ermöglichen.

Diskussionsfragen: Ermitteln Sie die durchschnittliche Niederschlagsmenge, die in ihrer Region in jedem einzelnen Monat niedergeht (diese Daten lassen sich einem Wetterkalender oder ähnlichen Nachschlagewerk entnehmen). Was würde Ihrer Meinung nach passieren, wenn all diese Niederschläge in einem einzigen Monat auftreten würden? Was wäre die Folge, wenn sich diese Niederschlagsmenge über das gesamte Jahr gleichmäßig verteilte? Oder wenn sich die jährliche Regenmenge halbierte? Was hätte es für Konsequenzen, wenn pro Jahr die doppelte Menge Regen fiel?

Temperatur

Die Temperatur ist wahrscheinlich die grundlegendste aller Einflußgrößen für die Entwicklung von Klima und Wetter. Wenn wir uns den Unterschied zwischen Tag und Nacht, Winter und Sommer oder Tropen- und Polargebieten vor Augen führen, fällt es uns leicht, diese Unterschiede mit Temperaturwechseln in Verbindung zu bringen.

Die Temperatur wird von vielerlei Faktoren beeinflusst. Einer der wichtigsten ist der jeweilige Breitengrad. Wissenschaftler, die sich mit unserem Erdklima befassen, interessieren sich sehr dafür, ob Temperaturveränderungen auf verschiedenen Breitengraden auftreten, und wenn ja, ob das Ausmaß dieser Veränderungen auf allen Breitengraden dasselbe ist. (Die meisten Globalen Zirkulationsmodelle gehen davon aus, daß sich bei einer Erwärmung der Erde die Polargebiete schneller erwärmen werden als die Tropen, obwohl es in den Polargebieten immer kühler als in den Tropen bleiben wird).

Einflußgrößen wie Temperatur und Niederschlag haben einen großen Einfluß darauf, welche Pflanzen und Tiere in einem bestimmten Gebiet gedeihen können - sogar auf die Zusammensetzung des Bodens, die sich dort bildet. Die Messungen, die von den Schülern im Rahmen des Studienprogramms *Atmosphäre und Klima* vorgenommen werden, sind damit nicht nur für die Untersuchung des Klimas, sondern auch für die Erforschung von Pflanzen, Tieren, Wasserkreislauf und Böden von Bedeutung.

Diskussionsfragen: Ermitteln Sie die durchschnittliche Tagestemperatur, die in ihrer Region in jedem einzelnen Monat herrscht (diese Daten lassen sich einem Wetterkalender oder sonstigen Nachschlagewerk entnehmen). Schwanken diese Temperaturen von Monat zu Monat? Welche Gründe gibt es nach Ihrer Meinung für diese Schwankungen? Glauben Sie, daß an allen Orten auf Ihrem



Breitengrad dieselbe Temperatur herrscht? Warum bzw. warum nicht? Welche Faktoren sind nach Ihrer Überzeugung für die Temperaturschwankungen an Ihrem Wohnort am maßgeblichsten?



Vorbereitung der Feldphase

Die Auswahl der Standorte für die klimatologischen Meßinstrumente und die Einrichtung der Meßstation mit Regenschirm und Thermometer wird die zeitaufwendigste Einzelaufgabe im Rahmen dieses Programms darstellen (vollständige Hinweise zur Standortwahl und sachgemäßer Montage der Instrumente entnehmen Sie bitte dem Abschnitt "Protokolle"). Das tägliche Ablesen von Regenschirm und Thermometern dürfte dagegen nicht einmal fünf Minuten dauern. Die Wolkenbeobachtung wird in der Regel etwa fünf Minuten in Anspruch nehmen, je nachdem, wie schnell sich die Schüler auf Bewölkungsgrad und Wolkenform einigen.

Das Ablesen des Regenschirms und der Thermometer kann von einem einzigen Schüler durchgeführt werden. Es empfiehlt sich jedoch, diese Aufgabe einer kleinen Gruppe von Schülern zu übertragen, damit eine gewisse Kontrolle besteht. Die Schüler können entweder jedes Instrument zusammen ablesen oder die Werte einzeln notieren und dann vergleichen. Um zu gewährleisten, daß der Regenschirm ordnungsgemäß entleert und das Mini/Max-Thermometer zurückgestellt wird, sollte vorzugsweise jedes einzelnen Instrument von der ganzen Gruppe abgelesen werden. Die Gruppe sollten innerhalb der Klasse immer wieder gewechselt werden, damit jeder Schüler die Gelegenheit zur Mitarbeit erhält.

Bei den Beurteilungen von Wolkenform und Bewölkungsgrad handelt es sich um subjektive "Messungen", d.h. die Qualität des Ergebnisses wird mit der Anzahl der beteiligten Schüler steigen. Eine Möglichkeit der Durchführung besteht darin, daß zunächst jeder Schüler seine eigene Bewertung vornimmt und dann eine Einigung innerhalb der Gruppe herbeigeführt wird. Wundern Sie sich nicht, wenn diese Beurteilung den Schülern anfänglich recht schwerfällt. Selbst erfahrende Wetterbeobachter können unterschiedlicher Meinung sein, wenn es um die Einordnung des beobachteten Wolkentyps oder des genauen Bewölkungsgrades geht. Mit zunehmender Gewöhnung werden sich Ihre Schüler die Fähigkeit aneignen, die feinen Unterschiede zwischen den einzelnen Wolkenformen genauer zu erkennen.

Alle klimatologischen Messungen müssen täglich und möglichst jeweils zum gleichen Zeitpunkt vorgenommen werden. Um eine problemlose Vergleichbarkeit der weltweiten Messungen zu gewährleisten, muß die Messung innerhalb einer Stunde ab Sonnenhöchststand erfolgen (siehe untenstehenden Kasten zur Berechnung dieses Zeitpunkts). Dies bedeutet jedoch keineswegs, daß die Mitarbeit auf Klassen beschränkt werden soll, die um diese Zeit Unterricht haben. Da die Messungen nur wenig Zeit in Anspruch nehmen, können auch Schüler aus früheren oder späteren Klassen an den Messungen mitarbeiten (z.B. in der Pause). *Wichtig ist vor allem, daß die Messungen ständig zur gleichen Tageszeit durchgeführt werden.*



Berechnung des Sonnenhöchststandes

Als Sonnenhöchststand wird im Rahmen dieses GLOBE-Programms der Zeitpunkt bezeichnet, an dem die Sonne den höchsten Stand auf ihrer täglichen Bahn erreicht hat. Astronomen bezeichnen diesen Zeitpunkt als "wahren Mittag". Je nachdem, an welchem Ort Sie sich innerhalb Ihrer Zeitzone befinden, braucht dieser Zeitpunkt nicht notwendigerweise mit "12 Uhr mittags" zusammenzufallen. Er liegt jedoch in jedem Fall auf halbem Weg zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Eine bequeme Methode zur Feststellung des Sonnenhöchststandes besteht darin, eine Lokalzeitung aufzuschlagen, in der die Zeiten für den örtlichen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang angegeben sind. Rechnen Sie die dort angegebenen Zeiten ggf. auf das 24-Stunden-System um und ermitteln Sie den Durchschnitt, in dem Sie die beiden Zeitangaben addieren und dann durch zwei teilen. Das Ergebnis ist die Zeit des Sonnenhöchststandes.

Beispiel: In Washington, D.C. gibt die Lokalzeitung den Zeitpunkt des Sonnenaufgangs mit 7:02 Uhr vormittags und den Zeitpunkt des Sonnenuntergangs mit 5.43 nachmittags an. Rechnen Sie zunächst 5:43 auf 17:43 im 24-Stunden-System um. Addieren Sie dann 7:02 und 17:43, das Ergebnis lautet 24:45. Aus der Division dieses Wertes durch 2 erhalten Sie 12:23 Uhr als Zeitpunkt des lokalen Sonnenhöchststandes. Führen Sie alle Messungen innerhalb ± 1 Stunde von diesem Zeitpunkt durch. Die Zeit des Sonnenhöchststandes verschiebt sich allmählich im Jahresverlauf und muß daher spätestens alle 3 - 4 Monate neu berechnet werden.

Lernziele

Das GLOBE-Programm bietet Schülern die Möglichkeit, sich durch die praktische Mitarbeit an einem authentischen wissenschaftlichen Forschungsprojekt wertvolles Wissen anzueignen. Im Rahmen des vorliegenden Moduls bestehen folgende Lernziele:

- Präzise und objektive Beobachtung bzw. Messung von Wetter und klimatischen Phänomenen
- Herstellung und Prüfung eigener meteorologischer Geräte zwecks Verständnis der Funktionsweise wichtiger Standardinstrumente
- Klassifizierung von Objekten und Ereignissen auf der Grundlage von Ähnlichkeiten, Unterschieden und Wechselbeziehungen
- Problemlösung durch Experimentieren
- Interpretation gesammelter Daten und Ableitung gültiger Schlußfolgerungen
- Untersuchung und Verständnis der Ungewißheiten, die jeder wissenschaftlichen Messung anhaften
- Kommunikation der Daten, die durch eigene wissenschaftliche Arbeit erarbeitet wurden
- Entwicklung von Modellen aus Daten, Strukturen oder Beziehungen



Leistungsbeurteilung

Die Leistungsbeurteilung sollte anhand von Einzel- und Gesamtbenotungsverfahren erfolgen, die sowohl qualitativ als auch quantitativ orientiert sein können. In jedem Fall sollte das eingesetzte Verfahren dem Entwicklungsstand der Schüler entsprechen. Mittels dieser verschiedenen Methoden ist der Lernfortschritt in folgenden Bereichen zu messen:

- Beherrschung des Konzepts
- Fähigkeit zu wissenschaftlichem Arbeiten
- Einstellung zu Naturwissenschaft, naturwissenschaftlichem Unterricht und naturwissenschaftlichen Berufen
- Beherrschung höherer Fertigkeiten wie z.B. Fragestellungskompetenz, Erkennung von Ursache und Wirkung, Prognose
- Einsatz von Konzepten und Prozeßfertigkeiten in neuen Situationen

Eine Möglichkeit, das Verständnis der Schüler für Inhalt und Ablauf des Atmosphäre-Moduls zu beurteilen, besteht in der täglichen Überwachung der aufgezeichneten und vorgelegten Daten. Ist die aufgezeichnete Höchsttemperatur stets höher als die Mindesttemperatur? Liegt die aktuelle Temperatur zwischen der Höchst- und Mindesttemperatur für die vergangenen 24 Stunden? Beide Fragen müssen zu bejahen sein. Andernfalls besteht Grund zu der Annahme, daß die Schüler entweder mit dem Mini/Max-Thermometer nicht zurechtkommen oder nicht genau wissen, was sie eigentlich ablesen (sollen).

Das Verständnis der Schüler für die Protokolle läßt sich auch prüfen, indem Sie sie auffordern, einen optimalen Standort für die Instrumente unter verschiedenen hypothetischen Bedingungen auszuwählen. Was wäre, wenn die Schule z.B. in einer Großstadt läge? Oder in einem stark bewaldeten Gebiet?

Die Lernschritte in diesem Modul sind so ausgelegt, daß dem Schüler das Verständnis der Protokolle sowie der zur Bearbeitung dieser Protokolle verwendeten Instrumente so leicht wie möglich gemacht wird. Zudem erlauben Sie dem Lehrer, das Verständnis wichtiger Begriffe sowie die Fertigkeiten der Schüler zu beurteilen. Die Schüler können z.B. ein eigenes Protokoll ihrer Arbeit führen, Referate vor der Klasse halten (vielleicht sogar einen Schulwetterbericht erarbeiten!) oder Aufsätze schreiben, die von anderen Schülern beurteilen werden.



PROTOKOLLE



Alle nachstehend aufgeführten Messungen sind täglich bei Sonnenhöchststand \pm einer Stunde durchzuführen.

Protokoll 1 : Wolkenform

Die Schüler bestimmen die Art der Bewölkung.

Protokoll 2: Bewölkungsgrad

Die Schüler ermitteln den Grad der Bewölkung.

Protokoll 3: Regen

Die Schüler messen mit Hilfe eines Regenmessers den Niederschlag am Untersuchungsstandort

Protokoll 4: Feste Niederschläge

Die Schüler messen Schneefälle und andere Formen fester Niederschläge am Untersuchungsstandort

Protokoll 5: Höchst- und Mindesttemperatur; aktuelle Temperatur

Die Schüler messen die Lufttemperatur am Untersuchungsstandort



Hinweise zur Durchführung der Atmosphäre- und Klimabeobachtung

Standortwahl

Der Standort für die Atmosphäre- und Klimamessungen auf dem Schulgelände ist so zu wählen, daß die Schüler in jedem Fall täglich Zugang zu den Geräten haben. Der Abstand zwischen dem Ort der Niederschlagsmessungen und dem Ort der im Abschnitt "Bodenbeobachtung" beschriebenen Bodenfeuchtigkeitsmessungen darf nicht mehr als 100 m betragen.

Die Beurteilung von Bewölkungsgrad und Wolkenform setzen einen ungehinderten Blick auf den Himmel voraus. Ein hervorragender Standort ist z.B. mitten auf einem Sportplatz. Die Wolkenbeurteilung braucht nicht unbedingt an derselben Stelle vorgenommen zu werden, an der auch die Niederschlags- und Temperaturmeßgeräte stehen. Um die optimale Position für die Wolkenbeobachtung auszuwählen, empfiehlt sich eine Begehung des Schulgeländes - dabei läßt sich schnell feststellen, an welcher Stelle man den freiesten Blick auf den Himmel hat.

Falls Sie in einer Großstadt leben, ist der Himmel womöglich nirgendwo uneingeschränkt einsehbar. Ein einfacher Eignungstest für in Frage kommende Standorte besteht darin, daß man sich fragt, welche Folgen es hätte, wenn der von dort aus nicht sichtbare Teil des Himmels vollständig bewölkt oder mit Wolkenformen einer vollständig anderen Art bedeckt wäre. Würden sich die von Ihnen gemeldeten Messungen dadurch wesentlich ändern? Ein Standort kann auch dann geeignet sein, wenn ein kleiner Teil des Himmels von dieser Stelle aus nicht sichtbar ist - immer vorausgesetzt, daß die Verhältnisse in dem nicht sichtbaren Teil keine Änderung der gemeldeten Beobachtungen verlangen würden.

Anordnung der Instrumente

Der ideale Standort für das Regenmeßgerät (und/oder das Schneebrett) sowie die Meßstation mit den Thermometern ist eine offene, ebene Fläche mit natürlicher Oberfläche (z.B. Gras). Hausdächer oder Pflaster- bzw. Betonflächen sollten vermieden werden, da sie sich stärker erwärmen als Gras und damit das Meßergebnis verfälschen können. Bei sehr harter Oberfläche können zudem die Niederschlagsmessungen beeinträchtigt werden, wenn Regen von dort in das Meßgerät zurückspritzt. Auch steile Abhänge oder geschützte Bodensenken sind als Standort ungeeignet, es sei denn, sie wären für die jeweilige Gegend repräsentativ.

Errichten Sie den Regenschirm und die Thermometerstation nicht in der Nähe von Gebäuden, Bäumen oder hohen Sträuchern. Solche benachbarten Hindernisse können den Luftstrom zu den Thermometern oder die Sammlung von Niederschlag in dem Regenmeßgerät beeinträchtigen.

Ordnen Sie den Regenschirm und die Thermometerstation zu benachbarten Objekten in einem Abstand an, der mindestens dem Vierfachen der Objekthöhe entspricht. Ist Ihr Standort also z.B. von 10 m hohen Häusern oder Bäumen umgeben, sollten Sie Ihre Instrumente in mindestens 40 m Entfernung von diesen Hindernissen errichten (siehe Abb. 2-1). Auf diese Entfernung können Bäume, Sträucher oder Gebäude als Windschutz fungieren, wodurch die Genauigkeit der Regenmessung sogar noch erhöht wird.



Ordnen Sie alle Instrumente auf einem einzigen Pfahl an, und zwar so, daß der Regenschirm der Thermometerstation gegenüberliegt, jedoch oberhalb der Thermometerstation angeordnet ist, damit die Thermometer die Sammlung von Regenwasser nicht beeinträchtigen.



Abb. 2-1

Lassen Sie die Schüler eine Karte von der Umgebung der Meßstation zeichnen, aus der auch die Anordnung der Instrumente relativ zu angrenzenden Häusern, Bäumen und Sträuchern in Nord-Süd-Koordinaten hervorgeht. Vermerken Sie in dieser Karte auch die Art der Oberfläche, auf der die Instrumente stehen.

Das Schneebrett sollte auf möglichst ebenem Untergrund an einem Ort befestigt werden, an dem die Schneetiefe am ehesten dem durchschnittlichen Schneefall in der Gegend entspricht. Wenn das Brett auf einem Hügel angeordnet wird, sollte es auf dessen sonnenabgewandter Seite liegen (d.h. auf der Nordhalbkugel auf dessen Nord- und auf der Südhalbkugel auf dessen Südseite). Der Standort des Schneebretts darf nicht von Bäumen, Häusern oder sonstigen Hindernissen gesäumt sein, die die Windströmung oder Schneeschmelze beeinflussen.

Standortbestimmung

Nachdem Sie sich für einen Instrumentenstandort entschieden haben, ermitteln Sie dessen Koordinaten mit dem GPS-Empfänger und übermitteln Sie diese Daten an den GLOBE Student Data Server.



Protokoll 1 Wolkenform

<p>Zweck Beobachtung der Wolkenform am Untersuchungsstandort der jeweiligen Schule.</p> <p>Übersicht Die Wolkenform liefert dem Klimaforscher wichtige Erkenntnisse. Sie steht mit dem Niederschlag und der Lufttemperatur in Zusammenhang.</p> <p>Zeitaufwand 5 Minuten</p> <p>Niveau Alle Schüler</p> <p>Häufigkeit Täglich bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde</p>	<p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Wolkenbildung Zusammensetzung der Atmosphäre Kühl- bzw. Erwärmungswirkung der Wolken</p> <p>Lerninhalte Erkennung von Wolkenformen Aufzeichnung von Daten Genau Beobachtung</p> <p>Hilfsmittel Atmosphärendaten-Protokollblatt GLOBE-Wolkenkarte Wolkenformbeobachtung (im Anhang)</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
--	---

Inhalt und Vorgehensweise

Beobachten Sie von Ihrem Wolkenform-Beobachtungsstandort die am Himmel sichtbaren Wolken. Stellen Sie die jeweilige Wolkenform anhand der GLOBE-Wolkenkarte und der Begriffsbestimmungen auf dem Hinweisblatt "Wolkenformbeobachtung" im Anhang fest. Kreuzen Sie zu jeder beobachteten Wolkenform ein Kästchen im Atmosphärendaten-Protokollblatt an. Nehmen Sie keine Beurteilung des Anteils jeder Wolkenform vor.

Datenübermittlung

Übermitteln Sie folgende Daten an den GLOBE Student Data Server:

- Datum und Uhrzeit der Wolkenform-Beobachtung in Weltzeit (UT)
- Beobachtete Wolkenform(en) (es dürfen auch mehrere Wolkenformen gemeldet werden).

Weltzeit (UT)

Weltzeit oder Universal Time (UT) ist die Uhrzeit (im 24-Stunden-System), die gerade in der englischen Stadt Greenwich gilt. Da der nullte Längsmeridian durch Greenwich läuft, gilt dies als Ausgangspunkt für den globalen Tageszeitverlauf. Wenn es in Greenwich Mitternacht ist, haben wir 0:00 Uhr UT. Bis vor kurzem wurde diese Weltzeit auch als Mittlere Greenwicher Zeit (MGZ) bezeichnet.



Protokoll 2

Bewölkungsgrad

<p>Zweck Beobachtung des Bewölkungsgrads am Untersuchungsstandort der jeweiligen Schule</p> <p>Übersicht Der Bewölkungsgrad liefert dem Klimaforscher wichtige Erkenntnisse. Er steht mit dem Niederschlag und der Lufttemperatur in Zusammenhang.</p> <p>Zeitaufwand 5 Minuten</p> <p>Niveau Alle Schüler</p> <p>Häufigkeit Täglich bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde</p>	<p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Wolkenbildung Zusammensetzung der Atmosphäre Kühl- bzw. Erwärmungswirkung der Wolken</p> <p>Lerninhalte Erkennung von Wolkenformen Aufzeichnung von Daten Genau Beobachtung</p> <p>Hilfsmittel Atmosphärendaten-Protokollblatt</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
---	---

Inhalt und Vorgehensweise

Nehmen Sie die Einstufung des Bewölkungsgrades an demselben Ort vor, an dem auch die Bestimmung der Wolkenform bestimmt wird. Geben Sie den Bewölkungsgrad anhand der nachfolgend definierten Bewölkungsstufen an:

Wolkenfrei - no clouds Es ist keine einzige Wolke am Himmel zu sehen
Geringe Bewölkung - clear Die Bewölkung macht weniger als 10 % des Gesamthimmels aus.
Aufgelockerte Bewölkung - isolated Die Bewölkung macht \geq 10 % und $<$ 25 des Gesamthimmels aus.
Aufgebrochene Bewölkung - scattered Mehr als \geq 25 %, jedoch $<$ 50 % des Himmels sind bewölkt.
Geschlossene Wolkendecke - broken Mehr als \geq 50 %, jedoch $<$ 90 % des Himmels sind bewölkt.
Geschlossene Wolkendecke - overcast Mehr als \geq 90 % des Himmels sind bewölkt.
Kein(e) deutlich erkennbare(r) Wolkendecke/Himmel - obscured Die Wolkentypen bzw. der Himmel sind nicht eindeutig zu erkennen. Mögliche Gründe wären z. B.: Nebel, Rauch bei Waldbränden oder Industrieanlagen, Ascheauswurf bei Vulkanausbrüchen etc.



Hinweis: Selbst erfahrenen Beobachtern fällt es mitunter schwer, zwischen aufgelockerter und aufgebrochener Bewölkung zu unterscheiden. Wenn der Anteil blauen Himmels gegenüber dem bewölkten Anteil überwiegt, spricht man von aufgelockerter Bewölkung. Wenn mehr Wolken als blauer Himmel zu sehen sind, liegt aufgebrochene Bewölkung vor.

Datenübermittlung

Vermerken Sie auf dem Atmosphärendaten-Protokollblatt täglich einen der vorstehenden vier Bewölkungsgrade und übermitteln Sie Ihre Ergebnisse an den GLOBE Student Data Server.



Protokoll 3

Regen

Zweck

Messung der Regenmenge am Untersuchungs-
tandort der jeweiligen Schule

Übersicht

Präzise Langzeitmessungen der Regenmenge
werden sowohl von der Klimaforschung als auch
von der Geowissenschaft benötigt.

Zeitaufwand

5 Minuten

Niveau

Alle Schüler

Häufigkeit

Täglich bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde

Wichtige Begriffe und Lerninhalte

Begriffe

Kondensation, Einfluß des Windes auf die
Niederschlagsmessung
Meniskus-Ablesung

Lerninhalte

Umgang mit Regenmesser
Aufzeichnung der Daten
Ablesen einer Skala

Hilfsmittel

Regenmesser Atmosphärendatenkontrollblatt
Bleistifte oder Kugelschreiber
Wasserwaage

Vorbereitung

Die Schüler arbeiten mit einem Standard-
Regenmesser, der aus vier Teilen besteht (siehe
nachstehende Abbildung)

1. Trichter (am Meßrohr befestigt)

1. Meßrohr: dünnes zylindrisches Rohr von
gleichmäßigem Durchmesser, das auf einer
Seite eine Skala trägt.
2. Überlaufrohr: dickes zylindrisches Rohr, das
bei starken Regenfällen etwa überlaufendes
Regenwasser aufnimmt
3. Halterung

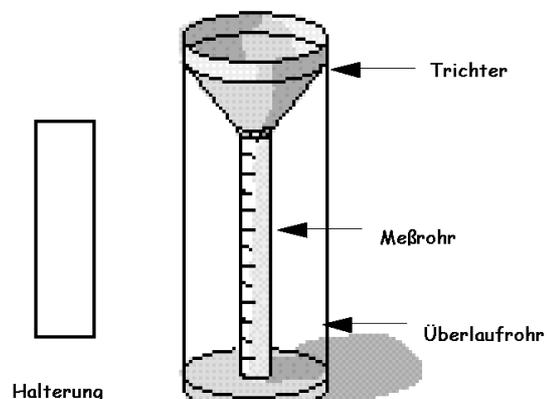
Stecken Sie das Meßrohr in das Überlaufrohr
und föhrend Sie den Trichter in beide Rohre
ein, wie abgebildet.

Die Halterung sollte an einem Holzpfehl oder -
balken befestigt werden, dessen Durchmesser
ungefähr demjenigen des Regenmessers
entspricht. Befestigen Sie die Halterung so, daß
der Regenmesser mit seinem oberen Rand 10 cm
über den Rand des Pfahls bzw. Balkens
vorsteht.

Der Regenmesser muß nach der Montage
waagrecht hängen. Dies läßt sich mit Hilfe
einer Wasserwaage prüfen, die in zwei
Richtungen (rechtwinklig über Kreuz) über den
Trichter gelegt wird.

Voraussetzungen

Keine



Hintergrund



Der Begriff "Regenfall" bezeichnet die Höhe der Wassersäule, die innerhalb eines festgelegten Zeitraums eine waagerechte Oberfläche durchdringt. Zur Bestimmung dieser Höhe wird der Skalenwert am Regenmeßgerät abgelesen, der den Regenfall in Millimetern angibt. Zu beachten ist, daß es sich hierbei um eine gedehnte Skala handelt - würde man also ein Lineal an die Skala des Meßröhrchens anlegen, so fielen die Teilstriche dieses Lineals nicht mit denjenigen der Skala zusammen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Öffnung des Trichters zehnmal so groß wie der Querschnitt des Meßröhrchens ist. Die Teilstriche auf dem Meßröhrchen müssen deshalb weiter auseinanderliegen, damit sich die Regenmenge direkt von der Skala ablesen läßt.

Inhalt und Vorgehensweise

Nach ordnungsgemäßer Montage des Regenmessers ist dieser täglich innerhalb einer Stunde ab Sonnenhöchststand abzulesen.

1. Beim Ablesen der Meßskala müssen sich die Augen des Schülers auf dem Niveau des Wasserstandes in dem Meßröhrchen befinden. Maßgeblich ist jeweils die tiefste Stelle der gewölbten Oberfläche der Wassersäule (sog. "Meniskus").
2. Nach jeder Messung ist das Wasser in dem Meßrohr auszugießen. Hierzu muß das Meßrohr umgestülpt werden, damit sein Inhalt völlig abläuft. Danach ist der Regenmesser wieder zusammenzubauen. Das Datum der Messung, die Uhrzeit (in Weltzeit) und die Regenfallhöhe in Millimetern sind auf dem Atmosphärendaten-Protokollblatt zu notieren.

In starken Regenperioden kann es vorkommen, daß das Meßröhrchen überläuft. Das überschüssige Wasser sammelt sich in dem Überlaufrohr. In diesem Fall ist der Inhalt des Überlaufrohrs zu messen, indem er in das Meßrohr umgegossen und das so ermittelte Niveau notiert wird. Dieser Vorgang muß unter Umständen mehrmals wiederholt werden, bis das Überlaufrohr leer ist. Die einzelnen Höhen sind dann zu der Gesamthöhe zu addieren.

Selbst wenn es eine Zeitlang nicht regnet, sollten die Schüler den Regenmesser täglich kontrollieren, um sich zu vergewissern, daß sich darin kein Abfall (Blätter, Zweige, Papierfetzen o.ä.) gesammelt hat.

Bei Temperaturen unter Null sind die Regenmesser in einem geschlossenen Raum aufzubewahren, da der Kunststoff sonst reißen oder platzen kann.

Datenübermittlung

Folgende Daten sind an den GLOBE Student Data Server zu übermitteln:

Datum und Uhrzeit der Messung (in Weltzeit)

Tägliche Regenmenge (in Millimetern)

An Tagen, an denen es nicht geregnet hat, ist in der Spalte "Regenfallhöhe" eine Null einzutragen. Wurde das Wasser in dem Regenmesser unbeabsichtigt verschüttet oder keine Messung durchgeführt (oder liegt aus einem sonstigen Grund kein Ergebnis vor), ist unter der täglichen Regenmenge der Buchstabe "M" (für "missing" = Fehlwert) zu notieren. Es ist wichtig, daß nicht einfach eine Null eingetragen wird, wenn einmal keine Regenmessung durchgeführt wurde. *Das*



Einsetzen von Nullen anstelle von Fehlwerten (M) ist ein häufig anzutreffender Irrtum, der die Genauigkeit der Analysen erheblich beeinträchtigt.

Sollte es zwar geregnet haben, die Menge jedoch für eine Ablesung am Meßrohr zu gering sein, so ist für diesen Tag der Buchstabe "T" (engl. "trace" = Spur) einzutragen. Wir wissen dann, daß nur ganz wenig Regen gefallen ist. Bei bestimmten Untersuchungen kommt es nur darauf an, ob es geregnet hat oder nicht - die Menge ist sekundär.

Die Messung der Regenmenge muß unbedingt täglich erfolgen. Sollte dies einmal nicht möglich sein, kann als Notbehelf nach einigen Tagen, an denen keine Messung durchgeführt wurde (z.B. Wochenende), der Buchstabe "C" (engl. "collecting" = Sammelwert) zusammen mit der gemessenen Regenmenge eingetragen werden. Dies weist darauf hin, daß die sich die gemessene Menge über mehr als 24 Stunden gesammelt hat. Ein "C"-Eintrag mit entsprechendem Meßwert darf jedoch nur notiert werden, wenn die letzte Ablesung mehr als 24 Stunden, jedoch höchstens 72 Stunden zurückliegt. An Tagen, an denen der Regenmesser nicht abgelesen wurde (z.B. Samstag, Sonntag), ist der Buchstabe "M" einzutragen.

Wenn also z.B. am Samstag und Sonntag keine Ablesung erfolgt ist, am Montag jedoch wieder gemessen wurde, ist unter Samstag und Sonntag jeweils ein "M" und am Montag ein "C" zusammen mit dem Meßwert einzutragen.



Protokoll 4

Feste Niederschläge

<p>Zweck Messung der festen Niederschlagsmenge am Untersuchungsstandort der jeweiligen Schule.</p> <p>Übersicht Präzise Langzeitmessungen der Menge fester Niederschläge werden sowohl von der Klimaforschung als auch von der Geowissenschaft benötigt.</p> <p>Zeitaufwand 5 Minuten</p> <p>Niveau Alle Schüler</p> <p>Häufigkeit Täglich bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde</p>	<p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Änderung des Aggregatzustands Wärmekapazität Schneedichte</p> <p>Lerninhalte Ablesen einer Skala Aufzeichnung von Daten</p> <p>Hilfsmittel 1 Meßstab mit Millimeterskala (metrisches Lineal). Wenn die Schneefälle am Meßort mehr als 1 m betragen, wird ein längerer Meßstab benötigt. 1 Schneebrett</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
---	--

Hintergrund

Der Begriff "Schneebrett" bezeichnet eines dünnes, ebenes Brett, das auf den bereits liegenden Schnee aufgelegt wird. Die Höhe des auf dieses Brett gefallenen Neuschnees läßt sich dann mit dem Meßstab ermitteln. Das Brett kann aus dünnem Sperrholz (Dicke ca. 1 cm) bestehen und sollte mindestens 40 x 40 cm groß sein, damit sich bei Bedarf mehrere Messungen der Schneetiefe vornehmen lassen. Die Lage des Schneebretts muß gut gekennzeichnet werden, damit es unter Neuschnee auffindbar bleibt.

Inhalt und Vorgehensweise

1. Stecken Sie nach dem ersten Schneefall den Meßstab senkrecht in den Schnee, bis er auf dem Erdboden aufsteht. *Achten Sie darauf, daß Sie nicht eine Eisschicht oder verkrusteten Schnee mit dem Boden verwechseln.* Wiederholen Sie die Messung an mehreren Punkten, an denen der Schnee möglichst wenig verweht ist. Wenn kein neuer Schnee gefallen ist, tragen Sie eine Null ein. Liegt die gemessene Tiefe zwischen 0 und 0,5 mm, notieren Sie den Buchstaben T (engl. "trace" = Spur).
2. Legen Sie das Schneebrett auf den bereits vorhandenen Schnee und drücken Sie es leicht ein, bis seine Oberkante bündig mit der Schneeoberfläche abschließt. Markieren Sie die Lage des Schneebretts mit einer Fahne o.ä., damit es unter dem nächsten Schneefall nicht verlorengeht.



3. Führen Sie nach neuem Schneefall den Meßstab vorsichtig ein, bis er auf dem Schneebrett aufliegt. Nehmen Sie mehrere Messungen an verschiedenen Stellen des Schneebretts vor und errechnen Sie den Durchschnitt aus diesen Werten. Das Ergebnis ist die tägliche Neuschneemenge.
4. Nach erfolgter Schneemessung ist das Schneebrett zu reinigen und erneut so in den Schnee einzulegen, daß es bündig mit der Oberfläche abschließt.
5. Messen Sie zusammen mit der täglichen Neuschneemenge zugleich auch immer die Gesamttiefe der Schneesicht. Das Verfahren ist dasselbe wie beim ersten Schneefall: Der Meßstab wird außerhalb des Schneebretts an mehreren Punkten bis auf die Bodenoberfläche eingestochen; die Ergebnisse werden gemittelt.

Bestimmung des Flüssigwassergehalts der täglichen Festniederschlagsmenge

Es gibt verschiedene Arten von Schnee - von leicht und luftig bis hin zu naß und schwer. Das Tagesflüssigkeitsäquivalent fester Niederschläge wird dadurch bestimmt, daß man eine Schneeprobe schmelzen läßt und das Wasservolumen mißt.

Für diese Messung wird ein Sammelgefäß benötigt. Bei Außentemperaturen unter Null müssen die Kunststoff-Regenmesser in einem geschlossenen Raum untergebracht werden, da sie sonst reißen oder platzen können. Das große Überlaufgefäß des Regenmessers ist jedoch ideal geeignet, um darin Schnee für die Bestimmung des Flüssigwassergehalts zu sammeln.

1. Nachdem Sie die tägliche Neuschneetiefe mit Hilfe des Schneebretts ermittelt haben, nehmen Sie das große Gefäß des Regenmeßgeräts und legen Sie es umgestülpt (Öffnung nach unten) auf das Schneebrett. Sorgen Sie durch leichten Druck dafür, daß sich der Behälter ganz an die Holzoberfläche anlegt. Je nach Größe Ihres Schneebretts gibt es nun mindestens zwei Möglichkeiten, die von dem Gefäßrand umschriebenen Schneemenge in das Gefäß zu bringen:

Methode A

Wenn Ihr Schneebrett nicht zu groß bzw. schwer ist, drücken Sie das Gefäß fest auf das Brett und drehen Sie dann Gefäß und Brett zusammen um. Der außerhalb des Gefäßes befindliche Schnee fällt dabei vom Brett - die Messung der Schneetiefe muß zu diesem Zeitpunkt also bereits erfolgt sein. Die in dem Gefäß gesammelte Schneemenge kann nun in einem geschlossenen Raum gemessen werden.

Methode B

Wenn Ihr Schneebrett zu groß oder zu schwer ist, um sich ohne weiteres umdrehen zu lassen, muß der Schnee von Hand in den Behälter gefüllt werden. Heben Sie den Behälter dazu vorsichtig vom Brett ab; auf dem Brett sollte sich daraufhin der Umriß des Behälters deutlich im Schnee abzeichnen. Schaufeln Sie den Schnee, der sich innerhalb dieses Kreises befindet, vorsichtig in das Gefäß hinein.

2. Nachdem sich der Schnee in dem Behälter befindet, bringen Sie diesen in einen geschlossenen Raum, damit der Inhalt schmelzen kann. Halten Sie die Öffnung des Behälters abgedeckt, damit kein Wasser verdampft.



3. Sobald der Schnee geschmolzen ist, gießen Sie das Wasser sorgfältig in das Meßrohr des Regenmessers und lesen Sie die Höhe der Wassersäule genauso ab wie bei der Regenmessung.

Vergessen Sie nicht, das Schneebrett nach erfolgter Messung zu reinigen und wieder so in den Schnee einzulegen, daß es bündig mit dessen Oberfläche abschließt.

Datenübermittlung

Folgende Daten sind an den GLOBE Student Data Server zu übermitteln:

Datum und Uhrzeit der Messung (in Weltzeit)
Gesamttiefe des Schnees (mm)
Tägliche Neuschneetiefe (mm)
Wassergehalt des geschmolzenen Schnees

Wenn es zwar geschneit hat, jedoch aus irgendeinem Grund keine Messung durchgeführt werden konnte (z.B. weil das Schneebrett weggeweht oder von irgend jemandem unbeabsichtigt von Schnee befreit wurde, bevor die Messung möglich war), tragen Sie den Buchstaben "M" (engl. "missing" - Fehlwert) ein.

Sollte die Neuschneemenge so gering sein, daß keine Messung vorgenommen werden konnte, ist für diesen Tag unter der Schneemenge der Buchstabe "T" (engl. "trace" = Spur) einzutragen.

Die Messung der Schneefallmenge muß unbedingt täglich erfolgen. Sollte dies einmal unmöglich sein, kann als Notbehelf nach einigen Tagen, an denen keine Messung durchgeführt wurde (z.B. Wochenende), der Buchstabe "C" (engl. "collecting" = Sammelwert) zusammen mit der gemessenen Schneemenge eingetragen werden. Dies weist darauf hin, daß die sich die gemessene Menge über mehr als 24 Stunden gesammelt hat. Ein "C"-Eintrag mit entsprechendem Meßwert darf jedoch nur notiert werden, wenn die letzte Ablesung mehr als 24 Stunden, jedoch höchstens 72 Stunden zurückliegt. An Tagen, an denen die Schneemenge nicht ermittelt wurde (z.B. Samstag, Sonntag), ist der Buchstabe "M" einzutragen.

Wenn also z.B. am Samstag und Sonntag keine Messung erfolgt ist, am Montag jedoch wieder gemessen wurde, ist unter Samstag und Sonntag jeweils ein "M" und am Montag ein "C" zusammen mit dem Meßwert einzutragen.



Protokoll 5

Höchst- und Tiefsttemperatur; aktuelle Tagestemperatur

<p>Zweck Messung der Lufttemperatur am Untersuchungsstandort der jeweiligen Schule.</p> <p>Übersicht Präzise Langzeitmessungen der Lufttemperatur werden sowohl von der Klimaforschung als auch von der Geowissenschaft benötigt.</p> <p>Zeitaufwand 5 Minuten</p> <p>Niveau Alle Schüler</p> <p>Häufigkeit Täglich bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde</p>	<p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Wärme Temperatur Konvektion Wärmeleitung Strahlung</p> <p>Lerninhalte <i>Umgang mit dem Thermometer</i> <i>Aufzeichnung von Daten</i> <i>Ablesen einer Skala</i></p> <p>Hilfsmittel 1 MiniMax-Thermometer 1 Meßstation 1 Zweites Thermometer zur Kalibrierung des MiniMax-Thermometers Atmosphärendaten-Protokollblätter</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
--	---

Hintergrund

Das Mini/Max-Thermometer ist ein U-förmiges Rohr mit zwei Markierungen, die die Höchst- und Mindesttemperatur angeben (siehe Abb. 2-2). Auf der Höchsttemperaturseite steigt die Temperaturskala von unten nach oben an (wie bei einem normalen Haushaltsthermometer). Auf der Mindesttemperaturseite nimmt die Temperaturskala von oben nach unten ab. Mit wachsender Temperatur wird der Zeiger auf der Höchsttemperaturseite nach oben gedrückt. Geht die Temperatur später zurück, so bleibt dieser Zeiger stehen und zeigt damit die registrierte Höchsttemperatur an. Analog bewegt sich die Quecksilbersäule auf der Tiefsttemperaturseite mit fallender Temperatur nach unten, wobei der Zeiger auf dem Punkt der niedrigsten Temperatur stehen bleibt. Die Skala des verwendeten Thermometers muß in Grad Celsius unterteilt sein.



Abb. 2-2: Mini/Max-Thermometer



Kalibrierung des Mini/Max-Thermometers:

1. Stellen Sie ein Gemisch aus 1 Teil flüssigem Wasser und 1 Teil gestoßenem Eis her.
2. Lassen Sie dieses Eiswasserbad etwa 10 - 15 Minuten lang stehen, so daß es seine Tiefsttemperatur erreicht.
3. Legen Sie Ihr Kalibrierungsthermometer mit dem Röhrchen in das Eiswasserbad und bewegen Sie es darin vorsichtig hin und her, damit es völlig abkühlt. Das Thermometer sollte eine Temperatur zwischen 0,0 und 0,5°C zeigen. Wenn dies nicht der Fall ist, muß ein anderes Thermometer verwendet werden.
4. Nachdem Sie sich von der Genauigkeit Ihres Kalibrierungsthermometers überzeugt haben, hängen Sie es an einem Haken in der Gerätestation auf (siehe untenstehende Anweisungen zum Mini/Max-Thermometer).
5. Vergleichen Sie nach 24 Stunden die Temperaturanzeigen beider Thermometer. Falls sie voneinander abweichen, muß das Mini/Max-Thermometer auf die Temperatur des Kalibrierungsthermometers justiert werden. Verstellen Sie dazu die Temperaturskalen beiderseits des Thermometers durch Lösen der kleinen Schraube auf der Rückseite. Danach lassen sich die Skalen unabhängig voneinander nach oben und unten verschieben.

Montage des MiniMax-Thermometers

Befestigen Sie das Mini/Max-Thermometer so in der Gerätestation, daß sein Gehäuse allseitig von Luft umströmt wird. Das Thermometer sollte auf Klötzen an der Rückwand des Häuschens so aufgehängt werden, daß es weder dessen Wände noch den Boden oder die Decke berührt. Das Thermometer muß 1,5 m über dem Boden oder 0,6 m über der mittleren maximalen Schneehöhe hängen (maßgeblich ist der höhere dieser beiden Werte). Die Station schützt das Thermometer vor direkter und reflektierter Strahlung (Sonne, Himmel, Boden, umliegende Objekte), erlaubt jedoch einen ungehinderten Luftfluß, damit die Temperatur innerhalb des Häuschens mit der Außenlufttemperatur identisch bleibt.

Die Instrumentenstation sollte auf einem Pfahl montiert werden, der möglichst fest im Boden verankert ist, um windbedingte Schwingungen auszuschließen. Derartige Schwingungen können die Markierungen des Mini/Max-Thermometers verändern und damit die Meßwerte verfälschen. Die Tür der Station sollte auf der Nordhalbkugel nach Norden und auf der Südhalbkugel nach Süden weisen, um eine direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden, wenn die Tür zur täglichen Messung geöffnet wird.

Die Instrumentenstation sollte aus 1,9 cm dickem Kiefernholz gefertigt und innen und außen weiß angestrichen werden. Zum Schutz vor Manipulationen kann ein Schloß vorgesehen werden. Innen sollte eine Reihe von Befestigungsklötzen vorhanden sein, an der sich das Mini/Max-Thermometer mit ausreichendem Abstand zur Rückwand der Station befestigen läßt. Die Tür sollte rechts angeschlagen sein (in der Skizze nicht erkennbar). Der Zusammenbau sollte durch Verschrauben erfolgen. Die Maße in den Zeichnungen sind in metrischen Einheiten angegeben. (Nähere Hinweise zum Bau der Gerätestation enthält der Werkzeugkasten).

Das Innere der Gerätestation sollten nach der Inbetriebnahme ab und zu mit einem feuchten Lappen ausgewischt werden.



Inhalt und Vorgehensweise

1. Beauftragen Sie eine Schülergruppe, das Thermometer einmal täglich (bei Sonnenhöchststand \pm 1 Stunde) abzulesen. Der Abstand zwischen Thermometer und ablesender Person sollte möglichst groß sein, um zu vermeiden, daß die Temperaturanzeige durch Körperwärme verfälscht wird. Die ist vor allem bei kaltem Wetter wichtig. Aus demselben Grund sollten die temperaturempfindlichen Teile des Thermometers nicht berührt werden.
2. Die aktuelle Tagestemperatur ist an einer der beiden Quecksilbersäulen abzulesen. Das Auge sollte sich dabei auf der Höhe des oberen Endes der Quecksilbersäule bzw. auf dem Niveau des unteren Zeigerrands befinden (je nachdem, was abgelesen wird). Andernfalls fällt der abgelesene Wert zu hoch oder zu niedrig aus.
3. Die Höchst- und Tiefsttemperatur ist am unteren Rand der Zeiger abzulesen.
4. Nachdem die Höchst- und Tiefsttemperatur sowie die aktuelle Tagestemperatur ermittelt wurde, müssen die Schüler die Zeiger zurücksetzen. Dies erfolgt mit einem kleinen Magnet, mit dessen Hilfe die Zeiger heruntergezogen werden, bis sie sich oben auf der Quecksilbersäule befinden. Damit der Magnet nicht verloren geht, empfiehlt es sich, ihn mit einem Stück Schnur an der Gerätestation zu befestigen.

Wenn einmal eine Temperaturmessung verpaßt wurde, muß das Thermometer bei der nächsten Messung zurückgesetzt werden. In diesem Fall sollte nur die aktuelle Tagestemperatur abgelesen werden. Da seit der letzten Messung mehr als 24 Stunden vergangen sind, ist nicht mehr nachvollziehbar, an welchem Tag die Höchst- und Mindesttemperatur aufgetreten ist.

Datenübermittlung

Folgende Daten sind an den GLOBE Student Data Server zu übermitteln:

- Datum und Uhrzeit der Messung (in Weltzeit)
- Aktuelle Lufttemperatur
- Höchste Tageslufttemperatur
- eringste Tageslufttemperatur



Protokoll 6

Messung der relativen Luftfeuchtigkeit

Ziel

Messung der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Messstation.

Lernziel

Die Schüler lernen, die Luftfeuchtigkeit zu messen, und erkennen, dass es eine Grenze gibt, bis zu der die Luft Wasserdampf zu halten imstande ist.

Die Schüler erkennen, weshalb sich Regentropfen und Schneeflocken bilden und warum es Niederschlag gibt.

Überblick

Das Schleuderpsychrometer: Die Schüler prüfen, dass das Psychrometer Wasser hat, mit dem der Kolben des einen Thermometers befeuchtet wird und lesen die Temperatur des Trockenthermometers ab. Dann schleudern sie die beiden Thermometer etwa 3 Minuten herum und lesen die Temperatur des Feuchtigkeitsthermometers. Die relative Luftfeuchtigkeit wird aus den Daten des Trocken- und Feuchtigkeitsthermometers unter Benutzung einer Tabelle oder eines „Schleuder“-Taschenrechners ermittelt.

Digitales Hygrometer: Die Schüler platzieren das digitale Hygrometer in einem Instrumentenschutz und lesen den Wert nach mindestens 30 Minuten ab.

Zeit

5 Minuten für das digitale Hygrometer

10 Minuten für das Schleuderpsychrometer

Stufe

Alle

Häufigkeit

Täglich, vorzugsweise innerhalb einer Stunde des mittäglichen Sonnenhöchststandes.

Arbeitshypothesen

Gebundene Wärme

Verdunstung

Kondensation

Wasserdampf

Taupunkt

Strahlung

Fertigkeiten

Benutzung eines digitalen Hygrometers oder Schleuderpsychrometers

Datenerfassung

Lesen einer Skala



Materialien und Geräte

Digitales Hygrometer

Instrumentenschutz

Thermometer

Uhr

Datenerfassungsblatt

Schleuderpsychrometer

Instrumentenschutz

Kalibrierungsthermometer

Psychrometrische Skala/Tabelle

Uhr oder Stoppuhr

Flasche destillierten Wassers

Datenerfassungsblatt

Voraussetzungen

Keine

Handreichungen für den Lehrer

Basiswissen

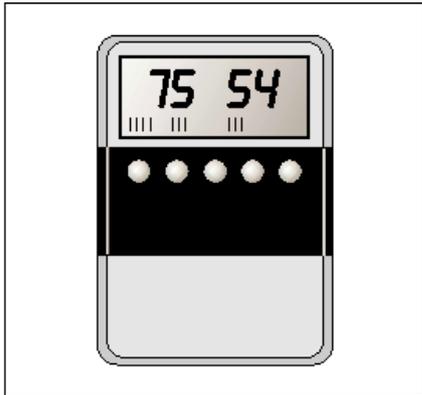
Die relative Luftfeuchtigkeit ist ein Maß für die Menge von Wasserdampf, die in einer Luftprobe vorhanden ist, und zwar bezogen auf den Wert, den die Luft hätte, wenn sie mit Wasserdampf gesättigt wäre. Wenn die Luft gesättigt ist, bilden sich Wassertropfen, wie z.B. Nebel oder Wolken. Indem man die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre beobachtet, kann man das Klima an jedem Ort als arid (trocken) oder humid (feucht) bestimmen. Ohne diesen Wasserdampf gäbe es keine Wolkenbildung.

Verdunstungen von Wasser auf der Erdoberfläche und im Erdboden und pflanzliche Verdunstungen tragen zum Wasserdampf in der Atmosphäre bei. Die Temperatur steht in Abhängigkeit zur relativen Luftfeuchtigkeit, da sie dadurch beeinflusst wird, wie viel Wasserdampf in der Atmosphäre ist. Je höher die Temperatur, desto größer die Verdunstung und desto höher kann der Anteil des Wasserdampfes sein. Je höher der Anteil des Wasserdampfes, desto schwerer ist es für die Luft, sich zu erwärmen oder abzukühlen.

Digitales Hygrometer

Das Hygrometer ist ein meteorologisches Instrument mit einer langen Geschichte. Die ersten Hygrometer benutzten menschliches oder anderes Haar, das, wenn es gebündelt wurde, empfindlich auf die Feuchtigkeit in der Luft reagiert (Manch einer mag das am bereits am eigenen Leib erfahren haben!). Durch Einsatz von keramischen oder metallischen Komponenten können digitale Hygrometer, die den elektrischen Widerstand messen, die Luftfeuchtigkeit ebenfalls über ein breites Spektrum messen, wodurch sie zu idealen Instrumenten für die Schulen werden, die Schwierigkeiten haben, Luftfeuchtigkeitsmessungen anhand des Schleuderpsychrometers durchzuführen.

Abbildung: Digitales Hygrometer



Gleich, welches Instrument benutzt wird, die Messungen zur relativen Luftfeuchtigkeit sind für die Wissenschaftler von großem Nutzen.

Das Hygrometer sollte keiner Kondensationsfeuchtigkeit ausgesetzt werden. Wenn Kondensationsfeuchtigkeit während der Messungen vorhanden oder zu erwarten ist, sollte keine Messungen gemacht werden. Statt dessen sollten 100% in den Messdaten und im Kommentar der Metadaten sollten „Kondensation vorhanden“ eingetragen werden, was anzeigt, dass die relative Luftfeuchtigkeit eher schlussgefolgert als gemessen wurde.

Die meisten Hygrometer sollten nicht im Instrumentenschutzgehäuse verbleiben, wenn Kondensationsbedingungen herrschen (Niederschlag oder Nebel). Deshalb sollte das Instrument im Instrumentschutzgehäuse mindestens 30 Minuten vor den mittäglichen Messungen nach draußen gebracht werden. Wenn ihr gleichzeitig das Ozon-Protokoll durchführt, wäre der ideale Zeitpunkt, das Hygrometer in das Schutzgehäuse(bzw. feste Messstation) zu setzen, derjenige, zu dem ihr den Ozonstreifen draußen anbringt, etwa eine Stunde vor den Ozonmessungen.

Das Hygrometer hat einen Standfuß, so dass es im Instrumentenschutzgehäuse(in der Messstation) aufgestellt werden kann. Lest den Wert der relativen Luftfeuchtigkeit auf dem Display genau auf 1% ab. Stellt sicher, dass die „max“ oder „min“-Anzeige nicht eingeschaltet ist, da das bedeutet, dass das Instrument den maximalen oder minimalen, aber nicht den tatsächlichen Wert anzeigt. Tragt den Wert in das Datenerfassungsblatt zusammen mit den Beobachtungen der Wolkenbildung, Temperatur und Niederschläge ein und gebt die Daten an GLOBE weiter.

Eine Eichung des Instruments ist nicht nötig, es sei denn das Datum auf der Eichplakette ist abgelaufen. Sendet dann das Gerät an den Hersteller zurück, damit es recalibriert wird, gewöhnlich geschieht das nach 2 Jahren.

Messlogistik

Das digitale Hygrometer kann durch Kondensation im Instrument zerstört werden. Deshalb sollte es nicht im Instrumentenschutzgehäuse(in der Messstation) draußen gelassen werden, es sei denn an besonders trockenen Orten oder zu besonders trockenen Jahreszeiten. Es sollte drinnen unter trockenen Bedingungen aufbewahrt werden und nur so lange draußen sein, wie es für Messzwecke benutzt wird. Wenn euer Gebäude nicht klimatisiert ist, verstaubt das Hygrometer in einem Plastikbeutel mit etwas Reis oder anderen feuchtigkeitsabsorbierenden Mitteln. Vergesst nicht, diese Materialien von Zeit zu Zeit auszutauschen.

Das Instrument benötigt ungefähr 30 Minuten, um sich an die Umgebungsbedingungen anzupassen. Dies ist eine logistische Herausforderung. Normalerweise können die täglichen Messungen der Temperatur, des Niederschlags und der Wolkenbestimmung innerhalb von 15 Minuten vorgenommen werden, weswegen das Hygrometer einige Zeit vorher in der Messstation platziert werden sollte, um dann später abgelesen zu werden.

Bei den Ozon-Messungen liegt eine ähnliche Situation vor: die Schüler gehen zur Messstation, platzieren den Ozonstreifen und kommen nach 1 Stunde wieder, um die Daten abzulesen. Eine Möglichkeit besteht



darin, das Hygrometer zusammen mit dem Ozonstreifen in der Messstation zu platzieren und es abzulesen, wenn der Ozonstreifen abgelesen wird. Die Temperatur wird abgelesen, wenn das Hygrometer und auch der Ozonstreifen abgelesen werden, wodurch zwei Fliegen mit einer Klappe geschlagen werden.

Wenn Niederschläge oder Nebel auftreten oder absehbar sind, sollte das Hygrometer nicht nach draußen gebracht werden. Stattdessen sollte auf dem Datenerfassungsblatt ein Wert von 100% erscheinen, wobei angemerkt wird, dass die Luft gesättigt ist, der Wert also geschätzt wurde.

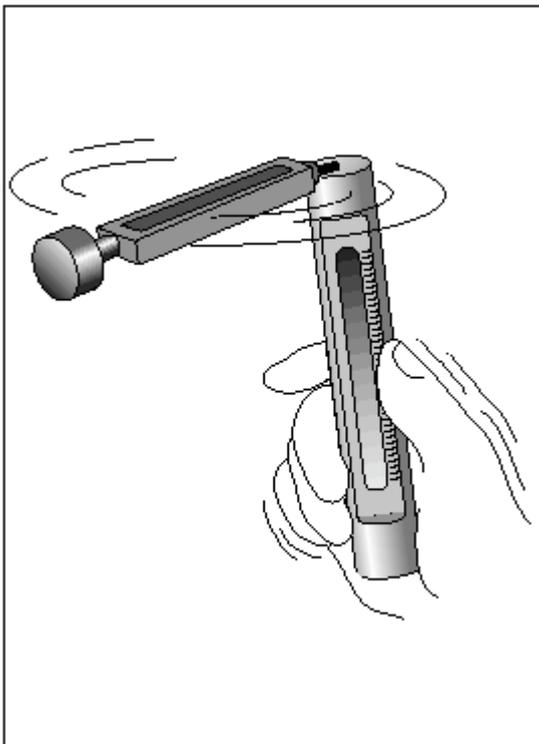
Verwahrung des Hygrometers

Die Messungen mit dem Hygrometer können jeden Tag durchgeführt werden, aber wenn das Instrument für längere Zeit nicht benutzt wird (eine Woche oder länger), ist es empfehlenswert, die Batterien herauszunehmen. Es sollte immer darauf geachtet werden, dass das Instrument an einem trockenen Ort aufbewahrt wird.

Schleuderpsychrometer

Das Schleuderpsychrometer besteht aus 2 Thermometern, die an einem robusten Gehäuse befestigt sind, das mit der Hand herumgeschleudert werden kann. Auf der einen Seite misst das „Trocken“-Thermometer die Lufttemperatur. Auf der anderen Seite misst das „Feucht“-Thermometer (mit einer Art Docht am Kolbenende des Thermometers) die Lufttemperatur, die durch Verdunstung des im Dochts befindlichen Wassers anfällt. Die Messskalen beider Thermometer gehen von unten nach oben. Ziel der Messung ist es, herauszufinden, wie hoch der Temperaturabfall durch Verdunstung ist. Je größer der Unterschied zwischen den Temperaturwerten des Trocken- und Feuchtthermometers ist, desto trockener ist die Luft.

Abbildung: Schleuderpsychrometer



Aus der Lufttemperatur und der Feuchttemperatur kann die relative Luftfeuchtigkeit leicht ermittelt werden. Eine Skala zum Ablesen der relativen Luftfeuchtigkeit befindet sich meistens am Instrument selbst. Ansonsten kann man die Skala benutzen, die mit dem Psychrometer mitgeliefert wird.

Vor der Benutzung des Schleuderpsychrometers sollte man überprüfen, ob die Messflüssigkeit gleichmäßig in den Thermometern verteilt ist, da es durch den Versand vorkommen kann, dass sich die Flüssigkeit



unregelmäßig verteilt. Wenn es zu solchen Erscheinungen gekommen ist, muss man das Thermometer genauso wie jedes normale Thermometer in der Luft schlagen, bis die Messflüssigkeit einheitlich verteilt ist. Daneben sollte jedes einzelne Thermometer mit dem Eichthermometer kalibriert werden, bevor es benutzt wird. Danach wird dann alle drei Monate erneut geeicht.

Handreichungen für den Schüler

Wissenschaftliche Fundierung

Die relative Luftfeuchtigkeit ist eine wichtige meteorologische Größe, um zu verstehen, wie schnell Wasserdampf von der Erdoberfläche in die Atmosphäre dringt. Verdunstung von Oberflächenwasser, Erdfeuchtigkeit und die pflanzliche Transpiration tragen alle zum Wasserdampf in der Atmosphäre bei und sind ein wichtiger Teil des Wasserkreislaufs. Obendrein kann Wasserdampf durch den Wind von einem Ort zum anderen getragen werden. Daher ist wichtig, nicht bloß die relative Luftfeuchtigkeit an der Messstation zu verstehen, sondern auch die Aufwinde zu kennen.

Die Messergebnisse der relativen Luftfeuchtigkeit können von Wissenschaftlern dazu benutzt werden, kurzfristige Wetterveränderungen zu überwachen, die mit den auslösenden Faktoren von Niederschlägen zusammenhängen. Diese Beobachtungen können ebenfalls für die Bestimmung des regionalen Klimas herangezogen werden.

Weiterführende Fragen

In welcher Beziehung stehen eure Beobachtungen der relativen Luftfeuchtigkeit mit der Lufttemperatur? Gibt es andere GLOBE-Messstationen auf eurem Breitengrad, die näher oder weiter weg von größeren Wasserflächen sind? Seht ihr irgendwelche systematische Unterschiede in der relativen Luftfeuchtigkeit zwischen eurer und den anderen Messstationen?

Hat die relative Luftfeuchtigkeit Einfluss auf andere als atmosphärische Dinge eurer Umgebung? Wie?

Zu welcher Tageszeit hat die relative Luftfeuchtigkeit normalerweise ihr Maximum/Minimum?

Gibt es eine Beziehung zwischen den Messungen zur relativen Luftfeuchtigkeit und denen zur Phrenologie?



Digitales Hygrometer

Feldversuchsführer

Ziel

Ermittlung der relativen Luftfeuchtigkeit unter zur Hilfenahme eines digitalen Hygrometers.

Was du brauchst!

Digitales Hygrometer

Uhr oder Stoppuhr

Datenerfassungsblatt(Atmosphäre)
Datenerfassungsblatt

Thermometer, richtig Instrumenten- oder *Ozon-*
im schutzgehäuse platziert

Vor Ort

1. Platziert das Hygrometer im Instrumentenschutzgehäuse/Messstation. (Wenn es nicht extrem trocken ist, lasst das Hygrometer nicht über Nacht draußen!)
2. Lest die relative Luftfeuchtigkeit nach mindestens 30 Minuten und notiert, welches Instrument ihr benutzt habt.
3. Lest die momentane Temperatur (für den Fall, dass eure Messung nicht zum gleichen Zeitpunkt vorgenommen wird wie die Maximum-, Minimum- und momentane Temperatur.
5. Bringt das Hygrometer in den Klassenraum zurück und verwahrt es an einem trockenen Ort.

Schleuderpsychrometer

Feldversuchsführer

Ziel

Messung der relativen Luftfeuchtigkeit unter Zuhilfenahme eines Feucht- und Trockenthermometers.

Was du brauchst!

Schleuderpsychrometer

Uhr oder Stoppuhr

Psychrometrische Skala

Datenerfassungsblatt(Atmosphäre)
oder *Ozon-Datenerfassungsblatt*



Vor Ort

1. Haltet Abstand zu Personen und zur Messstation, um niemanden mit dem Schleuderpsychrometer zu treffen. Steht im Schatten, wenn möglich mit dem Rücken zur Sonne.
2. Haltet das Psychrometer so weit wie möglich von eurem Körper entfernt, damit eure Körpertemperatur keinen Einfluss auf das Messergebnis hat. Das ist besonders bei kaltem Wetter wichtig. Berührt und haucht die temperaturempfindlichen Teile des Instruments nicht an. Das könnte die Ergebnisse beeinflussen.
3. Öffnet das Gehäuse des Schleuderpsychrometers, indem ihr die Schleuder herauszieht, in denen die beiden Thermometer sitzen.
4. Lest die augenblickliche Trockentemperatur bis auf 0.5°C genau; das Thermometer ohne Docht. Gebt Acht, dass ihr beim Ablesen der Temperatur auf Augenhöhe mit der Thermometerflüssigkeit seid.
5. Notiert die Trockentemperatur.
6. Überprüft den Wasserbehälter des Feuchtthermometers und seht, ob der Docht feucht ist. Wenn er trocken ist, füllt destilliertes Wasser in den Wasserbehälter.
7. Schleudert das Psychrometer 3 Minuten lang.
8. Lasst das Psychrometer am Ende der Messung alleine auslaufen.
9. Lest die Feuchttemperatur bis auf 0.5°C genau ab; das Thermometer mit dem Docht.
10. Notiert die Feuchttemperatur.
11. Bestimmt die relative Luftfeuchtigkeit, indem ihr eine psychrometische Skala benutzt; entweder am Instrument oder das beiliegende Skalenblatt.
12. Verschließt das Instrument nach der Messung in seinem Gehäuse.



Häufig gestellte Fragen

1. Warum gibt es zwei unterschiedliche Methoden, um die relative Luftfeuchtigkeit zu messen?

Diese zwei Methoden werden vorgeschlagen, damit Lehrer und Schüler sich überlegen können, wie viel Zeit sie für die Messungen übrig haben. Die eine ist zeitintensiver, aber auch spaßiger als die andere. Beide Messungen sind gleichermaßen wertvoll für das GLOBE-Programm und die Wissenschaftler.

2. Warum müssen wir das Hygrometer täglich nach drinnen bringen und es 30 Minuten vor den mittäglichen Messungen hinausbringen?

Die empfindliche Elektronik im Innern des Hygrometers darf nicht für längere Zeit Feuchtigkeit ausgesetzt sein, deshalb ist es am besten, jeder Feuchtigkeit aus dem Wege zu gehen. Wenn Nebel oder Regen zum Zeitpunkt der Messung auftreten, ist es am besten, das Hygrometer nicht nach draußen zu bringen; ihr tragt dann eine relative Luftfeuchtigkeit von 100% ein und kommentiert in dem Metadatenteil, dass die Messung durch sichtbare Kondensation der Luft (Regen oder Nebel) beeinträchtigt war.

3. Was versteht man unter der Taupunkttemperatur?

Die Taupunkttemperatur ist eine Variable, die Meteorologen als ein Maß des tatsächlichen Wasserdampfes benutzen. Bei ruhigen, klaren Tagen, denen ruhige, klare Nächte vorangegangen sind, fällt die Temperatur schnell auf den Taupunkt. So lange sich kein Tau bildet, wenn die Lufttemperatur die Taupunkttemperatur erreicht, kann sich Nebel bilden. Bildet sich Tau oder Nebel, so wird die Taupunkttemperatur fallen, weil es weniger Wasserdampf in der Luft gibt.

4. Warum kann das Schleuderpsychrometer nicht unter dem Gefrierpunkt benutzt werden?

Das Verhältnis zwischen der Verdunstungsrate und der Temperatur ist unter 0°C komplizierter, daher ist das Schleuderpsychrometer nicht so gut einsetzbar. Es gibt teurere Instrumente, die über größere Bereiche messen können, die aber über den Etat für Schulen hinausgehen. Wir empfehlen ein Hygrometer für Orte, die häufiger Temperaturen unter 0°C haben.

5. Wie genau sind die Messungen der Luftfeuchtigkeit im Vergleich mit solchen, die mit teureren Instrumenten gemacht werden?

Das Hygrometer gibt die relative Luftfeuchtigkeit mit einer Abweichung von 2-4% innerhalb eines 5%-Wertes an. Das Schleuderpsychrometer gibt die Temperatur mit einer ungefähren Genauigkeit von 0.5°C an, vorausgesetzt die Kalibrierung des Thermometers ist vorhanden. Daraus resultiert eine Genauigkeit von mehr als 5% in Bezug auf die normalen Werte relativer Luftfeuchtigkeit, die zwischen 20-90% liegen.



Protokoll 7

Luftdruck

<p>Ziel Beobachtung des Luftdrucks</p> <p>Bereitstellung von Luftdruckmessungen für andere GLOBE-Versuche</p> <p>Lernziel Die Schüler sollen lernen, dass der Luft- oder Höhendruck variiert und dass das einen bevorstehenden Wetterumschwung bedeutet.</p> <p>Überblick Die Schüler notieren Messungen eines Barometers oder Altimeters.</p> <p>Zeitdauer 5 Minuten</p> <p>Stufe Alle</p> <p>Häufigkeit Täglich, innerhalb des mittäglichen Sonnenstandes oder zu ungefähr der Zeit, zu der die Aerosol-Messungen vorgenommen werden.</p>	<p>Schlüsselbegriffe Der Luftdruck ist ein Maß für das Gewicht der Luft Der Luftdruck nimmt schnell mit der Höhe über der Erdoberfläche ab Zusammensetzung der Atmosphäre Der Luftdruck verändert sich über die Zeit Beziehung zwischen dem Luftdruck und dem gegenwärtigen Wetter(Niederschlag, Temperatur)</p> <p>Fertigkeiten <i>Messung des Luftdrucks</i> <i>Aufzeichnen von Daten</i> <i>Lesen einer Skala</i></p> <p>Vorbereitung Kenntnis über die Höhe der Messstation</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
---	--

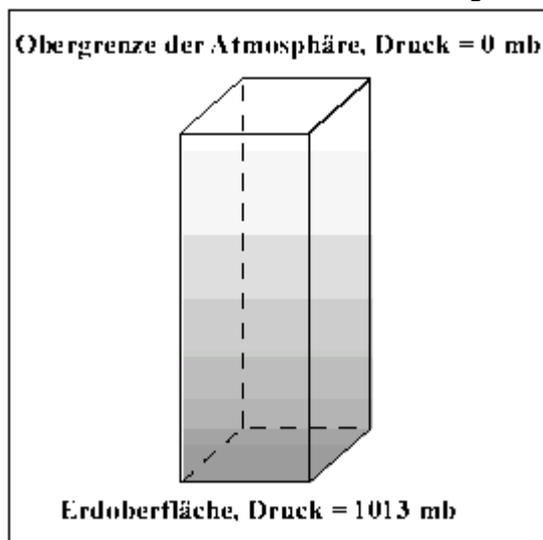


Handreichungen für den Lehrer

Hintergrundinformation

Der Luftdruck ist definiert als das Gewicht einer Säule Luft über einer Fläche. Luft besteht aus Stickstoff, Sauerstoff, Argon, Wasserdampf, Kohlendioxid und anderen Gasen. Da diese Gase eine Masse haben, wird die Luft von der Anziehungskraft der Erde angezogen. Die Anziehungskraft gibt uns und der Luft ein Gewicht. Je größer die Luftmenge einer Säule über einer bestimmten Fläche, desto mehr Gewicht hat die Luft. Druck ist definiert als die Kraft, die auf eine Einheit der Fläche ausgeübt wird.

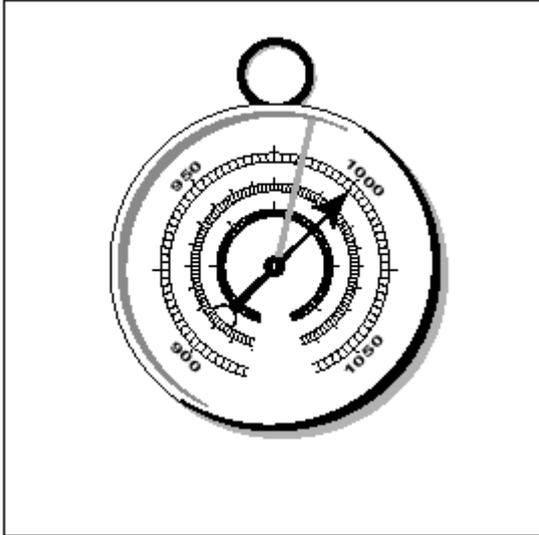
Abb1: Luftsäule mit Druckveränderung



Luftdruck ist das Gewicht (die Kraft), mit dem die Luft auf jede Flächeneinheit der Erdoberfläche drückt. (Eine Flächeneinheit könnte der Quadratmeter oder Quadratzentimeter sein, mit anderen Worten: jede Flächeneinheit.) Abbildung 1 veranschaulicht eben Gesagtes.

Das Instrument zur Luftdruckmessung ist das Barometer. Normalerweise handelt es sich dabei um ein empfindliches Quecksilberbarometer, aber diese sind teuer und Quecksilber ist giftig. Deshalb wurde das Aneroidbarometer entwickelt, das Messdaten für den Meteorologen liefert. Abbildung 2 zeigt ein Aneroidbarometer. Ein dehnbare, fast luftleeres Metallgehäuse verändert seine Ausdehnung durch den auf ihm lastenden Luftdruck. Bei hohem Luftdruck wird das Metallgehäuse stärker zusammengedrückt. Bei niedrigerem Luftdruck dehnt es sich weiter aus. Eine mit dem Metallgehäuse verbundene Nadel zeigt auf einer Skala den jeweiligen Luftdruck an.

Abb. 2: Aneroidbarometer



Wissenschaftler können die Höhe der Quecksilbersäule eines Quecksilberbarometers benutzen, um den Luftdruck zu bestimmen. Diese Höhe wird (für Quecksilber) in mm angegeben, wobei der Standard oder Durchschnittswert auf NN 760mm beträgt. Wissenschaftler bevorzugen aber eine Maßeinheit, die sich auf den Begriff des Druckes bezieht. Diese Maßeinheit ist das Pascal, benannt nach Blaise Pascal. Der Standarddruck auf Meereshöhe ist 101,325 Pascal. Eine äußerst merkwürdige Größe. Deshalb benutzt man Millibar (gleichbedeutend zu Hektopascal). Ein Hektopascal entspricht 100 Pascal, und deshalb ist der Standardwert auf Meereshöhe 1013 Hektopascal (abgekürzt 1013 hPa), der ebenfalls als 1013 Millibar (1013 mb) ausgedrückt werden kann. Die Einheit Millibar leitet sich aus der Maßeinheit Dyn pro Quadratcentimeter ab. Typische Werte für den Luftdruck auf Meereshöhe variieren zwischen etwas 960mb, für extrem stürmische Wetterbedingungen, und etwa 1050mb für besonders hohen Luftdruck.

Wenn man sich in die Höhe bewegt, lastet weniger Luft auf einem. Weniger Luft heißt, dass weniger Masse und Gewicht in Richtung Erdoberfläche drücken. Daher nimmt der Luftdruck schnell ab, wenn man sich in die Höhe bewegt, und höher gelegene Orte haben einen geringeren Luftdruck als tiefer gelegene. Als einen Näherungswert für diesen Umstand kann man sagen, dass der Luftdruck alle 100 Höhenmeter um etwa 10mb abnimmt. Dies ist so bis ungefähr 3000m über dem Meeresspiegel. Wenn man sich also auf 1000 Meter über dem Meeresspiegel befindet würde der normale Druck etwa zwischen 860 und 950mb liegen.

Die meisten Aneroidbarometer sind für Schulen einsetzbar, die unter 500m Höhe, bezogen auf den Meeresspiegel, liegen. Für höher gelegene Messstationen wird ein Höhenmesser empfohlen, der ebenso den Luftdruck misst. Eine Lerneinheit über die Beziehung zwischen Druck und Höhe befindet sich in der Sammlung der *Lerneinheiten*. Meteorologen setzen die Luftdruckwerte von Wetterstationen in solche Werte um, die auf Meereshöhe gemessen würden, damit die Luftdruckveränderungen, die so wichtig für Wind- und Wetterzusammenhänge sind, so leichter gesehen werden können. Mehr Information kann man unter dem Abschnitt *Kalibrierung des Barometers* finden.

Platzierung des Aneroidbarometers oder des Höhenmessers



Für GLOBE wird ein normales Aneroidbarometer bzw. Höhenmesser benutzt. Es sollte sicher an einer Wand im Klassenzimmer angebracht werden; der Luftdruck ist innen wie außen gleich. Es sollte nicht hin- und herwackeln. Es sollte auf Augenhöhe angebracht sein, damit die Schüler es genau ablesen können. Das Barometer muss als erstes geeicht werden, entweder indem man eine örtliche Stelle um Hilfe bittet oder indem man die Hilfestellungen befolgt, die unter dem Abschnitt *Kalibrierung des Barometers* gegeben werden. Alle 6 Monate sollte eine erneute Kalibrierung erfolgen.

Handreichungen für den Schüler

Wissenschaftliche Fundierung

Wissenschaftler wie Galileo, Evangelista Torricelli und Benjamin Franklin zerbrachen sich einige hundert Jahre früher den Kopf, wie Veränderungen des Luftdrucks mit den Wetterbedingungen zusammenhängen. Benjamin Franklin hat anerkannterweise Beobachtungen durchgeführt, die Tiefdruckbewegungen (Stürme) an der nordöstlichen Küste der USA mit Wetterbeobachtungen seiner Freunde in New York und Boston verglichen. Fällt der Luftdruck, so wird das allgemein für eine Wetterverschlechterung angesehen; steigt er, wird das Wetter besser. Meteorologen wissen schon seit langem, dass hoher Luftdruck gutes, tiefer Luftdruck schlechtes Wetter bringt. Dabei scheinen sie das „schlechte Wetter“ besonders zu mögen, weil es interessanter zu beobachten ist. Tägliche Luftdruckbeobachtungen werden für euch besonders im Vergleich zu anderen meteorologischen Beobachtungen von Nutzen sein. Ihr werdet vielleicht feststellen, dass die Luftdruckmessungen mit den oben erwähnten anderen Wetterbedingungen zusammenhängen. Speziell werdet ihr sehen, wie Wolkentyp und Wolkenbedeckung mit den Luftdruckwerten im Zusammenhang stehen, dass höhere Niederschlagsmengen in Abhängigkeit zu tiefem Luftdruck zu sehen sind und dass in Zeiträumen trockenen Wetters der Luftdruck hoch ist.

Die Luftdruckmessungen helfen Wissenschaftlern bei Messungen über die Zusammensetzung der Atmosphäre, wodurch erst genaue Beobachtungen anderer Variablen möglich sind. Beispielsweise benötigen wir Luftdruckmessungen für die Beobachtung von Dunst in der Atmosphäre. Hydrologen benötigen gute Luftdruckmessungen, um den Druck bestimmen zu können, der auf die Wasseroberfläche ausgeübt wird.

Wissenschaftliche Fragestellungen

Nach einmonatigen Messdatenerhebungen solltet ihr ein Diagramm eurer Luftdruckwerte zusammen mit den täglichen Niederschlägen anfertigen. Gibt es eine Beziehung zwischen beiden Werten? Gibt es eine Beziehung zwischen den Daten des *Wolken-Protokolls* und denen des Luftdrucks?

Benutzt Luftdruckwerte verschiedener mit GLOBE verbundener Schulen, auf Meereshöhe angepasst, um festzustellen, wo es für den betreffenden Tag Hoch- und Tiefdruckgebiete gibt. Wie gut lassen sich die von euch gefundenen Werte mit den Wetterkarten lokaler Zeitungen oder anderer Quellen in Einklang bringen?

Abgleich des Barometers



Wenn euer Barometer ankommt, ist es fabrikmäßig abgeglichen. Aber es ist immer gut, wenn ihr das Barometer eicht, bevor ihr Messungen vornehmt. Als erstes seht euch das Barometer an. Normalerweise hat es zwei Skalen, eine in Millibar(oder Hektopascal) und eine in Millimeter (oder Zentimeter) Quecksilber. Alle GLOBE-Messungen sollten in Millibar oder Hektopascal vorgenommen werden (denkt daran, dass es sich dabei um die gleiche Einheit handelt).

Das Barometer verfügt über einen Zeiger, der auf den täglich abgelesenen Wert gestellt werden kann. Ihr sollte ihn täglich auf den abgelesenen Wert stellen, weil ihr dadurch bei den folgenden Messungen auf einen Blick sehen könnt, ob der Luftdruck gestiegen oder gefallen ist.

Am genauesten ist das Barometer zu eichen, wenn man es auf Meereshöhe bringt (bspws. am Meeresstrand) und es mit dem offiziellen Luftdruck vor Ort vergleicht. Hat man das Barometer (mittels einer kleinen Schraube auf der Rückseite) eingestellt (was der Lehrer machen sollte), so kann man das Instrument überall mit hin nehmen und es wird innerhalb seiner Toleranzgrenzen genaue Messergebnisse liefern. Dieses Vorgehen ist natürlich in den meisten Fällen nicht besonders praktikabel, weil die Eichung ja an eurem Ort vorgenommen wird, der nicht notwendigerweise auf Meereshöhe liegt. Um das Barometer zu eichen, müsst ihr eine lokale Station -Zeitung, Radio, Fernsehen oder Internet- finden, die verlässliche Wetterdaten liefern. Deren Werte sind auf die Meereshöhe bezogen. Für GLOBE benötigen wir aber die tatsächlichen Daten eurer Messstation, die dann leicht auf Meereshöhe umgerechnet werden können. So macht ihr es:

Findet einen verlässlichen Luftdruckwert, bezogen auf Meereshöhe, in eurer unmittelbaren Umgebung (50km).

Bestimmt die Höhe eurer Messstation (s.dazu das *GPS-Protokoll*).

Bestimmt die Lufttemperatur (bezogen auf eure mittäglichen Messungen). Wir benutzen die Lufttemperaturen eurer Messstation für den Fall, dass noch genauere Berechnungen für den Luftdruck, bezogen auf Meereshöhe, benötigt werden. Insgesamt wird das unten angegebene Rechenbeispiel für die meisten Messstationen unter 3000m Meereshöhe ausreichen.

Folgende Formel wandelt die Luftdruckwerte auf Meereshöhe in die Werte eurer Messstation um:

$$\frac{\text{Messstations-Druck}}{\text{Druck}} = \frac{\text{Druck auf Meereshöhe}}{\text{Druck}} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Korrekturfaktor}}$$

Die Luftdruckwerte sind in Millibar (Hektopascal) und die Höhe muss in Metern angegeben werden. Der Korrekturfaktor beträgt 9.2. Obwohl diese Berechnung temperatur- und feuchtigkeitsabhängig ist, reicht sie für GLOBE-Messungen innerhalb von 3km bezogen auf die Meereshöhe aus.

Um den Luftdruck eurer Messstation zu ermitteln folgt den unten gegebenen Anweisungen:

Teilt die Höhe(in Metern) eures Standortes durch 9.2. Subtrahiert von dem Ergebnis den Meeresdruck (in Millibar oder Hektopascal) und ihr habt den Luftdruck eurer Messstation.

Luftdruck der Messstation bezogen auf den Luftdruck Meereshöhe

Stellt euch vor, ihr ruft bei eurem Radiosender an und man sagt euch, dass der augenblickliche Luftdruck 1008.5mb ist. Das ist ein Luftdruck, der auf die Meereshöhe bezogen ist (weil die Medien



und andere offiziellen Stellen den Luftdruck so weitergeben). Eure Messstation befindet sich nach dem GPS-Protokoll auf 228 Metern Höhe. So, jetzt wird es mathematisch:

1. Schritt: $228 / 9.2 = 24.8$ (Wir brauchen hier nur eine Dezimalstelle)

2. Schritt: $1008.5 - 24.9 = 983.7$

3. Schritt: Überprüfung: $983.7 + 24.8 = 1008.5$

Was ist, wenn mein Luftdruck nicht in Millibar, sondern in Hektopascal angegeben werden?

In manchen Gegenden ist das möglich, abhängig von euren Informationsquellen. Benutzt die nachfolgende Tabelle, um die Millibarwerte umzuwandeln:

Umwandlung von	Multiplikation mit Faktor
Inches bezogen auf Quecksilber	33.86
Zentimeter bezogen auf Quecksilber	1,333
Millimeter bezogen auf Quecksilber	13.33
Kilopascal	0.1
Pascal	100



Luftdruck-Protokoll

Feldversuchsführer

Aufgabe

Luftdruck messen

Einstellen der Nadel auf den Tageswert des Luftdrucks

Was du brauchst!

Ein richtig installiertes Aneroidbarometer oder einen Höhenmesser

Datenerfassungsblatt(Atmosphäre) oder Aerosol-Datenerfassungsblatt

Bleistift oder Kugelschreiber

Vor Ort

1. Notiert Zeitpunkt und Datum auf dem *Datenerfassungsblatt*. (Bei Benutzung des *Aerosol-Datenerfassungsblattes* überspringt ihr diesen Punkt.)
2. Klopft vorsichtig auf die Glasabdeckung des Barometers, um die Anzeigenadel zu stabilisieren.
3. Lest den Luftdruck auf 0.1 Millibar(oder Hektopascal) genau ab.
4. Notiert den Wert als augenblicklichen Luftdruck.
5. Setzt die Feststellnadel auf den Wert des momentanen Luftdrucks.



Häufig gestellte Fragen

1. Was ist, wenn man die Luftdruckmessung für einen oder mehrere Tage (Wochenende, Ferien) vergessen hat? Kann man trotzdem weiter messen?

Ja, ihr gebt ja die täglichen Messungen an. Deshalb gebt diese so häufig an, wie es eben geht.

2. Wir verstehen den Unterschied zwischen dem Luftdruck an unserer Messstation und auf Meereshöhe nicht.

Da Wetterstationen auf unterschiedlicher Höhe über die ganze Welt verteilt sind und da der Luftdruck mit der Höhe schnell abnimmt, benötigen die Meteorologen eine konstante Bezugsgröße für die Höhe. Am einfachsten ist das, wenn man alle Luftdruckwerte auf die Meereshöhe bezieht. Für die atmosphärischen Dunstmessungen von GLOBE benötigt man jedoch den tatsächlichen Luftdruck der Messstation. Das ist der Grund, warum die Schüler die tatsächlichen Luftdruckwerte statt derjenigen auf Meereshöhe angeben sollen.

3. Warum müssen wir die Feststellnadel jeden Tag neu einstellen?

Die Feststellnadel dient dazu den vorherigen Messwert abzulesen. Dadurch könnt ihr auf einen Blick den vorherigen Wert mit dem momentanen vergleichen. Wenn der augenblickliche Wert beispielsweise niedriger als der vom Vortag ist, könnt ihr euch fragen, ob das Wetter etwa stürmischer geworden ist.

4. Wie genau sind die Messungen, verglichen mit denen eines Quecksilberbarometers?

Die heutigen Aneroidbarometer sind im allgemeinen nicht so genau wie gute Quecksilberbarometer. Es gibt einige elektronische Barometer, die sehr genaue Messungen liefern, aber die relativ kostengünstigen Instrumente, die den Anforderungen von GLOBE entsprechen, haben die für unsere Messungen erforderliche Genauigkeit (ca. 3 bis 4mb).

5. Warum nimmt der Luftdruck in der Atmosphäre mit der Höhe ab?

Weil der Druck ein Maß für die atmosphärische Masse ist, die auf uns lastet (Luft hat Masse!). Je höher man kommt, desto weniger Masse lastet auf uns, also ist der Druck geringer.

6. Warum müssen GLOBE angeschlossene Schulen auf größerer Höhe ein Höhenmesser benutzen?

Die meisten Aneroidbarometer sind auf Meereshöhe ausgelegt. Höhenmesser sind besondere Aneroidbarometer, die speziell für die Höhe (auch in Flugzeugen) eingesetzt werden können. Auf 500m über dem Meeresspiegel können wir mit Werten von nicht mehr als 1000mb bis 900mb (für starke Stürme) rechnen. Die meisten Aneroidbarometer haben aber als niedrigsten Messwert nur 950mb.



Protokoll 8

Aerosol

Ziel

Messung der optischen Dicke des in der Atmosphäre vorkommenden Aerosols; d.h., es wird gemessen, wie die Sonnenstrahlung sich durch die in der Luft vorkommenden Partikel ausbreitet bzw. absorbiert wird.

Lernziel

Die Schüler lernen, wodurch Dunstglocken entstehen und wieso uns nur ein Teil der Sonnenstrahlung erreicht.

Überblick

Die Schüler halten ein GLOBE-Sonnen-Photometer in Richtung Sonne und notieren über ein angeschlossenes Digital-Voltmeter den größten Ausschlag auf der Volt-Skala. Die Schüler beobachten die Himmelsbedingungen in Richtung Sonne und füllen die *Wolkenbedeckungs-*, *Wolkentyp-* und *Luftdruck-Protokolle* aus.

Zeitdauer

20 Minuten

Stufe

Mittel- und Oberstufe

Häufigkeit

Täglich, wenn die Wetterbedingungen gegeben sind, ca. 10 Uhr.

Schlüsselbegriffe

Atmosphärische Zusammensetzung
Dunst und Luftverschmutzung
Veränderung nach Sonnenstand
Aerosole
Optische Dicke

Fertigkeiten

Benutzung eines digitalen Voltmeters
Aufzeichnen von Daten
Koordinieren von Datenmaterial unterschiedlicher Quellen

Materialien und Gerätschaften

Geeichtes und abgeglichenes GLOBE-Sonnen-Photometer
Digitales Voltmeter
Uhr, vorzugsweise digital
Aerosol-Datenblatt
Bleistift oder Kugelschreiber

Vorbereitung

Abgleich des Sonnen-Photometers (nur einmal)
Übung im Benutzen eines digitalen Voltmeters
Aufstellung und Eichung des Barometers für das *Luftdruck-Protokoll*

Voraussetzungen

Wolkenbedeckungs- und *Wolkentyp-Protokolle*
Luftdruck-Protokoll

Handreichungen für den Lehrer

Hintergrundinformation

Die Atmosphäre besteht aus mehr als bloßen Gasmolekülen (i.e., Stickstoff, Sauerstoff usw.). Es gibt in der Luft außerdem kleine feste oder flüssige Partikel, sogenannte Aerosole. Sie entstehen aus natürlichen Quellen, wie z.B. aus der Kondensierung und des Gefrierens von Wasserdampf, Vulkanen, Staubstürmen und der Verdunstung von Meerwasser.



Aber auch der Mensch trägt zu ihrer Entstehung bei, indem er fossile Brennstoffe oder Biomasse (Holz, Dung, trockene Blätter) verbrennt oder den Boden durch Pflügen und Umgraben bearbeitet. Einzelne Aerosole sind so klein, dass man sie nicht sehen kann. Aber wir wissen um sie, weil die Luft oft schmutzig oder dunstig aussieht.

Die meisten Aerosole kommen in der Troposphäre vor, aber große Vulkanausbrüche können Aerosole und Gase in die Stratosphäre schleudern, wo sie zu Aerosolen werden.

Die Messung der optischen Dicke von Aerosolen kann uns wichtige Informationen über die Konzentration, Größenverteilung und Variabilität von Aerosolen in der Atmosphäre liefern. Diese Informationen werden für Klima-Studien, die Validation von Satellitendaten und die gesundheitlichen Auswirkungen von Aerosolen benötigt.

Aerosol-Konzentrationen ändern sich abhängig von Ort und Zeit signifikant. Es gibt sowohl jahreszeitlich abhängige Veränderungen wie auch solche, die von starken Sandstürmen und Vulkanausbrüchen bedingt sind.

Besonders vulkanische Aerosole können aerosolische Luftmassen erzeugen, die die Erde für Monate in nachweisbaren Konzentrationen umrunden. In der Stratosphäre können sich diese über Jahre erhalten.

Aerosole sind hochgradig mobil. Sie können Ozeane und Gebirge überqueren. Das Verbrennen von Biomasse verursacht lokale Spitzen in Aerosol-Konzentrationen, die das Wetter beeinflussen können. Vulkanische Aerosole umrunden zunächst die Erde, bevor sie sich nach überall hin verbreiten. Sie sind nachweislich für Oberflächentemperatur-Rückgänge verantwortlich, die Tausende von Kilometern von ihrem Ursprungsort gemessen werden können.

Globale Messungen sind für die Überwachung der gegenwärtigen Aerosolverteilung ebenso wichtig wie der Nachvollzug von durch bestimmte Ereignisse hervorgerufenen Veränderungen in den Aerosolkonzentrationen.

Ihr Studium führt zu einem besseren Verständnis des Erdklimas und seiner Veränderungen. Aerosole beeinflussen das Klima, indem sie die Eigenschaften der atmosphärischen Übertragung, Reflektion und Absorption des Sonnenlichts verändern. Einige Wissenschaftler sind der Ansicht, dass Aerosole in bestimmten Gegenden der Erde am Zustandekommen der Erderwärmung durch Kohlendioxid und anderer Treibhausgase beteiligt sind, aber auch Temperaturerniedrigungen bewirken können. Allgemein besteht Übereinkunft darin, dass die Luft in vielen Gegenden der Erde über die letzten hundert bis zweihundert Jahre dunstiger geworden ist, sogar in ländlichen Gebieten. Dunstiger Himmel wird häufig in Verbindung mit der Luftverschmutzung gesehen.

Die optische Dicke von Aerosolen (AOT, Aerosol optical thickness, auch optische Tiefe von Aerosol genannt) ist eine Maßeinheit des Ausmaßes, in dem kleine in der Atmosphäre vorhandene Partikel die Durchleitung von Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre beeinflussen. Je stärker die optische Dicke bei einer bestimmten Wellenlänge des Lichts, desto weniger erreicht das Licht dieser Wellenlänge die Erdoberfläche. Ein typischer Wert der optischen Dicke von Aerosolen für sichtbares Licht bei klarem Himmel ist ungefähr 0.1. Bei sehr klarem Himmel kann der AOT-Wert bei 0.05 oder weniger liegen. Sehr dunstige Luft kann AOTs von 0.3 oder größer aufweisen.

Der Begriff der optischen Dicke kann vielleicht einfacher verstanden werden, wenn er als Prozentsatz des durch die Atmosphäre gelangenden Lichts angesehen wird, was sich in folgender Formel ausdrücken lässt:

$$\text{Prozent der Lichtübertragung} = 100 * e^{-a}$$

wobei a die optische Dicke einer bestimmten Wellenlänge darstellt. Obige Formel weist den Prozentsatz des Lichtes einer bestimmten Wellenlänge aus, der durch die Atmosphäre gelangt, wenn die Sonne im Zenit steht (das ist allerdings nur am Äquator der Fall). Für eine optische Dicke von 0.1 ist die Lichtübertragung 90%.



Ein Sonnen-Photometer ist ein Instrument, das die Intensität des Sonnenlichtes über einen oder mehrere Wellenlängen-Bereiche misst. Jeder Kanal des Sonnen-Photometers zeigt die optische Dicke für eine spezielle Wellenlänge des Lichts an, sagt aber nichts über die Verteilungsmenge des Aerosols aus. Über die Kombination mehrerer Kanäle kann man Informationen über die Verteilungsmenge erhalten. Dies ist wichtig, weil man daraus auf die Herkunft des Aerosols schließen kann. Je kleiner die Aerosolpartikel, desto mehr hängt die optische Dicke des Aerosols von der festgestellten Wellenlänge des Lichts ab. Staub-Aerosole sind beispielsweise größer als solche, die Resultat von Rauch oder Luftverschmutzung sind. So hilft ein 2-Kanal-Sonnen-Photometer (eines, das Licht auf zwei unterschiedlichen Wellenlängen misst), Staub- von Rauch-Aerosolen oder Aerosolen anderer Herkunft zu unterscheiden.

Um Informationen über die Größenverteilung der Aerosole zu bekommen, bedienen sich die Schüler des GLOBE-Sonnen-Photometers, das Licht in zwei Wellenbereichen misst - grünes Licht bei ein wenig mehr als 500nm und rotes Licht bei etwa 625nm. Grünes Licht liegt nahe der höchsten Empfindlichkeit des menschlichen Auges, daher empfinden wir einen Himmel als dunstig, der bei dieser Wellenlänge eine starke optische Dicke von Aerosolen hat. Rotes Licht reagiert empfindlicher gegenüber größeren Aerosolen. Aus diesen Messungen können die Wissenschaftler die vorhandene Aerosolkonzentration bestimmen und ebenso etwas über die Größenverteilung der Aerosole sagen.

Die Werte der Messungen, die mit dem GLOBE-Sonnen-Photometer vorgenommen werden, werden in Volt abgelesen. Diese Werte müssen in die *optische Dicke von Aerosolen* umgewandelt werden. Da diese Berechnungen mathematische Fertigkeiten (logarithmische und Exponentialfunktionen) voraussetzen, die nur von Leistungskursschülern im Fache Mathematik erwartbar sind, übernimmt der GLOBE-Daten-Server die auf den Voltmessungen basierenden Umrechnungen auf die optische Dicke für die Schüler. Es gibt außerdem ein Lernangebot für Oberstufenschüler, um diesen Berechnungen selbst durchzuführen. Für Schüler, die keine Übung mit Exponentialfunktionen haben, ist die nachfolgende Tabelle hilfreich.

Tabelle basierend auf AH-1

Optische Dicke	% Lichtübertragung
0.10	90.5%
0.20	81.9%
0.30	74.1%
0.40	67.0%
0.50	60.7%
0.60	54.9%
0.75	47.2%
1.00	36.8%
1.25	28.7%
1.50	22.3%
2.00	13.5%
2.50	8.2%
3.00	5.0%
3.50	3.0%
4.00	1.8%
5.00	0.7%

Anleitung der Schüler

1. Die Messdaten des GLOBE-Sonnen-Photometers werden auf einem digitalen Voltmeter abgelesen. Vor der Messdatenerhebung sollten die Schüler üben, wie man mit einem Digital-Voltmeter umgeht. Ein wichtiger Aspekt des digitalen Voltmeters besteht darin, dass das Display u.U.



keine Werte anzeigt, wenn die Prüfspitzen mit einem elektrischen Stromkreis verbunden werden; das Display könnte niedrige Voltzahlen (einige Millivolt) anzeigen, die negativ oder positiv und ständig wechselnd sind. Den Schülern, die vielleicht eine 0.0V-Anzeige erwarten, sollte gesagt werden, dass dies ganz normal ist.

2. Um die *optische Dichte von Aerosolen* von den Messdaten umrechnen zu können, muss GLOBE die Luftdruckwerte der Station zum Messzeitpunkt wissen. Diese Werte können über ein Barometer oder Höhenmesser abgelesen werden. Solange die Messstation nicht auf N.N. ist, sind die abgelesenen Luftdruckwerte nicht mit den Werten der lokalen Rundfunkstation oder der Tageszeitung zu verwechseln, da diese Werte auf N.N. angeglichen sind. Ähnliches gilt für die Wetterdaten aus dem Internet, falls nicht ausdrücklich andere Messstandards angegeben sind. Für den Fall, dass die Messstation der Schule nur innerhalb von einigen 10 Metern von N.N. abweicht, kann auf die Werte der lokalen Radiostation zurückgegriffen werden.
Luftdruckmessungen müssen nicht zu einem genauen Zeitpunkt der gesamten Messphase vorgenommen werden, da die Luftdruckveränderungen innerhalb einer Stunde nicht gravierend sind, besonders bei für die Photometermessungen guten Wetterbedingungen. Im Gegensatz zu den Photometermessungen, für die der Zeitpunkt der Messungen angegeben werden muss, reicht es für die Luftdruckmessung, wenn sie etwa zu der Zeit erfolgt, wo die Photometermessungen gemacht werden. Näheres im *Luftdruckmess-Protokoll*.
3. Das Vorhandensein leichter, hoher Wolken vor der Sonne kann die Messungen beeinträchtigen. GLOBE verlangt von den Schülern, dass sie das *Wolkenprotokoll* zur gleichen Zeit vornehmen wie die Dunst/Aerosol-Messungen. Dies erfordert von den Schülern Erfahrung bei der Wolkenbeobachtung.
4. Wie weiter unten aufgeführt, müssen die Schüler vor der Messdatenerhebung das GLOBE-Sonnen-Photometer abgleichen. Der Zweck dieser Übung, auch wenn es sich um ein kommerzielles Sonnen-Photometer handelt, besteht darin, die Schüler daran zu gewöhnen, das Instrument abzugleichen, bevor sie mit der Datenerhebung beginnen. Der Abgleichvorgang muss nur einmal vorgenommen werden, es sei denn, die Abgleichwinkel sind verschoben worden.
5. Sonnen-Photometer-Messungen sind einfach auszuführen, wobei die Qualität der Ergebnisse sehr hoch sein kann, wenn die Messungen sorgfältig vorgenommen werden. Da das GLOBE-Sonnen-Photometer allerdings ein relativ kostengünstiges Instrument ist, mussten Fertigungskompromisse gemacht werden. Daher ist es besonders wichtig, die Messungen in der vorgeschriebenen Weise vorzunehmen, insbesondere unter akzeptablen Lichtverhältnissen. Eine *Vorbereitungshilfe für die Klasse* soll Ihnen bei der Vorbereitung helfen. Sie beschreibt im Detail die Schritte, die nötig sind, um Messungen vorzunehmen und Ergebnisse festzuhalten. Daneben werden Erklärungen für jeden Schritt gegeben. Diese Hilfe ist ähnlich dem *Feldversuchsführer*, der lediglich die einzelnen Schritte mit minimaler Erklärung aufführt. Als ein Teil der Vorbereitung für das Aerosol-Protokoll sollten die Schüler die *Vorbereitungshilfe für die Klasse* sorgfältig lesen, damit sie die kritischen Momente eines jeden Schritts verstehen.

Zum Verständnis der Aerosolmessungen

Aerosolmessungen sind am besten im Kontext anderer atmosphärischer Messungen von GLOBE zu verstehen. So kann es erkennbare Beziehungen zwischen Aerosolen und der Temperatur, Wolkendecke, der relativen Feuchtigkeit und des Niederschlags geben. Auch saisonale Einflüsse sind hinsichtlich der Aerosole sicherlich vorhanden. Daher ist es sinnvoll, den hier vorliegenden



Forschungsansatz als einen Teil des Gesamtbildes atmosphärischer Erscheinungen und ihrer Eigenschaften anzusehen.

Eine Einführung in die Begrifflichkeiten des Sonnenstandes und der relativen Luftmassen ist wesentliche Voraussetzung zum Verständnis der Messungen, die sonst als pure Datenerhebung verkommen würden. Die Lerneinheit *Sonnenstände* befasst sich mit Messungen dieser Werte.

Leistungskursschüler mit entsprechendem mathematischen Hintergrund können diese Lerneinheit benutzen, um die optische Dicke von Aerosolen eigenständig zu errechnen und dann mit den Werten des GLOBE-Daten-Servers zu vergleichen.

Ort und Zeit für Messungen

Sonnen-Photometer-Messungen müssen an dem Ort vorgenommen werden, an dem auch die *Beobachtungen der Wolkenformationen* vorgenommen werden, ansonsten muss deutlich gemacht werden, dass es sich um zusätzliche Messungen an einem anderen Ort handelt.

Aerosol-Messungen sollten vorzugsweise am Morgen bei einer relativen Luftdichte zwischen 1.5 und 2.0 und einem Sonnenstandswinkel von 42 bis 30 Grad vorgenommen werden. Die Luft zeigt am Morgen weniger Turbulenzen als zur Mittagszeit, wenn die Sonne hoch am Himmel steht, oder am Nachmittag, besonders bei Sommerhitze. Je geringer die Luftturbulenzen sind, desto einfacher ist es, verlässliche Ergebnisse zu erhalten. Bei bestimmten Breitengraden und zu bestimmten Jahreszeiten werden Messungen, die immer zur gleichen Zeit vorgenommen werden, wobei das Temperaturmaximum und -minimum (Sonne fast im Zenit) aufgezeichnet wird, bei einer Luftdichte zwischen 1.5 und 2.0 liegen. Bei höheren Breitengraden, besonders im Winter, wird die Luftdichte, durch die die Sonne während des lokalen Zenits angepeilt wird, größer als 2.0 sein. Deshalb ist es wünschenswert, den Beobachtungszeitpunkt über das Jahr zu variieren.

Handreichungen für den Schüler

Wissenschaftliche Fundierung

Die vorliegende Lerneinheit von GLOBE bedient sich eines Instruments, dem Sonnen-Photometer, mit dem kleinste flüssige oder feste Partikel (Aerosole) in der Atmosphäre nachgewiesen werden können. Aerosole entstehen durch Vulkane, der Meeres-Gischt, Staub, Rauch, Winderosionen der Erdoberfläche und Luftverschmutzung. Auch durch gefrierenden oder kondensierenden Wasserdampf bilden sich Aerosole. Fürs bloße Auge sind sie einzeln nicht sichtbar, aber man kann sie häufig an ihren Auswirkungen erkennen, wenn der Himmel z.B. dunstig ist oder schmutzig aussieht. Strahlend-orange Himmel bei Sonnenaufgang oder -untergang sind Anzeichen für Aerosole. Aerosole beeinflussen unser Wetter und Klima, weil sie die Menge des Sonnenlichtes bestimmen, das die Erdoberfläche erreicht. Im Zusammenhang mit anderen atmosphärischen Messungen helfen die Aerosol-Messungen den Wissenschaftlern, das Klima besser zu verstehen und vorauszusagen.

Die Wissenschaftler haben bezüglich des Aerosols viele Fragen: Wie verändern sich die Aerosol-Konzentrationen mit den Jahreszeiten? In welcher Beziehung stehen Aerosol-Konzentrationen mit dem Wetter? Wie wird das Sonnenlicht, das die Erdoberfläche erreicht, durch große Waldbrände beeinflusst? Wie lange bleiben Vulkan-Emissionen in der Atmosphäre und wie bewegen sie sich? Wie ist der Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Aerosolen? Wie werden Aerosole durch große Industrieanlagen oder landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst? Welchen Einfluss haben Aerosole auf Satellitenbilder der Erdoberfläche?



Noch gibt es nicht genügend Sonnen-Photometer auf der Erde, damit die Wissenschaftler diese und andere Fragen beantworten können. Satellitenmessungen können dazu beitragen, die große Lücke in der globalen Datenerfassung zu schließen, aber Messungen von der Erde sind immer noch vonnöten, um eine genaue Auswertung der Satellitenbeobachtungen vorzunehmen. Wissenschaftler wenden Sonnen-Photometer an, die horrend teuer sind und einer ausgedehnten Wartung bedürfen. Euer GLOBE-Sonnen-Photometer ist relativ kostengünstig und liefert doch genaue Messergebnisse der optischen Dicke von Aerosolen, die wertvoll für die Wissenschaftler sind, wenn ihr die Vorgaben des Protokolls beachtet.

Euer GLOBE-Sonnen-Photometer misst die Intensität des Lichtes auf zwei Wellenlängen. Ein Kanal misst grünes Licht, mit einer Wellenlänge von ungefähr 500 Nanometer (nm), der andere misst rotes Licht bei etwa 625nm. Wenn ihr eure Messergebnisse an GLOBE weiterleitet, werden die abgelesenen Voltwerte eines jeden Kanals in die *optische Dicke von Aerosolen (AOT)* umgewandelt. Dies ist ein Wert, der anzeigt, wie die Aerosole den Weg der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre beeinflussen.

Durch die Weitergabe regelmäßiger Messdaten könnt ihr die Wissenschaftler unterstützen und selbst Antworten zu den Fragen finden, die Aerosole an eurer Messstation betreffen. Durch den Aufbau eines Datennetzes über unterschiedliche Regionen und Jahreszeiten kann GLOBE den Wissenschaftlern Material zur Verfügung stellen, das ihnen hilft, etwas über die globale Verteilung von Aerosolen herauszufinden.

Wissenschaftliche Fragestellungen

In welchem Maß ist AOT mit anderen atmosphärischen Variablen verbunden, Temperatur, Wolkentyp und -bedeckung, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und Ozon-Konzentration?

Wie verhält sich AOT zum Erscheinungsbild eines entfernten Geländepunktes bzw. zur Himmelsfarbe?

Variiert AOT jahreszeitlich? Wenn ja, wieso?

Variiert AOT mit der Meereshöhe? Wenn ja, wieso?

Vorbereitende Maßnahmen

Abgleich des GLOBE-Sonnen-Photometers

Wenn Sie ihr GLOBE-Sonnen-Photometer von einem Instrumentenhersteller gekauft haben, ist es bereits geeicht und abgeglichen, so dass Sie selbst nichts mehr machen müssen. Wenn Sie es allerdings selbst gebaut haben oder wenn es Ihnen heruntergefallen ist oder Sie meinen, es müsse neu abgeglichen werden, dann müssen die folgenden Schritte durchgeführt werden. Außerdem ist diese Übung sinnvoll, um zu überprüfen, ob das Instrument richtig abgeglichen ist. Nach Beendigung dieser Lernaktivität haben die Schüler besseres Verständnis der Funktionsweise des Sonnen-Photometers, wodurch die Messergebnisse, die an GLOBE weitergeleitet werden, zuverlässiger sein werden.

Für die Durchführung dieser Lernphase bedarf es eines Teams von 2 Schülern. Suchen Sie einen Tag aus, an dem die Sonne einen gut sichtbaren Schatten wirft. Wählen Sie einen Ort, von dem aus die Sonne gut sichtbar ist, dasselbe gilt für die Wolkenbeobachtung. Der Abgleichvorgang zielt darauf ab, die beste Sonnenausrichtung für jeden Kanal zu finden; d.h., die Richtung zu finden, bei der das Sonnen-Photometer den höchsten Ausschlag auf dem Voltmeter erreicht. Diese Richtung ist am



leichtesten zu finden, wenn der Himmel um die Sonne herum klar ist. Zwar ist es möglich, dass die Sonne einen guten Schattenwurf gibt, selbst wenn sie teilweise von leichten Wolken überdeckt wird, aber die Werte des Voltmeters können dann von einem Augenblick zum anderen beträchtlich variieren. Dadurch wird es unnötig schwer, die beste Ausrichtung für das Sonnen-Photometer zu finden.

Nach mehrmaliger Benutzung des Sonnen-Photometers werden die Schüler ein besseres Verständnis davon haben, ob der Abgleichpunkt oder das Abgleichkreuz an der richtigen Stelle sind. Für den Fall, dass der Abgleich eines GLOBE-Sonnen-Photometers, das von einer Firma bezogen wurde, nicht zu stimmen scheint, sollte die Firma benachrichtigt werden. Für ein selbstgebautes Instrument ist der Abgleich außerordentlich wichtig. Diese Tätigkeit kann für beide Kanäle so oft wie nötig wiederholt werden, indem der Abgleichpunkt oder das Abgleichkreuz bewegt werden. Für den Fall, dass Abgleichpunkte gefunden wurden, muss mit einem Permanent-Marker ein Kreuz gemacht werden, dessen Zentrum über jedem Abgleichpunkt liegt. Wenn nach mehrmaliger Benutzung des Photometers das Kreuz als nicht richtig gesetzt erscheint, kann es verändert werden. Dazu muss lediglich das Etikett abgezogen und durch ein neues ersetzt werden. Danach kann der Abgleich von neuem beginnen.

Beachte: Die Position der Abgleichpunkte oder -kreuze auf dem Abgleichwinkel werden immer nur als ungefähre Richtlinie für die Ausrichtung des Photometers angesehen. Die Schüler sollten die Ausrichtung auf die Sonne immer um diesen Punkt herum variieren, um den maximalen Voltwert zu finden, der dann festzuhalten ist. Wenn der maximale Voltwert ständig an einem anderen als dem Abgleichpunkt gefunden wird, sollte der Abgleich erneut ausgeführt werden.

Abgleich des Sonnen-Photometers

Feldversuchsführer

Aufgabe

Markierung der hinteren Abgleichwinkel auf einem neuen GLOBE-Sonnen-Photometer und Übungen zur Messdatenerhebung.

Was du brauchst!

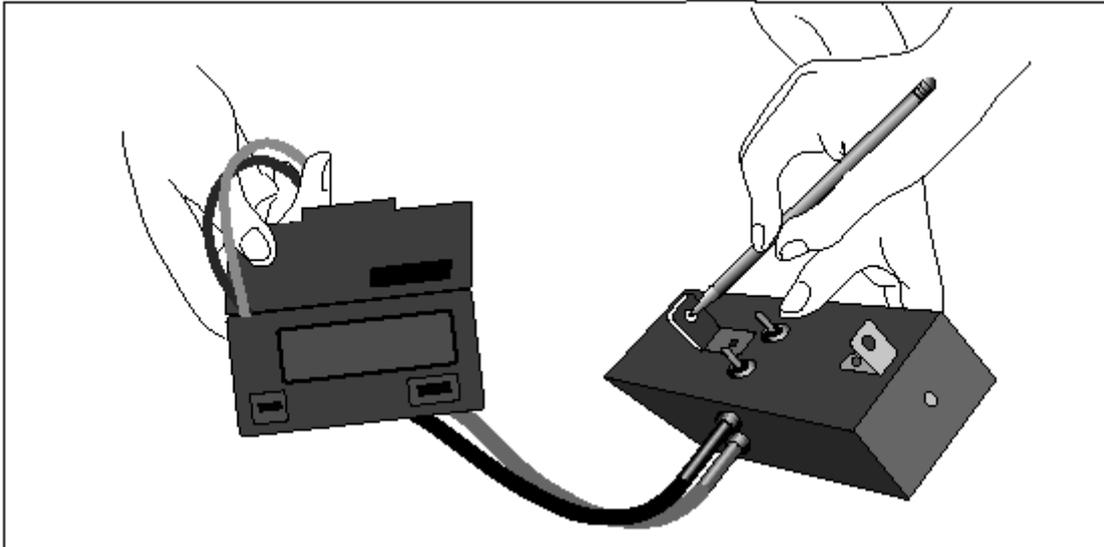
GLOBE-Sonnen-Photometer

Bleistifte (1 roten & 1 grünen)

Digitalvoltmeter

Vor Ort

1. Verbinde das digitale Voltmeter mit den Ausgängen des Sonnen-Photometers und schalte das Voltmeter ein. Wähle den DC-Volt-Bereich für das Voltmeter. Wenn dein Voltmeter keine automatische Voltbereichsanpassung hat, wähle den 20V-Bereich.
2. Schalte dein Sonnen-Photometer ein und wähle entweder den roten oder grünen Kanal aus.



3. An einer Seite des Photometers ist ein kleines rundes Loch. Halte dieses in Richtung Sonne. Wenn du das machst, scheint die Sonne durch das Loch des vorderen Abgleichwinkels und wirft einen Lichtpunkt durch eben dieses Loch.
4. Richte das Photometer so aus, dass der Lichtpunkt auf das Papier im hinteren Abgleichwinkel fällt. Die Ausrichtung wird einfacher, wenn du das Photometer auf einer festen Unterlage abstützt.
5. Beobachte die Voltanzeige und richte so lange aus, bis die Voltanzeige den höchsten Wert erreicht. Wenn der Wert unter 2V liegt, ändere den DC-Voltbereich des Voltmeters auf 2V.

Beachte: Der abzulesende Wert wird nicht immer konstant sein. Veränderungen in der Atmosphäre lassen die Voltanzeige ständig um einige Millivolt variieren. Es wird sich aber eine Ausrichtung des Photometers finden lassen, wo du ständig die höchsten Voltwerte für den ausgewählten Kanal erhältst.

Beachte: Für die Messdatenerhebung sollte du dir im Klaren sein, dass es zu einer kleinen zeitlichen Verzögerung kommt, bevor das Voltmeter die Veränderungen anzeigt, die vom Photometer ausgehen. Das heißt, das Voltmeter hinkt immer den Veränderungen des Photometers ein wenig hinterher. Mit ein wenig Übung bekommst du das in den Griff.

6. Wenn du die Ausrichtung gefunden hast, bei der das Voltmeter maximale Spannung anzeigt, heißt das, dass die Sonne, die durch das kleine Loch des Photometers scheint, optimal auf den Lichtsensor im Innern des Gerätes ausgerichtet ist. Halte diese Richtung und sage deinem Mitschüler, dass er vorsichtig einen Punkt dort auf das Papier im hinteren Abgleichwinkel setzt, wo das Zentrum des Sonnenlichtpunktes ist. Wenn der Himmel um die Sonne herum nicht völlig klar ist, tu dein Bestes, um diesen Punkt mit einem Bleistift zu markieren. Der Punkt muss nicht notwendigerweise in der Mitte des hinteren Abgleichwinkels liegen.
7. Bewege das Photometer von der Sonne fort und wieder zur Sonne hin, wobei du den vorher markierten Punkt als Hilfe nimmst. Wenn der Punkt richtig gesetzt worden ist, sollte ohne große Richtungsänderungen des Photometers der maximale Voltwert abgelesen werden können. Wenn du der Meinung bist, dass der Punkt geändert werden muss, lösche ihn und setze ihn erneut.
8. Wiederhole den obigen Vorgang für den anderen Kanal und setze dafür einen gesonderten Punkt.



Pflege und Wartung des Instruments

Das GLOBE-Sonnen-Photometer ist ein einfaches und robustes Instrument, das wenig zerbrechliche Teile enthält. Trotzdem bedarf es des sorgfältigen Umgangs, damit keine verfälschten Messergebnisse zustande kommen. Damit das Instrument über einen längeren Zeitraum verlässlich funktioniert, solltest du einige Dinge tun bzw. nicht tun:

1. Lass das Photometer nicht fallen!
2. Schütze das Photometer vor Schmutz und Staub, indem du es in einem Plastikbeutel verwahrst, wenn du es nicht benötigst.
3. Setze das Photometer keinen extremen Temperaturen aus, indem du es in der Sonne, auf der Heizung oder draußen liegen lässt.
4. Schalte das Gerät aus, wenn du es nicht benutzt.
5. Überprüfe die Batteriespannung alle paar Monate. Siehe dazu *Batterieprüfung des Photometers*. Das Photometer verbraucht bei den Messungen nur wenig Strom, die Batterie sollte also bei normaler Nutzung einige Monate halten. Für den Fall, dass das Photometer Stunden oder Tage angeschaltet gewesen ist, muss die Batterie geprüft und u.U. ersetzt werden, bevor neue Messungen durchgeführt werden.
6. Bastele nicht an den elektronischen Teilen im Innern des Photometers herum. Die Eichung des Gerätes basiert wesentlich darauf, dass die Originalteile auf der Platine nicht verändert werden. Mit ein wenig Sorgfalt wird das Instrument viele Jahre verlässlich arbeiten. Falls das nicht der Fall sein sollte, nimm Kontakt zu GLOBE auf.
7. Vergrößere auf keinen Fall das Loch für den Lichteinfall an deinem Gerät, auch wenn die Ausrichtung auf die Sonne dadurch leichter fallen würde. Die Eichung des Photometers und die Auswertung der Daten hängen von der Größe des Lochesentscheidend ab. Veränderst du es, sind die Daten nicht mehr brauchbar.

Batterieprüfung und -wechsel

Mindestens alle 3 Monate sollte die Batteriespannung überprüft und die Batterie, wenn nötig, gewechselt werden. Ein Batteriewechsel beeinflusst die Eichung des Gerätes nicht. Messungen können so lange durchgeführt werden, wie die Batteriespannung nicht unter 7.5V fällt.

Wenn du dich davon überzeugen möchtest, dass die Eichung nach einem Batteriewechsel nicht verändert worden ist, so warte auf einen klaren Tag. Mache ein paar Messungen vor und nach dem Batteriewechsel. Die Messergebnisse sollten annähernd gleich sein.

Beachte: Jede Standard-Batterie reicht völlig aus. Alkaline-Batterien sind teurer und sind nicht nötig. Achte darauf, dass die Polungen bei manchen Batterietypen unterschiedlich sein können. Die Batterie selbst passt nur in einer Stellung in den Batteriehalter. Akkus sollten für dieses Instrument nicht verwendet werden.



Batterieprüfung und -wechsel des Photometers

Laborhilfe

Aufgabe

Batterieprüfung und -wechsel, wenn nötig.

Was du brauchst!

Kleinen Schraubendreher

Beliebige Standard-9V-Batterie

Voltmeter

Im Labor

1. Öffne das Gehäuse, indem du die vier Schrauben der Abdeckung löst.
Entferne auf keinen Fall die Platine oder berühre die elektronischen Teile.

Berühre keinesfalls die LED-Sensoren (die runden grünen und roten Teile an der Vorderseite der Platine).
2. Bei eingeschaltetem Gerät misst du die Spannung zwischen den beiden Polen des Batterieanschlusses.
Denk daran, dass neue 9 Volt-Batterien mitunter bis zu 10V abgeben können.
3. Wenn die Spannung unter 7.5 V ist, wechsele die Batterie.
4. Wenn du damit fertig bist, überprüfe die Funktionsweise des Photometers, indem du die Sonne auf die LED.s scheinen lässt. Dazu ist es nicht nötig, das Gerät zu verschließen. Solange die LED nicht verdeckt ist, solltest du eine Voltanzeige haben, die über der liegt, wenn die LED im Schatten ist.
5. Wenn du sicher bist, dass das Photometer funktioniert, schließe das Gehäuse. Vergewissere dich, dass der hintere Abgleichwinkel (der mit dem Papier-Etikett) ganz am Endanschlag ist. Zieh die Schrauben an, aber überdrehe sie nicht.



Aerosol-Protokoll

Unterrichtsvorbereitung

Aufgabe

Aufzeichnen des maximalen Voltwertes bei optimaler Ausrichtung des Photometers.

Aufzeichnen des genauen Messzeitpunktes.

Beobachtung und Aufzeichnung der Wolkenformation und des Luftdruckes.

Was du brauchst!

Geeichtes und abgeglichenes
GLOBE-Sonnen-Photometer

Aerosol-Datenblatt

Barometer, Höhenmesser oder andere
Quellen für Luftdruck der Messstation

GLOBE-Wolkenformationsblatt

Digitales Voltmeter

Bleistift oder Kuli

Uhr, bevorzugt digital

Vorbereitung zur Messdatenerhebung

Um es dem wissenschaftlichen Team zu ermöglichen, die Messergebnisse des Photometers auszuwerten, müssen Längen-, Breitengrad und Meereshöhe der Messstation angegeben werden, so ähnlich wie bei anderen Messungen für GLOBE. Daneben gilt es, noch zusätzliche Werte zu jeder Messdatenerhebung einzutragen, so wie es auf dem Datenerhebungsblatt zu sehen ist. Zweck dieses Abschnittes ist es, Informationen zu geben, damit das Datenerhebungsblatt ausgefüllt werden kann.

Luftdruck

Dieser Wert ist einfach zu ermitteln, wenn man dem *Luftdruck-Protokoll* folgt. Für die Aerosol-Messungen werden die an der Messstation tatsächlich vorhandenen Luftdruckwerte benötigt, die daher auch „Stationsdruck“ genannt werden.

Zeit

Die genaue Zeitangabe der Messdatenerhebung ist wichtig, weil das Wissenschaftler-Team bei GLOBE daraus die Sonnenstellung am Ort der Datenerhebung errechnet. Der GLOBE-Standard für die Zeitangabe ist UT (Universal Time). Sie errechnet sich aus eurer Ortszeit, basierend auf der Zeitzone und der Jahreszeit. Für das Protokoll ist es dringend erforderlich die Ortszeit



genau in UT umzuwandeln. Seid besonders achtsam, wenn ihr Sommerzeit habt. So muss man beispielsweise bei Östlicher Standardzeit 5 Stunden hinzufügen, um in UT umzurechnen, aber nur 4 Stunden bei Östlicher Sommerzeit.

Die Zeitangabe für das jeweilige Messergebnis mit dem Photometer sollte in einem Zeitrahmen von höchstens 30 Sekunden liegen. Dabei ist eine Digitaluhr von größerem Nutzen als eine analoge Uhr. Beide Uhren müssen aber genau gestellt sein. Tatsächlich sind die Anforderungen an die Genauigkeit der Zeitbestimmung des Messergebnisses größer als bei anderen GLOBE-Versuchsanordnungen. Es sollte allerdings keine Schwierigkeiten bereiten, die Uhr entsprechend zu stellen. Online-Zeiten sind unter www.time.gov zu bekommen. An vielen Orten gibt es Zeitansagen über das Telefon, übers Radio oder die Fernsehstation. GPS-Empfänger geben die Zeit in UT an.

Die Zeitangabe vom Computer zu nehmen, ist keine besonders gute Idee, da die Uhr des Computers nicht sehr genau ist, sie häufig neu eingegeben werden muss, um einen verlässlichen Wert zu erhalten.

Der bevorzugte Zeitpunkt für die Messdatenerhebung des Sonnen-Photometers ist bei den meisten Breitengraden der „mittlere“ Morgen (10-11 Uhr). Es ist allerdings auch akzeptabel, wenn die Messungen zwischen „mittlerem“ Morgen und „mittlerem“ Nachmittag gemacht werden, also zu den Zeiten, an denen ihr auch Messungen eventuell anderer Projekte durchführt. Messungen sollten bei einer relativen Luftmasse von nicht mehr als 2 gemacht werden (Siehe auch die Lernaktivität, die sich mit den relativen Luftmassen beschäftigt. Eine relative Luftmasse von 2 korrespondiert mit einem Sonnenstandswinkel von etwa 30 Grad.). Während des Winters werden die relativen Luftmassen in gemäßigten und höheren Breiten immer größer als 2 sein. Ihr könnt dann immer noch Messungen vornehmen, solltet sie aber möglichst dann vornehmen, wenn die Sonne fast im Zenit steht.

Himmelsbedingungen

Während der Messungen mit dem Photometer sollten auch Informationen über den Himmel gemacht werden, wie: Wolkendecke, Wolkentyp, Himmelsfärbung und die eigene Einschätzung, ob die Luft klar oder dunstig ist.

Himmelsfärbung und Dunst sind subjektive Messgrößen, aber mit ein wenig Übung könnt ihr lernen, in sich beständige Einschätzungen zu geben. Ihr könnt zum Beispiel lernen, dass ein strahlend blauer Himmel mit einer geringen optische Dicke in Einklang steht. In dem Maße, indem die Aerosolkonzentration zunimmt, verändert sich die Himmelsfärbung zu einem helleren Blau-Ton. Sie erscheint dann eher milchig als blau. An einigen Stellen, besonders in der Nähe von Städten, kann der Himmel einen bräunlichen oder gelblichen Einschlag haben, was der Luftverschmutzung geschuldet ist (Primärpartikel und NO_2).

Wenn es offenkundige Gründe für hohe Werte der optischen Dicke gibt, so muss das wissenschaftliche Team von GLOBE darüber informiert werden. Deshalb werdet ihr auch gefragt, warum ihr glaubt, dass der Himmel so dunstig ist, wie er es ist. Es könnte ja sein, dass der Dunst von einer städtischen Luftverschmutzung oder durch landwirtschaftlichen Anbau hervorgerufen wurde.

Photometer-Messungen können nur richtig ausgewertet werden, wenn die Sonnenstrahlung nicht durch Wolken beeinträchtigt ist. Das heißt nicht, dass der Himmel völlig klar sein muss, sondern nur, dass keine Wolken in der Nähe der Sonne sind. Das zu entscheiden ist nicht immer einfach. Es ist einfach zu sagen, ob Wolken niedriger oder mittlerer Höhe in der Nähe der Sonne sind,



aber Cirrus-Wolken stellen ein potentiell Problem dar. Sie sind oft sehr schwach und scheinen daher kaum einen entscheidenden Einfluss auf die Sonnenstrahlung zu haben. Cirrus-Wolken beeinflussen jedoch die Photometer-Messungen, auch wenn sie vom menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden. Deshalb solltet ihr notieren, wenn Cirrus-Wolken früher oder später am Tag zu sehen gewesen sind, auch wenn sie während der Messdatenerhebung nicht zu sehen waren. Eine weitere schwierige Situation ergibt sich bei typischem Sommerwetter, besonders in der Nähe von großen Städten. In dieser Umgebung machen es sehr dunstige Luft und heiß-feuchtes Wetter schwer, Wolkengrenzen zu unterscheiden. Solche Bedingungen können relativ große Werte in der optische Dicke hervorrufen (jeder Wert größer als ca. 0.3 - 0.5), die nicht den tatsächlichen Zustand der Atmosphäre widerspiegeln. Es ist wichtig, solche Bedingungen zu beschreiben, wenn ihr die Messdaten erhebt.

Um eine bessere Vorstellung davon zu bekommen, wo Wolkengrenzen sind, könnt ihr den Himmel durch orange- oder rotfarbene Sonnenbrillen oder durch ebenso eingefärbte Folien betrachten. Diese Farben filtern das blaue Himmelslicht heraus und lassen die Wolken klarer hervortreten. Beachtet jedoch:

Seht niemals direkt in die Sonne, auch nicht durch farbige Sonnenbrillen oder Folien! Ihr könnt damit eure Augen schädigen!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

Nebel ist ein weiteres potentiell Problem. Er lässt Dinge dunstig erscheinen, aber Nebel (eine Stratus-Wolke in Bodennähe) ist nicht dasselbe wie atmosphärischer Dunst von Aerosolen. Bedingungen, bei denen die Sonne durch auch nur leichten Nebel scheint, sind ungeeignet für Photometer-Messungen. An vielen Orten löst sich der Nebel im Laufe des Morgens auf und wird danach eure Messungen nicht beeinträchtigen.

Immer wenn ihr die Himmelsbedingungen versucht zu beschreiben, bevor ihr die Photometer-Messungen vornehmt, müsst ihr die Sonne vor eurem Auge mit einem Buch oder ähnlichem verdecken. Eine Grundregel lautet, dass ihr nicht versuchen sollt, in die Sonne zu blicken, wenn irgendeinen Schatten auf dem Boden seht. Wenn ihr irgendwelche Zweifel hegt oder wenn ihr die Himmelsbedingungen in der Nähe der Sonne nicht zu bestimmen in der Lage seid, macht keine Messungen!

Temperatur

Die Elektronik in eurem GLOBE-Sonnen-Photometer und besonders seine LED-Sensoren sind temperaturempfindlich. Das heißt, dass die Ausgangsspannung des Photometers sich mit der Temperatur des Instruments ändert. Deshalb ist es wichtig, das Photometer ungefähr auf Raumtemperatur zu halten. Um das wissenschaftliche Team auf mögliche Temperaturprobleme hinzuweisen, ist es nötig, dass ihr die Umgebungstemperatur bei euren Photometer-Messungen mit angebt.

Wenn ihr die Photometer-Messungen zur gleichen Zeit macht wie die Temperaturmessungen eurer Messstation, könnt ihr natürlich diese Werte angeben. Sonst müsst ihr die Temperatur gesondert messen. Die Genauigkeit dieser Temperaturmessung ist nicht so eng einzuhalten wie die normalen GLOBE-Temperaturmessungen. Ihr könnt jedes x-beliebige Thermometer nehmen, das ihr gerade zur Hand habt, auch ein Digitalthermometer. Haltet das Thermometer nur nicht in die Sonne!

Um Temperaturprobleme mit dem Photometer möglichst auszuschließen, solltet ihr das Instrument nur dann nach draußen bringen, wenn ihr sogleich mit den Messungen beginnen wollt. Im Winter transportiert ihr es am besten unterm Mantel zum Messort, damit es warm bleibt. Bei sehr heißem oder sehr kaltem Wetter könnt ihr das Instrument in Isoliermaterial einwickeln:



wärmeisolierendes Papier, einen Butterbrotbeutel, ein Handtuch oder Schaumstoffe. Haltet das Instrument im Sommer von der Sonne fern, wenn ihr keine Messungen vornehmt! Übt so lange Messen und Aufzeichnen der Messdaten, bis jede Messung nicht länger als 10 bis 15 Sekunden dauert! Wenn ihr eure Messungen direkt vor dem Gebäude vornehmt, so ist es durchaus sinnvoll, das Instrument zwischen zwei Messungen ins Gebäude zu bringen, auch wenn es nur eine Minute dauert.

Vor Ort

Es ist für die Messung und die Aufzeichnung der Ergebnisse immer einfacher, wenn dies von 2 Personen und nicht von einer gemacht wird. Wenn ihr im Team arbeitet, teilt die Aufgaben ein und übt mehrmals, bevor ihr mit den richtigen Messungen beginnt. Wenn ihr die Lerneinheit, die das Markieren des hinteren Abgleichwinkels zum Inhalt hat, noch nicht durchlaufen habt, solltet ihr das tun, bevor ihr mit den Messungen beginnt.



1. Verbindet ein digitales Voltmeter mit den Ausgängen eures Sonnen-Photometers. (Analoge Voltmeter sind wegen ihrer Ungenauigkeit für diese Messung nicht geeignet.) Gebt Acht, dass ihr die Prüfspitzen des Voltmeters in die entsprechenden Ausgänge des Photometers steckt: rotes Kabel (+) auf rote Buchse, schwarzes Kabel (-) auf schwarze Buchse. Wenn das Photometer über ein eingebautes Voltmeter verfügt, könnt ihr diesen Schritt überspringen.

2. Schaltet das Voltmeter und das Photometer an. Wenn das Photometer über ein eingebautes Voltmeter verfügt, wird es mit dem Schalter des Photometers ebenfalls angeschaltet und

ihr müsst euch keine Gedanken über die Einstellung des Voltbereiches machen. Wählt einen entsprechenden DC-Voltbereich aus. Gebt Acht, dass ihr nicht den AC-Voltbereich wählt. Der entsprechende Voltbereich hängt von eurem Voltmeter ab. Hat es einen 2V- oder 2000mV-Bereich, so wählt zuerst diesen. Wenn eurer Photometer mehr als 2V Spannung abgibt, wählt den nächst höheren Bereich, meistens ist das der 20V-Bereich. Manche Voltmeter stellen sich automatisch auf den entsprechenden Voltbereich ein, d.h., es gibt nur eine DC-Einstellung, den Rest erledigt das Instrument. Ihr müsst allerdings wissen, zu welchem Voltbereich die angezeigten Werte gehören.

Denkt daran, dass das Voltmeter völlig willkürliche Werte anzeigen kann, wenn es angestellt ist, das Photometer aber nicht. Das ist normal für digitale Voltmeter. Wenn ihr das Photometer anstellt, solltet ihr für den eingestellten Bereich einen stabilen Wert auf dem Display des Voltmeters sehen.

3. Wählt entweder den roten oder grünen Kanal des Photometers, die Reihenfolge spielt keine Rolle. Allerdings ist es sinnvoll, wenn ihr bei euren Messungen immer gleich vorgeht, d.h., immer erst den Kanal einstellt, den ihr als ersten ablesen wollt.

4. Wendet euch zur Sonne und richtet das Photometer auf die Sonne aus. (Seht nicht direkt in die Sonne!) Haltet das Instrument vor euch in Brusthöhe und visiert den Lichtfleck an, den die Sonnenstrahlung durch den vorderen Abgleichwinkel wirft. Wichtiger Sicherheitshinweis:



Auf keinen Fall dürft ihr das Photometer auf Augenhöhe halten und entlang der Abgleichwinkel in die Sonne blicken!

Benutzt die Kreuzmarkierung auf dem hinteren Abgleichwinkel als eine ungefähre Hilfe für die Ausrichtung auf die Sonnenstrahlung. Wenn der Himmel nicht *sehr* dunstig ist oder wenn ihr eure Messungen nicht am frühen Morgen oder späten Nachmittag vornehmt, sollte die Spannung auf mehr als 1V ansteigen. Wenn ihr ein automatisches Voltmeter benutzt, wird sich der Wert automatisch mit der Ausrichtung auf die Sonne verändern.

5. Verändert die Ausrichtung so lange, bis ihr den höchsten Spannungswert auf eurem Voltmeter seht. Tragt diesen Wert in das *Datenblatt* ein.

Gebt Acht, dass ihr alle Stellen des angezeigten Spannungswertes aufschreibt. Wenn ihr eurer Photometer ausrichtet, versucht ihr die Sonnenstrahlen, die durch die vordere Öffnung eures Instruments fallen, direkt auf den LED-Sensor im Inneren des Gerätes zu zentrieren. Diese Ausrichtung erfordert etwas Übung, wenn ihr den maximalen Spannungswert erreichen wollt. Es ist vielleicht hilfreich, wenn ihr das Photometer dadurch stabilisiert, dass ihr es auf einen Stuhl, eine Stütze oder irgendeine andere feste Unterlage haltet. Der gesamte Messvorgang sollte nicht mehr als 15 bis 20 Sekunden in Anspruch nehmen.

Die Spannungswerte, die ihr ablest, können sich ein wenig verändern. Das liegt zum einen am Verwackeln, zum anderen an Veränderungen in der Atmosphäre. Versucht nicht, daraus einen Durchschnittswert zu machen. Es ist wichtig, dass ihr bei der Aufzeichnung immer nur den absoluten Höchstwert während der wenigen Sekunden der Messzeit notiert. Es gibt eine kleine zeitliche Verzögerung zwischen Spannungsänderungen im Photometer und der Anzeige dieser Änderungen auf eurem Voltmeter. Mit ein wenig Übung werdet ihr diese zeitliche Verzögerung in den Griff bekommen.

6. Notiert genau den Zeitpunkt, an dem ihr die maximale Spannung abgelesen habt. Eine Genauigkeit von 15-30 Sekunden ist ausreichend.

Haltet das Photometer von der Sonne fern, indem ihr euch so dreht, dass keine direkten Sonnenstrahlen das Photometer treffen. Verdeckt das Öffnungsloch des Photometers, so dass kein Licht in das Innere fallen kann. Nehmt eine Spannungsmessung vor und notiert diesen Dunkelwert in eurem *Datenblatt*.

Denkt daran, dass dieser Spannungswert in Volt und nicht in Millivolt angegeben wird, ganz egal, welcher Spannungsbereich eingestellt ist. Es ist nämlich wichtig, sowohl den Dunkelwert wie auch den Sonnenwert in Volt anzugeben. Der Dunkelwert muss mit allen Stellen der Spannungsanzeige angegeben werden, weil GLOBE daraus die Temperatur der LED zum Zeitpunkt der Messung errechnen kann. Der Dunkelwert sollte weniger als .020V (20mV) betragen.

8. Wählt den anderen Kanal des Photometers und wiederholt die Schritte 4-7.

9. Wiederholt die Schritte 3-8 zweimal im Abstand von 1 bis 2 Minuten.

Damit erhaltet ihr insgesamt 3 Messungen, wobei es wichtig ist, wenn ihr immer gleich vorgeht, also: rot-grün, rot-grün, rot-grün.

Die Zeit zwischen den Messungen ist nicht von Wichtigkeit, so lange ihr die Zeitpunkte der Messungen genau angebt. Wenn ihr mehrere Messungen vornehmen wollt, achtet darauf, dass ihr das Photometer vor Temperaturveränderungen schützt. Haltet es von direkter



Sonneneinstrahlung fern. Wenn es sehr heiß ist, bringt es ins Gebäude zurück oder legt es in den Schatten oder in einen wärmeisolierten Behälter. Wenn es sehr kalt ist, haltet es unter eurem Mantel. Während sehr heißer oder kalter Tage könnt ihr die Zeit zwischen den einzelnen Messungen auf bis zu 30 Sekunden herabsetzen, um die Temperaturschwankungen im Inneren eures Photometers so gering wie möglich zu halten. **Die Messungen werden nicht genau sein, wenn das Photometer wesentlich kälter oder wärmer als die Raumtemperatur ist.**

10. Schaltet das Photometer und Voltmeter aus (wenn eurer Photometer kein eingebautes Voltmeter hat).
Ihr könnt das Voltmeter abnehmen oder im Photometer stecken lassen, je nach dem, ob ihr das Voltmeter noch für andere Zwecke benutzt.
11. Notiert jede Art von Wolken in der Nähe der Sonne in dem Kommentarabschnitt (Metadaten). Vergesst nicht, die Wolkentypen mit Hilfe des GLOBE-Wolkenblatts aufzuschreiben.

Füllt die *Wolkentyp-* und *Wolkenbedeckungs-Protokolle* aus und notiert eure Beobachtungen im *Aerosol-Datenblatt*.
13. Öffnet die Instrumentabdeckung der Wetterstation.
14. Lest die Temperatur des Maximum/Minimum-Thermometers bis auf 0.5°C ab und notiert sie. Achtet darauf, das Thermometer nicht anzuhauen.
15. Schließt die Instrumentenabdeckung der Wetterstation.
16. Vervollständigt das *Aerosol-Datenblatt*.
17. Lest den Luftdruck ab und füllt das *Luftdruck-Protokoll* in eurem *Datenblatt* aus.



Aerosol-Protokoll

Feldversuchsführer

Aufgabe

Aufzeichnen des maximalen Voltwertes bei optimaler Ausrichtung des Photometers.

Aufzeichnen des genauen Messzeitpunktes.

Beobachtung und Aufzeichnung der Wolkenformation und des Luftdruckes.

Was du brauchst!

Geeichtes und abgeglichenes
GLOBE-Sonnen-Photometer

Aerosol-Datenblatt

Barometer, Höhenmesser oder andere
Quellen für Luftdruck der Messstation

GLOBE-Wolkenformationsblatt

Digitales Voltmeter

Bleistift oder Kuli

Uhr, bevorzugt digital

Vor Ort

1. Verbindet ein digitales Voltmeter mit den Ausgängen eures Sonnen-Photometers. (Wenn das Photometer über ein eingebautes Voltmeter verfügt, könnt ihr diesen Schritt überspringen.)
2. Schaltet das Voltmeter und das Photometer an.
3. Wählt entweder den roten oder grünen Kanal des Photometers.
4. Wendet euch zur Sonne und richtet das Photometer auf die Sonne aus. (Seht nicht direkt in die Sonne!)
5. Verändert die Ausrichtung so lange, bis ihr den höchsten Spannungswert auf eurem Voltmeter seht. Tragt diesen Wert in das *Datenblatt* ein.
6. Notiert so genau wie möglich den Zeitpunkt, an dem ihr die maximale Spannung abgelesen habt.
7. Haltet das Photometer von der Sonne fern, indem ihr euch so dreht, dass keine direkten Sonnenstrahlen das Photometer treffen. Verdeckt das Öffnungsloch des Photometers, so dass kein Licht in das Innere fallen kann. Nehmt eine Spannungsmessung vor und notiert diesen Dunkelwert in eurem *Datenblatt*.
8. Wählt den anderen Kanal des Photometers und wiederholt die Schritte 4-7.



9. Wiederholt die Schritte 3-8 zweimal für jeden Kanal im Abstand von 1 bis 2 Minuten.
(Damit erhaltet ihr insgesamt 3 Messungen)
10. Schaltet das Photometer und Voltmeter aus.
11. Notiert jede Art von Wolken in der Nähe der Sonne in dem Kommentarabschnitt (Metadaten). Vergesst nicht, die Wolkentypen mit Hilfe des GLOBE-Wolkenblatts aufzuschreiben.
12. Füllt die *Wolkentyp-* und *Wolkenbedeckungs-Protokolle* aus und notiert eure Beobachtungen im *Aerosol-Datenblatt*.
13. Öffnet die Instrumentabdeckung der Wetterstation.
14. Lest die Temperatur des Maximum/Minimum-Thermometers bis auf 0.5°C ab und notiert sie. Achtet darauf, das Thermometer nicht anzuhauen.
15. Schließt die Instrumentenabdeckung der Wetterstation.
16. Vervollständigt das *Aerosol-Datenblatt*.
17. Lest den Luftdruck ab und füllt das *Luftdruck-Protokoll* in eurem *Datenblatt* aus.



Häufig gestellte Fragen

1. Was ist ein Sonnen-Photometer und was misst es?

Ein Sonnen-Photometer ist ein Lichtmessgerät, das die Menge des Sonnenlichtes misst. Die meisten Photometer messen die Lichtmenge eines begrenzten Farb- oder Wellenlängenbereiches. Jedes Photometer sollte nur die Sonnenstrahlung messen, die ohne Streuung von Molekülen oder Aerosolen von der Sonne auf der Erde eintreffen. Deshalb wird das Photometer direkt auf die Sonne ausgerichtet und das Licht gelangt so durch eine kleine Öffnung, die verhindert, dass gestreute Sonnenstrahlung von dem Sensor erfasst wird.

2. Das GLOBE-Sonnen-Photometer benutzt eine LED als Sonnenstrahlungssensor. Was ist eine LED?

Eine LED ist ein Halbleiter, der Licht ausstrahlt, wenn er von einem elektrischen Strom durchflossen wird. Dabei handelt es sich um einen kleinen Chip von der Größe eines Bruchteils eines Millimeters. Im GLOBE-Sonnen-Photometer ist dieser Chip in einem Plastikgehäuse von etwa 5mm untergebracht. Man findet LEDs in einer Vielzahl von elektronischen Geräten und anderen Gebrauchsartikeln. Der physikalische Vorgang, der LEDs dazu bringt, Licht auszusenden, kann auch umgekehrt angewandt werden: Wenn Licht auf eine LED fällt, entsteht ein sehr geringer Strom. Die Elektronik im Photometer verstärkt diesen Strom und gibt ihn als Spannung ab.

Allgemein gesagt, ist die Wellenlänge des Lichts, das von einer LED aufgenommen wird, kürzer als die Wellenlänge des Lichts, die eine LED aussendet. So sind rote LEDs beispielsweise recht gute Sensoren für orangefarbenes Licht. Die LED im GLOBE-Sonnen-Photometer strahlt grünes Licht um die 565nm aus. Sie empfängt Licht mit einer Spitze von ungefähr 525nm, was ein wenig mehr in den blauen Bereich des Lichtspektrums geht als bei der Emissionsfarbe.

3. Was versteht man unter dem Einfallswinkel des Photometers und warum ist er wichtig?

Die Gleichung, die in der Theorie dafür sorgt, wie Photometermessungen ausgewertet werden sollten, geht davon aus, dass das Messinstrument nur direkte Sonnenstrahlung aufzeichnet, d.h. Sonnenstrahlung, die auf geradem Weg von der Sonne auf den Sensor trifft. Diese Voraussetzung kann nur annähernd erfüllt werden, weil alle Photometer gestreute und direkte Sonnenstrahlung von der Sonne registrieren.

Der Lichtkegel, den der Sensor des Photometers registriert, wird Einfallswinkel genannt, der so klein wie möglich gehalten werden sollte. Der Einfallswinkel des GLOBE-Sonnen-Photometers beträgt etwa 2.5° und wird von GLOBES Wissenschaftlern als optimaler Kompromiss zwischen der erfordernten Genauigkeit und den Bedingungen für den Bau eines mobilen Instruments angesehen. Die allgemeine Überzeugung ist, dass es umso schwieriger ist, das Photometer auf die Sonne auszurichten, je kleiner der Einfallswinkel ist. Sehr teure, mit Motoren ausgestattete Photometer für die Sonnenausrichtung, haben Einfallswinkel von 1° oder weniger. Studien haben nachgewiesen, dass die Fehlertoleranz größerer Einfallswinkel für die Anwendung des GLOBE-Sonnen-Photometers vernachlässigt werden kann.

Der Lichtkegel, der durch die Öffnung des Photometers fällt, kann mathematisch als fester Winkel von 2.5°, bezogen auf den Durchmesser des Öffnungsloches, beschrieben werden. Die Sonne selbst hat, wenn man sie anpeilt, einen Winkel von 0.5°. Um ein besseres Verständnis davon zu bekommen, bräuchte man nur den Mond mit einem Winkelmessgerät anzupeilen, der ebenfalls einen Winkel von 0.5° ergebe. Denkt daran, seht nie direkt in die Sonne!



4. Wie wichtig ist es, dass Photometer bei Messungen vor Hitze und Kälte zu schützen?

Der LED-Sensor des Photometers ist temperaturempfindlich, was die Ausgangsspannung ein wenig beeinflusst. Deshalb ist Schutz vor Hitze oder Kälte sehr wichtig. Im Sommer ist es ganz besonders wichtig, das Instrument nicht in der Sonne zu lassen, wenn man nicht misst. Im Winter sollte man es dadurch warm halten, dass man es unter dem Mantel verbirgt, wenn man nicht gerade misst. Das Photometer sollte keinesfalls für längere Zeit draußen gelassen werden.

Das Gehäuse des Photometers schützt auch bereits ein wenig vor Temperaturschwankungen, die ansonsten die Elektronik im Innern beeinflussen könnten. Wenn man diese Vorsichtsmaßnahmen beherzigt und die Messungen so schnell wie möglich vornimmt, werden die Messergebnisse nicht verfälscht sein. Unter extremen Wetterbedingungen (Winter oder Sommer), sollte man darüber nachdenken, ob man nicht eine Wärme-/Kälteisolierung für das Photometer bastelt. Dazu eignet sich Styropor oder anderes geschäumtes Material, in das man Löcher für den Ein-/Ausschalter, die Sonneneintrittsöffnung, und einen Kanal für die Abgleichwinkel schneiden kann. Das Loch für die Sonneneintrittsöffnung sollte im Durchmesser nicht kleiner sein als die Dicke des Isoliermaterials und auf keinen Fall sollte es kleiner als 1cm sein.

5. Das Photometer ist zu Boden gefallen. Was ist zu tun?

Glücklicherweise sind die Teile des Photometers nahezu unzerstörbar, so dass sie einen Sturz in der Regel unbeschadet überstehen. Überprüft das Gehäuse auf Bruchstellen! Selbst wenn es Risse aufweist, sollte es noch funktionieren. Überklebt die Risse mit durchsichtigem Klebeband. Seht im Inneren nach und überprüft, ob alles beim Alten ist. Seht besonders darauf, dass Batterie und Batterieanschlüsse fest mit einander verbunden sind. Sollten sich die Abgleichwinkel durch den Fall gelockert haben, so bringt sie wieder in die alte Position und zieht die Schrauben an. Fixiert die Abgleichwinkel u.U. mit ein wenig Sekundenkleber. Zum Schluss solltet ihr das Photometer entsprechend dem Abgleich-Protokoll erneut abgleichen.

Nach alledem solltet ihr eine Messung vornehmen. Stimmen die Messungen, so hat das Instrument keinen Schaden genommen.

6. Wie weiß man, dass das Photometer richtig funktioniert?

Wenn das Photometer angeschaltet, aber nicht auf die Sonne ausgerichtet ist, ist eine Spannung von etwa 10 bis 20mV (0.010 - 0.020 V) abzulesen. Wenn man das Instrument auf die Sonne ausrichtet, so solltet sich der Spannungswert auf etwa 1 bis 4V erhöhen. Nur wenn es sehr dunstig, spät am Nachmittag oder früh am Morgen ist, kann der Spannungswert weniger als 1V betragen. Sollten die zu erwartenden Spannungen nicht vorhanden sein, funktioniert das Instrument nicht.

Die häufigsten Gründe, dass das Photometer nicht funktioniert, sind zu schwache Batterien oder lose Batterieklemmen. Sätzen die Batterien fest an den Batterieklemmen, so sollte die Spannung der Batterie überprüft werden. Wie bereits bei der Batterieprüfung angesprochen, sollte die Batterie gewechselt werden, wenn die Spannung unter 7.5V liegt. Die Batterieprüfung sollte mindestens alle drei Monate vorgenommen werden. Falls immer noch ein Problem besteht solltet ihr GLOBE kontaktieren.

7. Was versteht man unter der Eichung des Photometers?

Ein Photometer wird als geeicht angesehen, wenn die *außerirdische Konstante* bekannt ist. Das ist die Spannung, die man messen würde, wenn keine Atmosphäre zwischen Photometer und Sonne läge. Als Veranschaulichung muss man sich vorstellen, man säße im Space-Shuttle, würde die



Frachtluke öffnen und das Photometer von dort aus auf die Sonne richten. Die dort gemessene Spannung wäre obengenannte *außerirdische Konstante*. Dieser Wert hängt hauptsächlich von der Wellenlänge ab, auf die das Photometer eingestellt ist, aber auch von der Entfernung zwischen der Erde und Sonne. (Diese Entfernung verändert sich ein wenig, da die Erde die Sonne in einer Ellipse und nicht in einem Kreis umrundet.)

Bei diesem Gedankenversuch muss man sich auch keine Sorgen über irgendwelche Einfallswinkel machen, da außerhalb der Atmosphäre keine Aerosole vorhanden sind, die das Sonnenlicht streuen könnten. Daher würde das Photometer lediglich direkte Sonnenstrahlung messen.

Glücklicherweise können Photometer geeicht werden, indem man die *außerirdische Konstante* aus Messungen an der Erdoberfläche herleitet. Dies nennt man die „Langley-Methode“. Die Messungen sind bei Messstationen auf geringer Höhe und unter veränderlichen Wetterbedingungen äußerst schwierig zu machen. Das Photometer von GLOBE ist unter Zuhilfenahme von Referenzmessungen des Mauna Loa Observatoriums geeicht worden, dem anerkanntesten Ort für solche Messungen.

Es wäre ein interessantes Projekt, wenn ihr Eichungen nach der „Langley-Methode“ vornehmen würdet und sie mit den Eich-Ergebnissen eures Instruments vergleicht. Falls ihr dies tun wollt, kontaktiert GLOBE.

8. Selbstbau des Photometers?

Ihr könnt einen Photometer-Bausatz kaufen. Für den Zusammenbau müsst ihr löten können, was man sich von jemandem zeigen lassen kann, der das beherrscht. Mit den Messungen kann sofort begonnen werden, nachdem das Instrument zusammengebaut ist. Allerdings muss das Instrument zum GLOBE-Team (GLOBE Atmospheric Haze Science Team) geschickt werden, damit es dort geeicht wird, bevor eure Daten von der GLOBE-Datenbank akzeptiert werden können.

Im Prinzip könnt ihr das Instrument auch ohne Bausatz zusammenbauen. In diesem Fall müsst ihr lediglich den IC und die LED beim wissenschaftlichen Team von GLOBE bestellen, damit das Gerät mit anderen Photometern vergleichbar ist, die für GLOBE-Messungen eingesetzt werden.

9. Wie oft müssen Photometermessungen vorgenommen werden?

Das Protokoll schreibt vor, dass täglich Messungen vorgenommen werden, so es das Wetter erlaubt. An einigen Stellen der Welt kann es sein, dass man für Tage keine Messungen vornehmen kann, weil die Wetterbedingungen nicht optimal sind. Außerdem solltet ihr für Wochenenden und Ferien Mitschüler einplanen, die Messungen vornehmen.

10. Wie weiß man, ob der Himmel klar genug für Messungen ist?

Die Grundregel lautet, dass die Sonne nicht von Wolken verdeckt sein darf. Es macht nichts, wenn Wolken in der Nähe der Sonne sind. Das mag schwer zu entscheiden sein, besonders da ihr nie direkt in die Sonne sehen sollt. Ihr könnt euch den Himmel in der Nähe der Sonne ansehen, indem ihr die Sonne mit einem Buch oder Heft verdeckt. Noch besser ist es, wenn ihr die Ecke eines Gebäudes benutzt, um nicht in die Sonne zu sehen. Auch Sonnenbrillen helfen bei der Entscheidungsfindung; sie schützen eure Augen vor der UV-Strahlung. Orangeeingefärbte Sonnenbrillen lassen euch leichte Wolken sehen, die sonst nicht sichtbar wären.

Wenn ihr irgendwelche Zweifel während der Messung habt, so notiert sie unter den Kommentaren zur Wolkenbedeckung.

Cirrus-Wolken sind bekannterweise schwer zu entdecken, obwohl sie die Messergebnisse im höchsten Maße beeinträchtigen können. Falls ihr sie vor oder nach den Messungen seht, notiert dass in eurem Datenblatt.



11. Was sind Aerosole?

Aerosole sind Teilchen, die in der Luft verteilt sind. Sie variieren von einem Bruchteil eines Mikrometers bis zu einigen hundert Mikrometern. Sie bestehen aus Rauch, Bakterien, Salz, Pollen, Staub, unterschiedlichsten Luftverschmutzungen, Eis und kleinsten Wassertröpfchen. Diese Teilchen reagieren mit der Sonnenstrahlung und streuen diese. Das Ausmaß, in dem sie die Sonnenstrahlung beeinträchtigen, hängt von der Wellenlänge des Lichts und der Größe der Aerosole ab. Diese Art der Partikel-Licht-Interaktion nennt man „Mie-Streuung“, nach dem deutschen Physiker Gustav Mie benannt, der als erster eine detaillierte mathematische Beschreibung dieses Phänomens am Anfang des 20. Jhdts. gegeben hat.

12. Was ist optische Dicke?

Die optische Dicke (oder optische Tiefe) gibt an, wie viel Licht ein Material durchdringt. Die Menge des durchgelassenen Lichts kann sehr klein sein (weniger als ein Bruchteil von 1%) oder sehr groß (fast 100%). Je größer die optische Dicke, desto weniger Licht dringt durch das Material. Angewandt auf die Atmosphäre bedeutet dies, dass die optische Dicke (AOT) das Ausmaß beschreibt, in dem Aerosole die direkte Übertragung von Sonnenstrahlung einer bestimmten Wellenlänge durch die Atmosphäre behindern. Bei sehr klarem Himmel kann AOT Werte von 0.05 oder weniger haben. Sehr dunstiger oder rauchiger Himmel kann AOT-Werte von bis zu 1.0 aufweisen.

Die Lichtübertragung in Prozent durch die Atmosphäre ist eine andere Möglichkeit, um dasselbe Phänomen zu beschreiben. Es gibt eine einfache Beziehung zwischen AOT und Prozent der Lichtübertragung:

$$\text{Übertragung (in Prozent)} = 100 e^{-(AOT)}$$

Schaut in die Tabelle AT-AH-1, um die Prozente der Lichtübertragung einiger AOT-Werte zu sehen. Jeder wissenschaftliche Taschenrechner hat eine e^x -Funktionstaste. Probiert ein wenig mit diesen Beispielen herum, um herauszufinden, wie man mit dem Taschenrechner AOT in Prozente der Lichtübertragung umrechnen kann.

13. Was ist Beers-Gesetz?

August Beer war ein deutscher Physiker, der im 19. Jhd. auf dem Gebiet der Optik experimentierte. Er entwickelte die Grundsätze für das, was wir als Beers-Gesetz kennen. Es erklärt, wie sich die Lichtstärke eines Lichtstrahls vermindert, wenn er durch unterschiedliche Materialien fällt. Andere Wissenschaftler des 19. Jhdts. beschäftigten sich ebenfalls mit diesem Gesetz und wandten es auf den Weg der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre an. Seitdem wird die Gleichung, nach der Photometer arbeiten, als das Beer/Lambert/Bouguer-Gesetz bezeichnet. Die Lerneinheit *Sonnenstände* befasst sich mit Faktoren, die helfen, das Beersche Gesetz anzuwenden und selbst die optische Dicke zu errechnen. Dazu muss man mit Exponentialfunktionen und Logarithmen vertraut sein.

14. Was ist die relative Luftmasse(m)?

Die relative Luftmasse(m) ist ein Maß für die atmosphärische Menge, durch die ein Sonnenstrahl wandert. An jedem Ort jeglicher Meereshöhe ist die relative Luftmasse 1, wenn die Sonne im Zenit steht. (Beachte: Auf jedem Breitengrad, nördlicher oder südlicher Breite, der größer ist als 23.5° , steht die Sonne nie im Zenit, daher kann die Sonnenstrahlung nicht durch eine relative Luftmasse von 1 beobachtet werden.)



Eine vereinfachte Formel für die relative Luftmasse lautet: $m = 1/\sin$ (Sonnenstand), wobei „Sonnenstand“ den Winkel der Sonne über dem Horizont angibt. Diese Formel ist annähernd genau für relative Luftmassen bis zu ungefähr 2. Größere Werte benötigen eine kompliziertere Formel, die die Erdkrümmung berücksichtigt. Seht euch die Lerneinheit *Sonnenstände* an, um zu lernen, wie man den Sonnenstandswinkel und die relative Luftmasse direkt beobachten kann.

15. Was ist Rayleigh-Streuung?

Luftmoleküle streuen die Sonnenstrahlung. Luftmoleküle streuen ultraviolette und blaue Wellenlängen viel stärker als rote oder infrarote Wellenlängen. (Daher ist der Himmel blau). Dieser Vorgang wurde im 19. Jhdt. zuerst vom Nobelpreisträger für Physik, dem Engländer John William Strutt, der dritte Baron von Rayleigh, beschrieben. Die nach ihm benannte Streuung kann leicht beobachtet werden - ein einfaches ist in der Lerneinheit *Sonnenstände* beschrieben.

16. Wie genau sind die Messungen des GLOBE-Sonnen-Photometers?

Die Genauigkeit von Messungen mit Sonnen-Photometern wird von Wissenschaftlern schon seit Jahrzehnten studiert und immer noch diskutiert. Es gibt einige den von der Erde vorgenommenen Aerosol-Messungen innewohnende Begrenzungen, aber auch Beschränkungen, die durch die Bauform des GLOBE-Sonnen-Photometers bedingt sind. Messungen, die entsprechend sorgfältig nach den Versuchsprotokollen durchgeführt worden sind, sollten bis zu weniger als 0.02 AOT genau sein. Bei sehr klarem Himmel mit AOT-Werten kleiner als 0.05 ist dies ein signifikanter prozentualer Fehlerwert. Allerdings haben auch „professionelle“ Photometer nur Genauigkeiten von bis zu 0.01 AOT. Daher sind die Messungen, die mit dem GLOBE-Sonnen-Photometer gemacht wurden, mit denen anderer Sonnen-Photometer vergleichbar.

Im Gegensatz zu anderen GLOBE-Messungen gibt es keine leicht zugänglichen Standards, um die Genauigkeit der AOT-Berechnungen zu überprüfen. GLOBE-Aerosol-Messungen bedürfen weiterhin genauester Untersuchungen seitens der GLOBE-Forscher. Trotzdem kann man sagen, dass die Aerosol-Messungen eine Genauigkeit haben, die für die Erforschung der Atmosphäre sehr nützlich ist.

17. Interessieren sich die Wissenschaftler überhaupt für unsere Messergebnisse?

Im Vergleich zur vorangehenden Frage ist die Antwort ein nur leicht zögerliches „Ja“. Es gibt nur wenige Sonnen-Photometer auf der Welt. Nachdem jüngste Studien nachgewiesen haben, dass Aerosole einen erheblichen Teil der Sonnenstrahlung blockieren und dadurch einen Abkühlungseffekt des Erdklimas hervorrufen, gibt es ein neuerliches Interesse an Sonnen-Photometer-Messungen. Bevorstehende Satelliten-Beobachtungen der Erde, werden ihr Augenmerk auf die globalen Charakteristika und Konstituenten der Atmosphäre richten. Es ist wichtig, dass verlässliche erdbezogene Messdaten vorliegen, um die Instrumente der Satelliten zu eichen und ihre Messergebnisse zu validieren. Die den GLOBE-Untersuchungen angeschlossenen Schulen stellen das Potential für ein globales Netzwerk zur Aerosolbeobachtung dar, das ansonsten nirgendwo vorhanden ist.

Auf regionaler Ebene gibt es so gut wie keine Aerosol-Beobachtungen, die uns etwas über die natürliche Entstehung von Aerosolen sagen, nämlich durch Wasserdampf, natürlich ausbrechende Wald- und Buschfeuer, Staub, Pollen, Gase, die von Pflanzen und Bäumen abgegeben werden, Meeressalz und Vulkanausbrüchen. Das gleiche gilt für die Beobachtung von Aerosolen, die durch Autoabgase, kohleverbrennende Kraftwerke, absichtlich in Gang gesetzte Wald- oder Flächenbrände, Industrie und Bergbau, Staubwolken ungeteeter Straßen oder landwirtschaftliche Tätigkeiten hervorgerufen werden. Auch hier sind es wieder die den GLOBE-



Versuchen angeschlossenen Schulen, die das Potential zur Beantwortung der genannten Fragestellungen bereit stellen können.

Ein weitere positive Antwort auf die oben aufgeworfene Frage zeigt sich darin, dass die Aerosol-Messungen, bis auf wenige sehr spezielle Messungen, am gleichen Ort über Monate und sogar Jahre vorgenommen werden müssen, um ein längerfristiges wissenschaftliches Interesse zu haben. Manchmal mag es schwer sein, diese langfristigen Ziele über die täglichen Messungen nicht aus dem Auge zu verlieren. (Das trifft natürlich nicht nur für die Aerosolmessungen zu.) Im Falle der Aerosole ist Ausdauer aber besonders wichtig, weil hier Langzeitstudien benötigt werden, in denen die signifikanten Veränderungen in der Atmosphäre beobachtet und analysiert werden können. Wenn ihr den Protokollen folgt und sorgfältige Messungen vornehmt (besonders im Sommer), steht es außer Frage, dass die Wissenschaftler eure Beiträge heute und in der Zukunft zu würdigen wissen werden.



Protokoll 9

Oberflächen-Ozon

Ziel	Arbeitshypothesen
Messung des Ozongehaltes in Bodennähe	Ozon existiert in der Luft, die wir einatmen.
	Die Zusammensetzung der Luft um uns herum variiert, abhängig von der Windrichtung.
Lernziele	
Genauere Datenerfassung (Ablesen & Eintragen der Werte)	Fertigkeiten
Angemessene Datenanalyse und -präsentation	Benutzung eines chemisch behandelten Papierstreifens zur Messung des Oberflächen-Ozongehaltes
Verständnis von Ursache und Wirkung (Beobachtung & Erklärung von Reaktionen)	Datenerfassung, graphische Auswertung & Datenanalyse
Wechselwirkungen atmosphärischer Bedingungen	Testprozeduren
Identifizierung von Mustern des Oberflächen-Ozongehaltes	Ablesen und Aufzeichnen der Ozon-Daten
	Beobachtung & Aufzeichnung der Wetterverhältnisse
Überblick Schüler bedienen sich eines Papierstreifens, der seine Farbe bei Vorhandensein von Ozon verändert. Nachdem der Streifen eine Stunde dem Ozon ausgesetzt gewesen ist, messen die Schüler, wie sehr sich die Farbe des Streifens verändert hat.	Materialien und Geräte
	Ozon-Datenerfassungsblatt
	Klemmbrett
	Bleistift oder Kugelschreiber
	Chemischer Teststreifen im Plastikbeutel
	Ozon-Teststreifen-Scanner
Zeitliche Dauer	Windrichtungsmesser Vorbereitung
zweimal fünf Minuten, in einstündigem Abstand	Zusammenbau & Installation der Ozon-Beobachtungsstation
	Zusammenbau (o.a. Fertiggerät) & Installation des Windrichtungsmesser
Altersgruppen	
alle	
	Vorbereitende Beobachtungen
Häufigkeit Täglich Messungen sollten vorwiegend innerhalb der Stunde des höchstens Sonnenstandes beginnen	Protokolle über die Wolkenformationen
	Protokolle über die Temperaturmaxima, -minima



Handreichungen für den Lehrer

Basiswissen

Viele Gase sind in der Luft nur in geringen Mengen vorhanden. Viele dieser Spurengase sind hoch reaktive Chemikalien und spielen eine große Rolle in der komplexen Chemie, die die Qualität der Luft bestimmt, die wir einatmen.

Sonnenlicht und auch die geringen Mengen des ultravioletten Lichts sind die Antriebskräfte bei den chemischen Prozessen in der Luft.

Eine weitere Schlüsselrolle bei diesen Prozessen spielen Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxyde, Stickoxyde und andere Komponenten.

Daraus resultiert, dass die Menge dieser Spurengase in Abhängigkeit von der Tageszeit, den Tagen und von Ort zu Ort variiert.

Ozon ist eines der am häufigsten vorkommenden Spurengase. Es spielt eine wichtige Rolle im chemischen Aufbau der Atmosphäre und kann von den GLOBE-Schülern mit Hilfe eines einfachen chemischen Teststreifens gemessen werden. Ozon reagiert mit Oberflächen, einschließlich organischen Materials, das der Luft ausgesetzt wird. Der jeweilige Ozongehalt wird somit zu einem Schlüsselmaß für die Luftqualität.

Messungen

Die GLOBE-Oberflächen-Ozongehalt-Messung wird mittels eines chemisch reagierenden Streifens vorgenommen, der seine Farbe bei Anwesenheit von Ozon verändert. Je mehr Ozon vorhanden ist, desto stärker die Farbveränderung. Der Messstreifen wird in die Klemmvorrichtung der Messstation eingelegt. Die Messung erfolgt vorwiegend innerhalb der Stunde des höchstens Sonnenstandes und dauert eine Stunde. Die Auswertung wird durch einen Scanner vorgenommen, wodurch ein genaueres Messergebnis erzielt wird, das den wissenschaftlichen Wert des Datenmaterials verbessert.

Da sich die Farbveränderung verstärkt, wenn der Streifen länger als eine Stunde dem Ozon ausgesetzt ist, ist für die weltweite Vergleichbarkeit der GLOBE-Datenerfassung ein Protokoll erforderlich, in dem der Zeitraum (Anfangs- und Endzeitpunkt) des 1-stündigen Tests und die Zeitdauer für den Lesevorgang im Scanner vermerkt sind.

Platzierung des Teststreifens

Der Teststreifen wird in der Messstation der freizirkulierenden Außenluft ausgesetzt. Dabei ist zu beachten, dass der Streifen in einem verschlossenen Plastikbeutel zur Messstation gebracht wird, weil er sofort reagiert, wenn er auf Ozon trifft.

Beim Platzieren des Teststreifens ist darauf zu achten, dass die chemische Substanz des Streifens nicht berührt wird, um Verunreinigungen zu vermeiden.

Für den Fall, dass jemand die chemische Substanz berührt, sei gesagt, dass von ihr keine Gefahr ausgeht.

Auslesen der chemischen Reaktion

Das Auslesen des Teststreifens muss an Ort und Stelle erfolgen. Das Auswertungsteam vermerkt das Ergebnis im Ozon-Daten-Erfassungsblatt.

Bestimmung des Oberflächen-Ozongehaltes

Der mobile Scanner ermöglicht ein wesentlich genaueres Auslesen der Farbveränderung des Ozon-Teststreifens als das mit dem bloßen Auge möglich ist. Er liest den Ozongehalt in



milliardstel Teilen aus, wobei die Berechnung davon ausgeht, dass der Streifen der Luft eine stundelang ausgesetzt gewesen ist.

Der Scanner sollte im Schatten und auf einer festen Unterlage zum Einsatz kommen. Sonneneinstrahlung und Erschütterungen können die Ergebnisse beim Scannvorgang beeinflussen. Platzieren Sie den Teststreifen über den schmalen Schlitz oben auf dem Scanner. Halten Sie den Streifen an dem Ende fest, auf dem „Test Card“ steht. Die chemische Substanz des Streifens sollte zum Display des Scanners weisen. Lassen Sie den Teststreifen langsam in den Schlitz gleiten, bis er den Boden im Scanner berührt. Nach einigen Sekunden wird das Testergebnis in milliardstel Teilen angezeigt.

Begleitende Messungen

Da die Konzentration von Spurengasen in der Atmosphäre von der Stärke der vorherrschenden Sonnenstrahlung abhängig ist, müssen die Schüler die Wolkendecke und Bewölkungstyp feststellen, der zu Beginn und am Ende des Tests herrschte.

Da chemische Reaktionen auch von der umgebenden Temperatur abhängen, müssen die Schüler die Temperatur messen, die zu Beginn und am Ende des Tests herrschte.

Gleiches gilt für die Windrichtung die zu Beginn und am Ende des Tests herrschte.

Alle Fälle der oben genannten Messungen müssen vorgenommen werden, nachdem der Teststreifen in die Messstation eingesetzt worden ist(Beginn des Tests) und nachdem der Streifen ausgelesen worden ist(Ende des Tests).

Diese begleitenden Messungen ermöglichen die Vergleichbarkeit der Messergebnisse mit den Messungen anderer Schulen an anderen Orten.

Während die Schüler etwas über die Luft lernen, die sie atmen, erforschen sie, wie die Wetterbedingungen den Ozongehalt der Luft bestimmen. Der Datenvergleich mit den Resultaten anderer Schulen an anderen Orten dieser Welt kann für die Schüler ein Mittel für weitere Forschungen sein.

Logistische Probleme bei der Datenerfassung

Die Notwendigkeit, den Ozon-Teststreifen eine stundelang der Luft auszusetzen, kann eine logistische Herausforderung darstellen. Ein Weg, dieses Problem zu lösen, besteht darin, den Teststreifen zur gleichen Zeit zu installieren, zu der die atmosphärischen Messungen bezüglich Temperatur(Mittelwert, Maximum, Minimum), Windrichtung, Niederschlag und Wolkenbildung während der Stunde des höchstens Sonnenstandes vorgenommen werden. Diese Messungen ergeben dann einen Datensatz, der benötigt wird, um die Ozon-Messungen zu unterstützen.

Einige Minuten vor Ablauf der einstündigen Testphase begeben sich die Schüler zur Messstation, um die Ozonkonzentration abzulesen. Zur gleichen Zeit, da sie die Messstationsabdeckung entfernen, werden Temperatur, Wolkenbildung, Wolkentyp und Windrichtung protokolliert. Außergewöhnliche Wetterbedingungen, die die Reaktion des Teststreifens beeinflusst haben könnten, erscheinen im Protokoll als Kommentare oder Metadaten. Die Schüler, die sich um das Auslesen des Teststreifens kümmern, müssen nicht die sein, die den Teststreifen installiert haben. Dadurch wird eine gewisse Flexibilität in bezug auf den schulischen Tagesablauf erzielt.

Der Schlüssel zum Gelingen dieser zweimaligen Messungen liegt darin, einen genauen Einsatzplan zu entwickeln, so dass jeder Beteiligte weiß, was und wann er etwas zu tun hat.

Ozongehalte variieren im Laufe des Tages. Um eine konsistente und vergleichbare Testanordnung der Ozon-Messungen zu erreichen, müssen die erforderlichen Messungen innerhalb der Stunde des höchstens Sonnenstandes vorgenommen werden.



Wenn diese Zeitvorgabe an Ihrer Schule nicht eingehalten werden kann oder wenn Sie mehr als eine Messung am Tag vornehmen wollen, so können sie dies im Protokoll vermerken. Diese Daten werden nicht in der graphischen Präsentation der mittägigen Ozonwerte erscheinen, sondern in graphischen Daten-Tabellen ihrer Schule.

Essentiell ist, dass der Teststreifen eine stundelang dem Ozon ausgesetzt ist und dass Wolken, Temperatur und Windrichtung zu Beginn und zum Ende des Tests protokolliert werden.

Einweisung der Schüler

Die Schüler müssen eingeübt werden, wie sie den Oberflächen-Ozongehalt zu messen haben. Für die Genauigkeit der Messungen ist es nötig, dass die Schüler in die Lage versetzt werden:

1. in Gruppen von 2-4 Personen zu arbeiten, um Messresultate zu erbringen, zu analysieren und zu diskutieren.
2. alle Materialien zu organisieren, die für die Einrichtung und Durchführung des Messversuches nötig sind.
3. den Beginn und das Ende des Versuches exakt zu bestimmen und zu protokollieren sowie den Teststreifen auszulesen.
4. den Teststreifen im geschlossenen Plastikbeutel zur Messstation zu bringen, um damit die Einwirkzeit zu kontrollieren.
5. den Teststreifen vorsichtig in die Klemmvorrichtung zu setzen, um etwaige Verunreinigungen zu vermeiden.
6. die augenblickliche Temperatur vom Maximum/Minimum-Thermometer abzulesen, ohne die Maximum-Minimum-Einstellungen zu verändern.
7. Wolkendecke und Wolkentyp zu bestimmen und im Wolken-Protokoll festzuhalten.
8. Daten genau und umfassend aufzuzeichnen und an GLOBE für graphische und analytische Bearbeitung weiterzuleiten.
9. ihre Beobachtungen in ihrem eigens bei GLOBE vorgesehenen *Wissenschaftlichem Logbuch* einzutragen.
10. ihre Eintragungen in GLOBES *Wissenschaftlichem Logbuch* zu diskutieren und zu hinterfragen, ohne ihre ursprünglichen Eintragungen zu verändern, um damit ihre Lernfortschritte deutlich zu machen.

Einbindung der Lernaktivitäten

Die *Anwendung und Auswertung des Ozon-Teststreifen-Feldversuches* unterstützt den *Lernbereich Ozon in der Schule*, der die Messung des Oberflächen-Ozongehaltes in das Curriculum der jeweiligen Klassenstufe einbindet.

Wertvolle Hinweise

Schaffen Sie einen festgelegten Ort für das Klemmbrett und das Ozon-Daten-Erfassungsblatt, um den unterschiedlichen Schülergruppen den Zugang zu den Materialien zu erleichtern.

Heften Sie die Daten-Erfassungsblätter chronologisch in einem Ordner ab, damit es nicht zu Missverständnissen kommt.

Überprüfen Sie den Ordner von Zeit zu Zeit, um sicher zu stellen, dass die Datenerfassung vollständig und genau ist.

Manchmal wird ein Teststreifen unbrauchbar, weil er frühzeitig der Luft ausgesetzt oder feucht geworden ist. Dadurch werden die Messergebnisse verfälscht. Lassen Sie die Messergebnisse dieses Tages fort.



Wenn der Teststreifen kein Ergebnis zeitigt, geben Sie 0 ein, um anzuzeigen, dass kein Oberflächen-Ozon gemessen wurde.

Hilfen für den Schüler

Viele Gase in der Atmosphäre ändern sich von Ort zu Ort. Ihre Konzentration ändert sich im Verlauf eines Tages, ebenso wie von Tag zu Tag. Diese Änderungen haben Einfluss auf die Qualität der Luft, die wir täglich einatmen. Die Messungen der Gaskonzentrationen sind wichtig für unser Verständnis von der Luftqualität und ihrer Veränderungen.

Ozon ist das wichtigste Gas. Es ändert sich sprunghaft und reagiert mit vielen anderen chemischen Stoffen in der Luft. Es reagiert auch mit den Oberflächen organischer und anorganischer Stoffe, mit denen es in Kontakt kommt. Daher ist es ein wichtiger Bestandteil der Luftqualität.

Das Sammeln von Oberflächen-Ozon-Daten ermöglicht eine Bestandsaufnahme des Ozons in Bodennähe an unterschiedlichen geographischen Gebieten. Diese Daten können Wissenschaftlern helfen zu erkennen, wie Wetterbedingungen den Ozongehalt der Luft beeinflussen. Die damit geschaffene Datenbank trägt viel zum Verständnis bei, wie sich die Erdatmosphäre verändern kann.

Weiterführende Fragen

Steht die beobachtete Ozonkonzentration mit anderen atmosphärischen Erscheinungen in Beziehung? Welchen? Wieso?

Wie kann das von dir über einen bestimmten Zeitraum gesammelte Material benutzt werden, um zukünftige Voraussagen über Veränderungen in der Atmosphäre zu machen?



Anwendung des Ozon-Teststreifens

Feldversuch-Führer

Aufgabe

Beginne mit der Messung des Oberflächen-Ozongehaltes.
Notiere die Wolkenbeschaffenheit, die Windrichtung und die augenblickliche Temperatur.

Was du brauchst

Ein Ozon-Teststreifen
Plastikbeutel, um den Streifen
zur Messstation zu bringen

Hilfe zur Windrichtungsmessung
Hilfe zur Bestimmung der
Wolkendecke

Hilfe zur Bestimmung des Wolkentyps
Ozon-Test-Scanner
Klemmbrett
Ozon-Datenerfassungsblatt
Bleistift oder Kuli
Stoppuhr

GLOBE Wolkentabelle
Windrichtungsmesser
Schlüssel für die Abdeckung der
Messstation



Vor Ort

1. Fülle den oberen Bereich des Ozon-Datenerfassungsblattes aus.
2. Entnehme einen Teststreifen aus dem Plastikbeutel.
3. Notiere das Datum und die Zeit des Testbeginns.

Kalibrierung des Scanners

4. Stelle den Scanner auf einen festen Untergrund. Vermeide direkte Sonneneinstrahlung.
5. Schalte den Scanner ein. Du solltest Folgendes im LCD-Display sehen(Die Zahl, die du unter SAVE siehst, kann von der Zahl im Schaubild abweichen.).

MODE	AUTO	SAVE
01		170

6. Stecke den Teststreifen in den Scanner, wobei die Seite mit der chemischen Substanz in Richtung Display weist.



7. Drücke Knopf 1, bis du CALIB auf dem Display siehst.
8. Drücke Knopf 2 und wähle WHT PAPER aus. Die Zahl unter EXIT kann flackern. Das ist normal.
9. Halte Knopf 1 und Knopf 2 gleichzeitig gedrückt, um die Kalibrierung zu speichern. Der Scanner geht auf MODE 01 zurück. (Die Anzeige unter SAVE sollte 000 sein und kann flackern. Wenn die Anzeige größer als 003 ist, wiederhole die Schritte 7-9, um das Gerät zu recalibrieren.)
10. Entnehme den Teststreifen und schalte den Scanner aus.
11. Platziere den Teststreifen in der Klemmvorrichtung der Messstation. Berühre dabei nicht die chemische Substanz des Teststreifens. (Von ihr geht keine Gesundheitsgefahr aus, aber durch Berührung können die Messergebnisse beeinflusst werden.)
12. Bestimme gemäß des *Wolken-Protokolls* die Wolkendecke und den Wolkentyp.
13. Bestimme die augenblickliche Temperatur(in 0.5°C) auf dem Thermometer in der Messstation.
14. Bestimme die Windrichtung.



Anwendung des Ozon-Teststreifens

Feldversuch-Führer

Aufgabe

Vervollständige die Messungen des Oberflächen-Ozongehaltes, nachdem der Teststreifen eine Stunde der umgebenden Luft ausgesetzt gewesen ist. Notiere die Wolkenbeschaffenheit, die Windrichtung und die augenblickliche Temperatur.

Was du brauchst

Ozon-Test-Scanner	Hilfe zur Bestimmung der Wolkendecke
Klemmbrett	Hilfe zur Bestimmung des Wolkentyps
Ozon-Datenerfassungsblatt	Hilfe zur Windrichtungsmessung
Bleistift oder Kuli	Windrichtungsmesser
GLOBE Wolkentabelle	Schlüssel für die Abdeckung der Messstation
Stoppuhr	

Vor Ort

Nachdem der Teststreifen eine stundelang der umgebenden Luft ausgesetzt gewesen ist:

1. Schalte den Scanner ein. Du solltest etwa Folgendes sehen:

MODE	AUTO	SAVE
01		170

2. Entnehme den Teststreifen aus der Klemmvorrichtung der Messstation. Berühre die chemische Substanz des Streifens nicht.
3. Stecke den Teststreifen mit dem abgerundeten Ende in den Scanner, bis Teststreifen und Scanner-Schlitz in Deckung sind. Die chemische Substanz des Teststreifens zeigt in Richtung Display.
4. Platziere den Scanner auf einem festen Untergrund. Vermeide direkte Sonneneinstrahlung. Das Display sollte nach etwa 5-10 Sekunden eine konstante Zahl anzeigen. Falls die Anzeige zwischen 2 Zahlen hin und her springt, wähle die niedrigere, nachdem der Teststreifen 10-15 Sekunden im Scanner verblieben ist.
5. Vermerke den gemessenen ppb-Wert in deinem Ozon-Datenerfassungsblatt.
6. Vermerke den Zeitpunkt der Auswertung des Teststreifens.
7. Bestimme gemäß des *Wolken-Protokolls* die Wolkendecke und den Wolkentyp.
8. Bestimme die augenblickliche Temperatur(in 0.5°C) auf dem Thermometer in der Messstation.
9. Bestimme die Windrichtung.



Windrichtungsmessung

Feldversuch-Führer

Aufgabe

Bestimmung der Windrichtung durch den Windrichtungsmesser.

Was du brauchst

Windrichtungsmesser
Klemmbrett

Ozon-Datenerfassungsblatt

Vor Ort

1. Platziere den Windrichtungsmesser auf einem Tisch oder einer Bank, etwa 1 Meter vom Boden entfernt.
2. Nimm den Kompass und bestimme den Nordpol. Bringe das Grundbrett des Windrichtungsmessers (Marke N) in Deckung mit der N-Richtung des Kompasses.
3. Sieh auf die Wetterfahne und stelle fest, ob überhaupt Wind vorhanden ist.
4. Lege deine rechte Hand auf die Hüfte und halte deinen linken Arm geradeaus.
5. Drehe deine Körper so, dass dein geradeaus weisender linker Arm in die gleiche Richtung weist wie die Wetterfahne. Dein rechter Ellenbogen zeigt jetzt in die Richtung, aus der der Wind bläst.
6. Vermerke diese Richtung auf dem Datenerfassungsblatt.

Beispiel: Wenn die Wetterfahne nach Süden weist, sollte dein ausgestreckter linker Arm ebenfalls nach Süden weisen, d.h., der Wind kommt aus Norden.

Der ausgestreckte Arm weist in die Richtung, in die der Wind bläst, und der rechte angewinkelte Arm zeigt in die Richtung, aus der der Wind kommt, hier also aus Norden.

Windrichtungen sind immer die, aus denen der Wind kommt.



Häufig gestellte Fragen

1. Was tun, wenn der Teststreifen nach einer Stunde keine Verfärbung zeigt?

Wenn keine Farbveränderung vorhanden ist, trage den Wert 0 in das Datenerfassungsblatt. Das heißt, dass nur wenig oder gar kein Oberflächen-Ozon vorhanden ist.

2. Was tun, wenn der Teststreifen durch Regen oder Schnee nass geworden ist und die Farbveränderung verwaschen erscheint oder keine vollständige Farbanzeige vorhanden ist?

Der Teststreifen ist verunreinigt oder unbrauchbar; die Daten sind nicht mehr genau. Gib deine Daten als **M** an den GLOBE-Datenserver weiter. Gib im Kommentar die Wetterbedingungen an, die die Resultate beeinflusst haben könnten. Messe trotzdem die vorherrschende Temperatur, die Wolkendecke und den Wolkentyp und gib die Daten weiter.

3. Wir sind am Wochenende nicht in der Schule. Wie sollen wir die Daten erfassen?

Durchgängige Beobachtungen sind nötig. Setze dich mit deinem GLOBE-Team in Verbindung und findet einen Freiwilligen, der mit ein oder zwei Schülern am Wochenende zur Wetterstation kommt. Nehmt die Messungen am Wochenende und in den Ferien vor, wenn es irgendwie möglich ist. Daten, die in der Schulzeit erhoben werden, sind sehr wertvoll, aber an manchen Wochenenden können völlig verschiedene Ozonkonzentrationen vorkommen.

4. Können die Plastikscheibe und der Teststreifen auf der Wetterstation platziert werden?

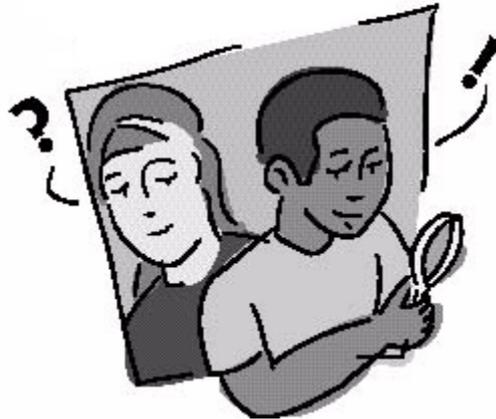
Nein. Sie könnten den Niederschlagsmesser beeinträchtigen und sollten deshalb an einem anderen Ort befestigt werden.

5. Warum ist es wichtig, die Temperaturmessung nach dem Ablesen des Ozongehaltes vorzunehmen?

Der Teststreifen reagiert auf das in der Luft vorhandene Ozon. Deshalb ist es wichtig, zunächst den Ozongehalt auszulesen und dann die Temperaturbestimmung vorzunehmen.



Lernschritte



Beobachtung, Beschreibung und Einordnung von Wolkenformen

Die Schüler lernen unterschiedliche Wolkenformen und deren Bezeichnungen kennen

Beurteilung des Bewölkungsgrads: eine Simulation

Die Schüler üben die Ermittlung des Bewölkungsgrades

Arbeit mit der Meßstation

In Gruppen lernen die Schüler, wie sich der Standort und die Eigenschaften der Meßstation auf die durchzuführenden Messungen auswirken

Niederschlag: Einfluß des Standortes auf das Meßergebnis

Die Schüler experimentieren mit der Anordnung einfacher Regenmesser, um Standorte zu bestimmen, an denen sich die genauesten Meßergebnisse erzielen lassen

Bau eines Thermometers

Dieser praktische Lernschritt vermittelt den Schülern die unterschiedlichen Abkühl- und Erwärmungsgeschwindigkeiten von Land und Wasser, die für unser Wetter größtenteils bestimmend sind

Wolkenbeobachtung

Die Schüler beobachten Wolken und Wetter und erkennen Zusammenhänge zwischen beiden Phänomenen



Beobachtung, Beschreibung und Einordnung von Wolkenformen

<p>Zweck Die Schüler sollen befähigt werden, Wolken zu beobachten und einen einheitlichen Wortschatz zu ihrer Beschreibung zu entwickeln. Zudem sollen Sie lernen, ihre Beschreibungen anhand der wissenschaftlichen Bezeichnungen der einzelnen Wolkenformen zu vergleichen.</p> <p>Übersicht Die Schüler beobachten und skizzieren die Bewölkung und beschreiben die Wolkenformen. Ausgehend von diesen individuellen Beschreibungen wird allmählich ein wissenschaftlich genaueres Begriffssystem entwickelt. Die Beschreibungen werden anhand der zehn Wolkentypen, die im Rahmen des GLOBE-Programms definiert sind, zu der Standardklassifikation in Beziehung gesetzt. Jeder Schüler führt dabei ein eigenes Wolkenjournal, das parallel zu der GLOBE-Wolkenkarte benutzt wird.</p> <p>Zeitaufwand Zwei Unterrichtsstunden. Diese Unterrichtseinheit kann an Tagen, an denen unterschiedliche Bewölkung herrscht, wiederholt werden.</p> <p>Niveau Alle Schüler</p>	<p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Erkennung von Wolken anhand ihrer Form, Höhe und Niederschlagseigenschaften</p> <p>Lerninhalte <i>Beobachtung und Beschreibung des Aussehens von Wolken</i> <i>Erkennung der zehn wichtigsten Wolkenformen</i> <i>Einschätzung der Wollenhöhe</i> <i>Aufzeichnung und Strukturierung von Wolkendaten im GLOBE-Arbeitsheft</i></p> <p>Hilfsmittel GLOBE-Wolkenkarte Wolkenform-Beobachtungsblätter (im Anhang) GLOBE-Arbeitsheft Nachschlagewerke mit Abbildungen der einzelnen Wolkenformen Fotoapparat oder Videokamera zur Dokumentation von Wolken (fakultativ)</p> <p>Vorbereitung Beschaffung eines Nachschlagewerks mit Abbildungen von Wolkenformen und Kennzeichnung der entsprechenden Seiten</p> <p>Voraussetzungen Keine</p>
--	--

Hintergrund

Jede präzise Wetterprognose beginnt mit einer sorgfältigen und systematischen Beobachtung. Dabei stellt das menschliche Auge noch immer eines der besten (und billigsten) Wetterbeobachtungsinstrumente dar. Der größte Teil unseres meteorologischen Wissens entstammt der direkten Beobachtung durch den Menschen, die sich seit Jahrtausenden fortsetzt. Die Erkennung von Wolken stellt an sich bereits ein interessantes Ziel dar - durch die regelmäßige Beobachtung der Bewölkung und die Dokumentation des Wetters, das bestimmten Wolkengattungen zuzuordnen ist, wird den Schülern jedoch zusätzlich der Zusammenhang zwischen Wolken und Wetter deutlich gemacht. Durch die richtige Einordnung einzelner Wolkenformen läßt sich eine kurzfristige Wettervorhersage treffen. Im Rahmen des GLOBE-Programms soll auf diese Zusammenhänge nicht näher eingegangen werden - es gibt jedoch



zahlreiche meteorologische Bücher, die dieses Wissen vermitteln können. Eine wirksame Methode, das Interesse der Schüler für Wolken und Wetterabläufe zu wecken, besteht auch darin, einen lokalen Meteorologen in den Unterricht einzuladen, um diesen Stoff im Gespräch zu vertiefen.

Im vorliegenden Lernschritt werden die Schüler aufgefordert, Wolken sorgfältig zu beobachten und zu skizzieren und sie mit ihren eigenen Worten zu beschreiben, *bevor* sie diese mit dem wissenschaftlichen Fachwort zu bezeichnen lernen. Dieser Schritt kann an verschiedenen Tagen, an denen unterschiedliche Bewölkungsbedingungen herrschen, wiederholt werden. Sofern es der Stundenplan erlaubt, empfiehlt es sich, zum Wolkenstudium ins Freie zu gehen, sobald eine neue Wolkengattung am Himmel auftaucht. Mit der Zeit lernen die Schüler die einzelnen Wolkenformen sehr gut kennen. Und wenn auch nicht immer die Möglichkeit besteht, bei jeder interessanten Wolkenformation mit den Schülern nach draußen zu gehen - auch die Beobachtung aus dem Fenster kann wertvolles Wissen vermitteln.

Die Schüler erstellen ihr eigenes Wolkenjournal

Jeder Schüler hat eine eigene Materialsammlung zum Thema Wolken und Wolkenformen zu erstellen. Dies kann sowohl in dem GLOBE-Arbeitsheft als auch in Form eines eigenen Wolkenhefts erfolgen. Jeder erkannten Wolkenform ist eine eigene Seite des GLOBE-Arbeitshefts zu widmen. Dabei können nicht nur eigene Beobachtungen und Beschreibungen dokumentiert, sondern auch selbstgemachte Fotos von Wolken oder Ausschnitte aus Büchern oder Zeitschriften eingeklebt werden. An manchen Tagen können die Schüler eventuell mehrere Wolkenformen gleichzeitig am Himmel beobachten. In diesem Fall ist jede einzelne Wolkenform auf einer separaten Seite des GLOBE-Arbeitshefts zu dokumentieren.

Erkennung und Einordnung von Wolkenformen

Das GLOBE-Protokoll enthält die Aufforderung, zehn verbreitete Wolkenformen bzw. Wolkengattungen zu identifizieren. Die Bezeichnungen dieser Wolkenformen richten sich nach drei Faktoren: ihrer Form, der Höhe ihres Auftretens sowie der Tatsache, ob sie Niederschläge erzeugen oder nicht.

1. Man unterteilt Wolken zunächst in drei Grundformen:
Kumuluswolken (dichte Haufenwolken)
Stratuswolken (schichtförmig)
Zirruswolken (fasrig)
2. Wolken treten in drei Höhenschichten auf (speziell bezogen auf die Höhe der Wolkenuntergrenze):

"Hohe Wolken" (über 6.000 m). Diese Wolken werden mit dem Wortteil "Zirrus-" oder "Zirro-" bezeichnet.

- Zirrus
- Zirrokumulus
- Zirrostratus



"Mittelhohe Wolken" (2.000 - 6.000 m). Diese Wolken führen das Wortteil "Alto-" im Namen.

- Altokumulus
- Altostratus

"Niedrige Wolken" (unter 2.000 m): kein charakteristisches Präfix

Stratus

- Nimbostratus
- Kumulus
- Stratokumulus
- Kumulonimbus

☞ **Hinweis:** Die Untergrenze von Kumulus- und Kumulonimbuswolken kann zwar unterhalb von 2.000 m liegen, doch erreichen diese Wolken oft so mächtige Höhen, daß sie bis in das mittlere oder sogar obere Schichten hineinreichen. Diese Formen werden daher auch als "Haufenwolken" bezeichnet.

3. Wolken, deren Bezeichnung das Element "-nimbus" oder "Nimbo-" enthält, führen Niederschläge mit sich.

Hinweise zur Erkennung von Wolkenformen

Bei der Einordnung und Benennung von Wolken gemäß ihrer wissenschaftlichen Einstufung sind folgende Informationen hilfreich:

Fasrige Wolken, die hoch am Himmel stehen, gehören in jedem Fall zur Zirrus-Gruppe. Enthalten diese Zirruswolken Wellen oder Bällchen, so handelt es sich um Zirrokumulus. Bilden sie dagegen durchgehende Schichten, die in großer Höhe den ganzen Himmel zu überziehen scheinen, so spricht man von Zirrostratus.

Wolken im mittleren Stockwerk tragen Bezeichnungen, die mit dem Präfix "Alto-" beginnen. Liegen Sie schichtförmig vor, spricht man von Altostratus. Die aus Flocken oder Bällchen bestehende Form ("Schäfchenwolken") heißt Altokumulus.

Wolken, die sich in geringen Höhen (unter 2.000 m) bilden, gehören zur Kumulus- oder Stratusfamilie. Wolken aus der Kumulusfamilie bilden quellende Haufen, wogegen diejenigen aus der Stratusfamilie in Schichtform auftreten und große Teile des Himmels überziehen können.

Niedrighängende Wolken, die dunkel und bedrohlich wirken und Regen erzeugen, tragen das Wortelement "-nimbus" im Namen. Nimbostratuswolken bedecken in breiter Schicht den gesamten Himmel und verursachen lange Regenfälle. Ihre Ausdehnung ist horizontal größer als in vertikaler Richtung. Der Regen aus Nimbostratuswolken ist in der Regel nur leicht bis mittelstark, erstreckt sich jedoch über große Flächen und hält relativ lange an. Kumulonimbuswolken sind im Bereich ihrer Untergrenze dunkel, nach oben jedoch bauschig aufgetürmt und oft amboßartig ausgebreitet. Sie werden oft als "Gewitterwolken" bezeichnet und erzeugen starke Niederschläge, die typischerweise von Blitz und Donner begleitet werden.



Der Einsatz von Fotos

Es dürfte nicht schwerfallen, Fotos von Wolken in Büchern, Karten und Zeitschriften zu finden. Den Schülern macht es jedoch mehr Spaß, selbst zu fotografieren. Führen Sie diese Aktivität erst ein, nachdem die Schüler die Wolken gezeichnet und mit eigenen Worten beschrieben haben. Auch Videoaufnahmen von Wolken in der Bewegung können neue Perspektiven der Wolkenbildung und des Wolkenverhaltens eröffnen, vor allem wenn mit Zeitraffer und Stativ gearbeitet wird.

Teil 1: Beschreibung von Wolken mit eigenen Worten

Inhalt und Vorgehensweise

1. Teilen Sie die Gruppe in Teams von je zwei Schülern auf. Senden Sie sie mit ihren GLOBE-Arbeitsheften ins Freie, um an einem Ort mit guter Sicht die Wolken zu beobachten. Jeder Schüler muß eine detaillierte Skizze der Bewölkung anfertigen. Wenn am Himmel unterschiedliche Wolkenformen zu sehen sind, ist jede Wolkenform auf einer separaten Seite des Journals zu skizzieren.

Neben seiner Skizze dokumentiert jeder Schüler das Datum und die Uhrzeit und beschreibt das Aussehen dieser Wolken. Dieser Beschreibungstext kann so lang sein, wie der Schüler für nötig hält, um das Aussehen dieser Wolken schriftlich zu fixieren. Betonen Sie dabei, daß es weder richtige noch falsche Lösungen gibt und alle Worte, die die Schüler für geeignet halten, verwendet werden dürfen. Einige typische Antworten:

Größe: klein, groß, schwer, leicht, dicht, dick

Form: flauschig, faserig, wattig, bauschig, zerrissen, glatt, fleckig, dicht, ausgefranst, sieht aus wie

Farbe: grau, schwarz, weiß, silbrig, milchig

Beschreibung: Gewitterwolken, bedrohlich, bedrückend, düster, schön, langgestreckt, schön, streifig, dunstig, bauschig, verteilt, beweglich, verwirbelt

3. Nach der Rückkehr ins Klassenzimmer setzen sich die Schülerpaare zusammen, um ihre Beschreibungen auszutauschen. Bitten Sie jeweils eine Gruppe von vier Schülern, eine "Gruppenliste" aller Wörter zusammenzustellen, die sie zur Beschreibung der beobachteten Wolkenformen verwendet haben. Dabei sollen diejenigen Wörter ausgewählt werden, die nach Meinung dieser Schüler das Aussehen der beobachteten Wolken am besten wieder-geben.
4. Lassen Sie die Schüler anhand der GLOBE-Wolkenkarte ihre Skizzen dem jeweils ähnlichsten Foto zuordnen und neben ihrer Skizze den wissenschaftlichen Namen dieses Wolkentyps notieren.



Schritt 2: Vergleich zwischen eigener und wissenschaftlicher Beschreibung

Inhalt und Vorgehensweise

1. (Wenn Sie es für richtig halten, kann diese Diskussion erst eingeleitet werden, nachdem die Schüler Beschreibungen mehrerer verschiedener Wolkengattungen gesammelt haben).

Diskutieren Sie mit der Klasse. Bitten Sie eine Gruppe von vier Schülern, eine Wolkenform auf der Tafel zu zeichnen und die von ihrer Gruppe zur Beschreibung dieser Wolkenform gesammelten Wörter aufzuschreiben. Wenn bereits mehrere Wolkenformen beobachtet wurden, lassen Sie jeweils eine Gruppe einen separaten Wolkentyp darstellen. Fordern Sie die übrigen Gruppen auf, weitere Wörter beizutragen, die sie zur Beschreibung dieser Wolkenform verwendet haben.

Bitten Sie die Schüler, die von ihnen benutzten Wörter zu Wortfeldern zusammenzustellen, die jeweils zusammenpassen. Fordern Sie sie auf, bestimmte Eigenschaften der Wolken (z.B. Größe, Form, Farbe, Höhe, sonstige Merkmale) zu nennen, auf die sich diese Wortfelder beziehen. Stellen diese Wortfelder die wichtigsten Wolkenmerkmale dar, auf die ein Beobachter nach Ansicht der Schüler achten sollte? Gibt es zusätzliche Merkmale dieser Wolken, die vergessen wurden? Nach welchen Kriterien haben die Schüler nach ihrer Meinung die Begriffe geordnet, d.h. welche Eigenschaften der Wolken wurden berücksichtigt?

2. Bitten Sie die Schüler, die "wissenschaftlichen" Namen der auf der Tafel abgebildeten Wolken zu nennen. Erklären Sie, daß das einheitliche System zur Bezeichnung der Wolken-gattungen auf drei Kriterien basiert (Form, Höhe und Niederschlag). Vergleichen Sie das wissenschaftliche System mit demjenigen, das von den Schülern selbst erarbeitet wurde. Welche Merkmale werden in jedem dieser Systeme berücksichtigt bzw. nicht berücksichtigt?

Lassen Sie die Schüler angeben, welche ihrer eigenen Worte sie zur Beschreibung folgender Wolkenfamilien benutzen würden:

Stratuswolken
Kumuluswolken
Zirruswolken
Nimbuswolken

3. Wiederholen Sie das Beobachten, Skizzieren und Beschreiben verschiedener Wolkenformen an weiteren Tagen, sobald sich neue Wolkenbilder am Himmel zeigen. Lassen Sie die Schüler für jede beobachtete Wolkenform eine separate Seite ihres GLOBE-Arbeitshefts bearbeiten. Die Schüler sollen dabei sowohl den wissenschaftlichen Namen als auch ihre bevorzugte eigene Bezeichnung der jeweiligen Wolkenform notieren. Gehen Sie dabei immer wieder auf die Grundlagen des wissenschaftlichen Klassifikationssystems ein.

Variationen für jüngere bzw. ältere Schüler



Jüngere Schüler können sich bei der Beschreibung der Wolkenformen auf die Grundfamilien (Zirrus, Kumulus, Stratus), Höhe (niedrig, mittel, hoch), Form (groß, klein) und Farbe (weiß, grau, schwarz) beschränken.

Ältere Schüler können die einzelnen Wolkenformen zu bestimmten Arten von Wetter in Beziehung setzen (siehe Lernschritt "Wolkenbeobachtung"). Zudem können Sie die Abfolge bestimmter Wolkenformen berücksichtigen und sich mit den für die Entstehung dieser Wolken verantwortlichen Faktoren befassen.

Dieser Lernschritt bietet auch interessante Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit einem Zeichen- oder Literaturlehrer, die beide eine andere (vielleicht gänzlich unwissenschaftliche) Perspektive der Wolkenbeschreibung beizutragen haben.

Weitere Untersuchungen

Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Wind und Wolken. Lassen Sie zu jeder beobachteten Wolkenform die Windrichtung und Windgeschwindigkeit protokollieren. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Wasserkreislauf und atmosphärischen Bedingungen.

Fotos, die von Satelliten und Raumfähren aufgenommen wurden, liefern Erkenntnisse über atmosphärische Abläufe und übergeordneter Phänomene, die sich vom Boden aus nicht beobachten lassen. Verwenden Sie solche Weltraumfotos, um Wettervorhersagen zu treffen oder die Bewegung von Stürmen nachzuvollziehen. Wägen Sie die Vor- und Nachteile des Einsatzes solcher Weltraumbilder gegenüber der Verwendung lokaler meteorologischer Informationen und Daten ab.

Verfolgen Sie die Bewegung von Stürmen und Wolken aus der Entfernung, um ein lokale Wetterbedingungen verständlich zu machen. Beobachten Sie Wolken und Ihre Entstehung mit dem Fernglas aus der Entfernung. Stellen Sie anhand geographischer Karten Ihrer Region die Entfernung dieser Wolken sowie die Geschwindigkeit der Wolkenbewegung fest.

Erarbeiten Sie wolkenbezogene Spiele, um Erkennungsfähigkeiten und Begriffe einzuüben:

Wolkenspiel 1: Lassen Sie jeden Schüler auf einem Satz Karteikarten im Format von etwa 7,5 x 13 cm die Namen der zehn Wolkengattungen notieren. Ein zweiter Satz besteht aus Karten mit Abbildungen dieser zehn Gattungen. Je zwei Schüler ordnen Namens- und Bildkarten einander zu und legen die bereits zugeordneten Karten verdeckt ab. Die Schüler decken dabei abwechselnd immer zwei Karten auf und versuchen, ein zueinander passendes Paar zu finden. Wer zwei Karten aufdeckt, die zusammengehören, darf weiter spielen. Das Spiel wird solange fortgesetzt, bis alle passenden Paare abgelegt sind. Wer die meisten passenden Paare aufgedeckt hat, gewinnt.

Wolkenspiel Nr. 2: Die Schüler erarbeiten gruppenweise Fragen zum Thema "Wolken" (Aussehen, Form, Höhe, Bewölkungsgrad). Auf Karteikarten im Format von etwa 7,5 x 13 cm werden die Antworten notiert. So ist z.B. "aufgebrochene Bewölkung" die Antwort auf die Frage "Wie bezeichnet man den Bewölkungsgrad, bei dem zwischen 1/10 und der Hälfte des Himmels mit Wolken bedeckt ist?" Teilen Sie die Klasse in mehrere Spielergruppen auf. Die Spieler müssen jeweils die richtige Frage zu der auf der Karte notierten Antwort stellen (s.o.).



Beurteilung des Bewölkungsgrads: eine Simulation

<p>Zweck Die Schüler sollen ein Verständnis für die Problematik der visuellen Einschätzung des prozentualen Bewölkungsgrades entwickeln und diese anhand einer Simulation mit Papier einüben. Dabei soll ihnen zugleich ein Sinn für die Genauigkeit ihrer Beurteilungen vermittelt werden.</p> <p>Übersicht Die Schüler führen paarweise oder in Kleingruppen Übungen zum Bewölkungsgrad mit Zeichenpapier durch. Sie beurteilen den prozentualen Bewölkungsanteil und ordnen ihn einem Klassifikationssystem zu.</p> <p>Zeitaufwand Eine Unterrichtsstunde</p> <p>Niveau Mittleres und fortgeschrittenes Niveau</p>	<p>Voraussetzungen Vertrautheit mit dem System der Wolkenklassifikation Kenntnisse in Bruch- und Prozentrechnung</p> <p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte</p> <p>Begriffe Beurteilung der Genauigkeit von Beobachtungen anhand einer Simulation</p> <p>Lerninhalte <i>Beurteilung des simulierten Bewölkungsgrades</i> <i>Kommunikation mathematischer Ergebnisse</i> <i>Sammlung und Aufzeichnung von Daten</i> <i>Strukturierung von Datenmaterial in Tabellen</i></p> <p>Hilfsmittel GLOBE-Arbeitsheft Bögen farbigen Zeichenpapiers (1 x blau, 1 x weiß pro Schüler) Klebestift oder Klebestreifen Seiten</p>
---	--

Hintergrund

Die Beurteilung des Bewölkungsgrades ist selbst für erfahrene Beobachter nicht immer einfach. Dies scheint teilweise dadurch bedingt zu sein, daß es uns schwerfällt, den Anteil offenen Raums zwischen verschiedenen Objekten zu dem Rauminhalt dieser Objekte (in diesem Fall der Wolken) zutreffend in Beziehung zu setzen. Den Schülern wird Gelegenheit gegeben, diesen potentiellen Wahrnehmungsfehler an sich selbst festzustellen, über seine Folgen für ihre wissenschaftliche Arbeit nachzudenken und Strategien zur Optimierung ihrer Beurteilung des Bewölkungsgrades zu entwickeln.

Inhalt und Vorgehensweise

Gehen Sie das Bewölkungsgrad-Protokoll mit den Schülern durch. Erläutern Sie, daß sie die Beurteilung des Bewölkungsgrades zunächst mit Zeichenpapier einüben werden, wobei der Anteil weißer Papierstücke auf blauem Hintergrund geschätzt werden soll. Demonstrieren Sie den Inhalt der nachstehenden Schritte 3 - 6, um den Schülern den Ablauf der Übung zu verdeutlichen.



1. Teilen Sie jedem Schüler das benötigte Material aus:
 - * 1 Bogen hellblaues Zeichenpapier
 - * 1 Bogen weißes Zeichenpapier, in 10 gleiche Segmente aufgeteilt
 - * GLOBE-Arbeitsheft
 - * Klebestift oder Klebestreifen
2. Teilen Sie die Klasse in Arbeitsgruppen von je 2 Schülern auf.
3. Fordern Sie jedes Schülerpaar auf, sich für einen prozentualen Bewölkungsgrad zu entscheiden, den es darstellen möchte. Der gewählte Prozentsatz muß durch zehn teilbar sein (z.B. 20%, 30%, 60% usw.), außerdem sind die Prozentsätze 5% und 95% zulässig. Jedes Schülerpaar behält die von ihm gewählte Prozentzahl für sich.
4. Jedes Schülerpaar schneidet für sich allein soviel von dem weißen Papier ab, wie seinem prozentualen Bewölkungsgrade entspricht. Hat sich dieses Schülerpaar z.B. für den Wert "30%" entschieden, so muß es 30% des weißen Papiers ausschneiden und die übrigen 70% beiseite legen.
5. Das ausgeschnittene weiße Zeichenpapier wird in unregelmäßige Stücke gerissen.
6. Die weißen Papierstücke werden mit Klebestift oder Klebeband auf den blauen Hintergrund geklebt - fertig ist der bewölkte Himmels.
7. Jedes Schülerpaar betrachtet die Arbeitsergebnisse aller anderen Paare und versucht zu schätzen, welchen prozentualen Bewölkungsgrad diese Gruppen jeweils dargestellt haben. Zugleich ordnet jedes Paar die dargestellten Bewölkungsgrade einer der vier Kategorien (wolkenfrei, aufgelockerte Bewölkung, aufgebrochene Bewölkung, geschlossene Wolken-decke) zu. In ihren Protokollheften dokumentieren die Schüler ihre Schätzungen anhand einer Tabelle, die etwa wie folgt aussieht:

Name	Geschätzter Bewölkungsgrad (%)	Kategorie
Klaus und Martina	40%	aufgelockerte Bewölkung
Peter und Michael	70%	aufgebrochene Bewölkung

Es brauchen nicht unbedingt alle Gruppen die Ergebnisse aller anderen Gruppen zu beurteilen; es kann auch eine Aufteilung innerhalb der Klasse getroffen werden.

8. Nachdem die Schüler die dargestellten Bewölkungsgrade beurteilt haben, vergleichen Sie anhand einer Tabelle auf der Tafel diese Beurteilungen mit den tatsächlichen Werten (siehe Abb. 1).



Name	Tatsächlicher Bewölkungsgrad (%)	Unter-schätzungen	Richtige Schätzungen	Über-schätzungen
Klaus & Martina	50	4	5	12

9. Erstellen Sie eine zweite Tabelle, die die Zahl der richtigen und falschen Zuordnungen zu den vier Bewölkungsklassen vergleicht (siehe Abb. 2)

Name	Richtige Zuordnung	Zu niedrige Zuordnung	Zutreffende Zuordnung	Zu hohe Zuordnung
Klaus & Martina	aufgebrochene Bewölkung	4	9	8

10. Diskutieren Sie die Genauigkeit der Beurteilungsergebnisse mit der Klasse.

Welche Beurteilungen waren genauer - diejenigen des prozentualen Bewölkungsgrades oder die Zuordnung zu den vier Klassen?

Wo gab es die größten Abweichungen?

Können sich die Schüler eine Methode zur Quantifizierung ihrer gemeinsamen Beurteilungsgenauigkeit vorstellen?

Besteht in der Klasse die Tendenz, den Bewölkungsgrad zu unter- oder überschätzen?

Welche Faktoren beeinflussen die Genauigkeit der Beurteilung (z.B. Größe der Wolken, Konzentration der Bewölkung in einem Teilbereich des Himmels, prozentualer Bewölkungsgrad)?

Glauben die Schüler, daß man für diese Art der Beurteilung "Talent haben" muß, oder daß sie einfach erlernbar ist?

Wo läßt sich diese Fähigkeit der räumlichen Beurteilung wohl sonst noch nutzbringend einsetzen?

Welche Bewölkungsklasse war am einfachsten zu erkennen? Und welche am schwersten?

Welcher Strategie schreiben die Schüler ihren Erfolg zu?



Welche Strategie würde wohl noch genauere Zuordnungen zu den vier Bewölkungsklassen hervorbringen?

Variationen für jüngere bzw. ältere Schüler

Jüngere Schüler benötigen eventuell Erklärungen zur Erkennung äquivalenter Brüche sowie zur Umrechnung einfacher Brüche in Prozentzahlen.

Ältere Schüler können tägliche Wetterprognosen erstellen und im Stil der Wettervorhersage örtlicher Fernsehsender auf Video aufnehmen. Diese "Sendung" könnte auch Aufnahmen der vorherrschenden Bewölkungsformen sowie Angaben zum prozentualen Bewölkungsgrad und den Sichtverhältnissen enthalten.



Untersuchungen an der Meßstation

Zweck

Vermittlung der Gründe für die Bauweise der Meßstation

Übersicht

Die Schüler werden mit einigen Eigenschaften der Meßstation sowie Kriterien für deren Standortwahl vertraut gemacht. Ein Großteil dieses Lernschritts besteht darin, Meßstationen mit unterschiedlichen Eigenschaften zu bauen und die Auswirkungen dieser Eigenschaften auf die Temperaturmessung zu ermitteln. Dabei sollten die Schüler jeweils vorhersagen, wie sich die verschiedenen Bauweisen der Meßstation wohl auswirken werden.

Zeitaufwand

Eine Unterrichtsstunde zur Besprechung der Meßstation und Erarbeitung eines Experiments. Zwei bis drei weitere Unterrichtsstunden für die Versuche mit den Meßstation-Modellen.

Niveau

Alle

Voraussetzungen

1 fertig montierte Meßstation

Wichtige Begriffe und Lerninhalte

Begriffe

Wärmeübertragung durch Strahlung, Leitung und Konvektion

Lerninhalte

Erarbeitung von *Hypothesen* und *Prognosen*
Erarbeitung eines Versuchsaufbaus
Sammlung von Daten
Strukturierung und Analyse von Daten
Mündliche und schriftliche *Darstellung* von Versuchsergebnissen

Hilfsmittel

Mindestens zwei Meßstationen aus Pappe (je nach Anzahl der zu untersuchenden Eigenschaften und Materialverfügbarkeit).

Hierzu eignen sich auch fertige Behälter wie z.B. Cornflakes- oder Shuhkartons. Optimale Ergebnisse werden erzielt, wenn alle bei diesen Versuchen verwendeten Meßstationen identisch sind, damit Größe und Form keine Rolle spielen. Wenn lediglich Kartonpappe verfügbar ist, können die Meßstationen für diese Experimente nach einem zuvor vereinbarten Plan hergestellt werden. Für jedes zu untersuchende Merkmal werden mindestens zwei Meßstationen aus Pappe benötigt.

Je nach Anzahl der zu untersuchenden Merkmale sollte folgendes Material vorhanden sein:

Weißer und schwarzer Farbe (zur Untersuchung des Farbeinflusses). Zwei Pinsel (bei Verwendung von Farbe)

Kartonschere (wenn die Modelle der Meßstation aus Karton hergestellt werden müssen, aber auch zum Einschneiden von Schlitz in die Meßstation)

Papier (zum Vergleich der Auswirkungen verschiedenartigen Materials)

Mindestens zwei Thermometer pro Schülergruppe (je nach Anzahl der gleichzeitig zu untersuchenden Eigenschaften)

Paketschnur

Ein oder mehrere Pfähle, die stark genug sind, um sich in den Boden rammen zu lassen und die Meßstation zu tragen (Meßstation kann an den Pfahl genagelt werden)

Nägeln (ggf. zum Annageln der Meßstation)

Hammer, Meterstab

Original-GLOBE-Meßstation. Wenn diese Original-Meßstation nicht verfügbar ist, sollten die Schüler zumindestens über eine Abbildung und Beschreibung dieser Meßstation verfügen.

Vorbereitung

Zum Bau der Meßstation vorhandenes Material zusammenstellen. Eventuell sind die Schüler aufzufordern, Cornflakes- oder Shuhkartons von zuhause mitzubringen.



Hintergrund

Es mag den Anschein haben, als sei die Messung der Lufttemperatur eine recht elementare Sache. Bei einer Messung, die von vielen Menschen in aller Welt durchgeführt wird, versteht sich die Vergleichbarkeit der Meßergebnisse jedoch keinesfalls von selbst. Um ein Verständnis der gemessenen Temperaturen zu gewinnen, müssen alle Messungen unbedingt unter gleichen Bedingungen ausgeführt werden. Einflüsse wie z.B. Wind, direkte Sonneneinstrahlung und Feuchtigkeit beeinflussen die Funktion eines Thermometers - aus diesem Grund müssen wir diese Instrumente in eine Meßstation einbauen, die bestimmte Kriterien erfüllt. Auch der Standort dieser Meßstation sowie die Montage des Thermometers in ihrem Inneren sind von kritischer Bedeutung.

Wir müssen uns darauf verlassen können, daß die aus den einzelnen Regionen gemeldeten Temperaturunterschiede die tatsächlichen Temperaturverhältnisse vor Ort wiedergeben und nicht etwa darauf zurückzuführen sind, daß z.B. ein Thermometer in einem Schutzhäuschen mitten auf einer Wiese, ein anderes dagegen unter direkter Sonneneinstrahlung an einem Fenster aufgehängt ist.

Inhalt und Vorgehensweise

1. Tag

1. Beginnen Sie die Diskussion, indem Sie die Schüler fragen, welche Hauptmerkmale der GLOBE-Meßstation wohl die Temperatur im Inneren dieser Meßstation einflussen. Zu nennen wären u.a.

- die Farbe der Meßstation.
- die Schlitze an der Meßstation.
- das Material der Meßstation (Holz).

Das Gespräch sollte sich der Frage zuwenden, weshalb die Schüler diese Merkmale für wichtig halten.

2. Im Anschluß an die physikalischen Merkmale der Meßstation sollten der Standort der Meßstation sowie die Lage des Thermometers in seinem Inneren thematisiert werden. In diesem Zusammenhang sind folgende Fragen zu stellen:

- Warum ist die Meßstation in angemessener Entfernung von Häusern und Bäumen aufzustellen?
- Weshalb sollte sie an einem Ort mit natürlicher Bodenoberfläche (z.B. Gras) aufgestellt werden?
- Warum sollte sie 1,5 m über Bodenniveau hängen?
- Warum muß die Meßstation so ausgerichtet werden, daß ihre Tür auf der Nordhalbkugel der Erde nach Norden, auf der Südhalbkugel dagegen nach Süden weist?
- Warum darf das Thermometer die Meßstation nicht berühren?

Die Schüler sollten jeweils angeben, wie sich jedes der vorgenannten Kriterien



auf die Temperaturmessung auswirkt. Diese Hypothesen sollen dann überprüft werden.

1./2. Tag (je nach Dauer der Diskussion)

1. Teilen Sie die Klasse in mehrere Gruppen auf. Die Zahl der Gruppen richtet sich danach, wieviele Eigenschaften untersucht werden sollen und wieviel Material verfügbar ist. Zur Untersuchung der vorgenannten acht wichtigsten Einflußfaktoren können bis zu acht Gruppen gebildet werden.
2. Jede Gruppe baut zwei Meßstationen. Diese Aufgabe läßt sich durch Verwendung fertiger Behälter (z.B. Cornflakes- oder Schuhkartons) erheblich vereinfachen; denkbar ist jedoch auch der schwierigere Weg, die Meßstationen aus Pappbögen herzustellen.

Bei der Herstellung der Meßstationen aus Pappbögen kommt es weniger auf die Bauweise (z.B. rund oder rechteckig) als auf die Tatsache an, daß alle Meßstationen von möglichst gleicher Form und Größe sein sollten.

3. Jeder Gruppe wählt eine Eigenschaft, die sie untersuchen möchte (alternativ können die Eigenschaften vom Lehrer zugewiesen werden). Diejenigen Gruppen, die sich mit den physikalischen Eigenschaften der Meßstation befassen, müssen diese noch weiter bearbeiten. Folgende Maßnahmen können u.a. erforderlich werden, um die Eigenschaften der Meßstation zu untersuchen:
 - Anstrich einer Meßstation mit schwarzer Farbe und einer anderen mit weißer Farbe.
 - Herstellung einer Meßstation *mit* Schlitzen und einer Meßstation *ohne* Schlitze (jedoch beide Meßstationen weiß lackiert)
 - Bei Verwendung fertiger Kartons: Bau einer Meßstation aus weißem Papier, die der Kartonausführung in Form und Abmessungen identisch ist. Die Meßstation aus Kartonpappe ist weiß anzustreichen.
4. Alle Meßstationen sind an Pfählen zu montieren (außer bei der Gruppe, die die Auswirkungen der Montagehöhe der Meßstation über dem Boden untersucht). In den meisten Fällen genügt es, wenn der Pfahl eine Länge von 1 m aufweist. Die Gruppe, die die Höhe der Meßstation über dem Boden untersucht, sollte eine Meßstation auf dem Boden, die andere jedoch in ca. 1,5 m Höhe an einem Pfahl befestigen.

Jede Gruppe erhält zwei Thermometer. Vor dem Einbau der Thermometer in die Meßstationen sollten sich die Schüler vergewissern, daß alle Instrumente im geschlossenen Raum dieselbe Temperatur anzeigen. Falls nicht, müssen die Thermometer erst gemäß den Anweisungen in den Atmosphäre-Protokollen kalibriert werden. Die Thermometer dürfen erst unmittelbar vor der Montage der Meßstationen im Freien in die Meßstationen eingebaut werden.

3./4. Tag

1. Wählen Sie einen im wesentlichen sonnigen Tag. Im Idealfall sollte ein leichter Wind gehen. Ein Tag, an dem der Himmel verhangen ist oder Regen bzw. Schnee fällt, ist für die Versuchsdurchführung nicht geeignet.
2. Jede Gruppe notiert die Ausgangstemperaturen ihrer Thermometer (die Werte sollten wieder identisch sein).



3. Die Thermometer sind so in den Meßstationen zu befestigen, daß sie den Karton (bzw. das Papier) an keiner Stelle berühren (außer wenn es der Gruppe darum geht, die Auswirkungen einer solchen Wandberührung festzustellen). Wenn fertige Kartons verwendet werden, kann das Thermometer einfach an einer Schnur am Deckel der Meßstation aufgehängt werden.
4. Jede Gruppe bringt seine beiden Meßstationen mit den darin befestigten Thermometern ins Freie. Gruppen, die die physikalischen Eigenschaften der Meßstation (Farbe, Schlitz, Material) untersuchen sollen, suchen sich eine freie Fläche in ausreichendem Abstand von jeglicher Bebauung - vorzugsweise auf einem offenen Feld. Gruppen, die den Einfluß des Standortes der Meßstation analysieren sollten, teilen sich in je zwei Untergruppen auf, von denen eine ihre Meßstation an einem geeigneten Ort (Grasfläche, keine nahen Gebäude) aufstellt und die andere einen weniger idealen Standort wählt.
 - Eine Meßstation an einem idealen Standort, eine andere nahe der Sonnenseite eines Gebäudes.
 - Eine Meßstation an einem idealen Standort, eine andere mitten auf einem Parkplatz oder einer anderen gepflasterten oder asphaltierten Fläche.
 - Eine Meßstation in 1,5 m Höhe über Grund, die andere auf dem Boden am Fuße des Pfahls.
 - Eine Meßstation mit nach Norden weisender Tür, die andere in unmittelbarer Nähe, jedoch mit nach Süden weisender Tür
5. Etwa 5 Minuten nach Montage der Meßstationen sollten die Schüler die Temperaturanzeige jedes Thermometers erstmals notieren. Nach weiteren fünf Minuten ist diese Protokollierung zu wiederholen. Das Ablesen der Temperatur ist dann in fünfminütigen Abständen fortzusetzen, bis sich die Temperatur in der Meßstation soweit stabilisiert hat, daß zwei aufeinanderfolgende Messungen keine Temperaturveränderung mehr ergeben. Dies braucht nicht unbedingt bei beiden Thermometern gleichzeitig der Fall zu sein, d.h. es ist durchaus möglich, daß ein Thermometer die Höchsttemperatur schneller als das andere erreicht. Aus diesem Grund ist es wichtig, stets beide Instrumente abzulesen.
6. Nachdem sich die Temperatur in beiden Meßstationen stabilisiert hat, können die Schüler ihre Meßstationen sowie ihre Temperaturaufzeichnungen in die Klasse zurückbringen.
7. Jede Gruppe berichtet vor der Klasse kurz ihre Ergebnisse. Danach werden die Ursachen diskutiert.
8. Jede Gruppe schreibt einen kurzen Bericht. Dieser sollte sowohl die aufgezeichneten Temperaturen als auch eine kurze Diskussion der Ergebnisse enthalten, aus der hervorgeht, wie und warum sich die im Einzelfall untersuchte Einflußgröße auf die Temperatur ausgewirkt hat.



Variationen für jüngere bzw. ältere Schüler

Für jüngere Schüler kann die Anzahl der untersuchten Variablen auf Farbe, Schlitz, Standort (auf offener Fläche bzw. in Gebäudenähe) und Untergrund (Erdboden/Beton) beschränkt werden. Die Meßstationen können einfach auf den Boden gestellt werden (anstelle der Pfahlmontage), solange dies für *alle* Thermometer gilt und die Einheitlichkeit der Meßbedingungen damit gewährleistet bleibt.

Ältere Schüler können untersuchen, welche der betrachteten Einflußgrößen die wichtigste Rolle spielt, und zu diesem Zweck in jeder Kategorie mehr als zwei Meßstationen anfertigen. Um z.B. festzustellen, ob die Farbe der Meßstation das Ergebnis mehr beeinflusst als die Schlitz, könnten sie eine schwarze und eine weiße Meßstation ohne Schlitz sowie eine schwarze und eine weiße Meßstation mit Schlitz herstellen. Lassen Sie die Schüler einmal selbst ermitteln, wieviele derartige Kombinationen realisierbar sind, und welcher Parameter den größten Einfluß auf den Temperaturmeßwert hat. Es besteht auch die Möglichkeit, das Verhalten von Meßstationen verschiedener Bauweise unter verschiedenen Einsatzbedingungen zu vergleichen (z.B. einem klaren und einem trüben Tag oder bei Windstille und starkem Wind).

Leistungsbeurteilung

Das Verständnis der Bedeutung von Bauweise und Standort der Meßstation ist anhand folgender Faktoren zu beurteilen:

- Schlußfolgerungen, zu denen die Schüler in ihren mündlichen und schriftlichen Beiträgen gelangen
- In der Klassendiskussion gezeigtes Verständnis
- Fähigkeit zur Verarbeitung von weiterführender Fragen wie z.B. "Was wären die Folge, wenn sich die weiße Meßstation mit einer dichten Staubschicht überziehen würde?"



Bau eines Thermometers

Zweck

Vermittlung eines Verständnisses der Funktionsweise eines Standardthermometers

Übersicht

Die Schüler bauen ein Limonadeflaschen-Thermometer, das dem von den GLOBE-Schulen verwendeten Thermometer sehr ähnlich ist. Beide beruhen auf dem Prinzip, daß sich die meisten Stoffe mit wechselnder Temperatur ausdehnen bzw. zusammenziehen. Zugleich verdeutlicht dieses Experiment das Prinzip der Wärmeübertragung.

Zeitaufwand

Zwei Unterrichtsstunden

1. Ausführung des Experiments: 1 Unterrichtsstunde
2. Besprechung der Grundlagen von Ausdehnung und Kontraktion sowie der Wärmeübertragung durch Wärmeleitung und Konvektion - 15 bis 30 Minuten
3. Aufzeichnung der in der Klasse gesammelten Daten auf Tafel oder Overheadfolie und Zeichnung von Kurven - 30 Minuten
4. Präsentation jeder Gruppe vor der Klasse (Ergebnisse, Ideen für andere zu prüfende Einflußgrößen, festgestellte Probleme) - 30 Minuten

Niveau

Mittleres Niveau

Voraussetzungen

keine

Wichtige Begriffe und Lerninhalte

Begriffe

Ausdehnung und Schrumpfung von Substanzen bei Temperaturwechsel
Wirkungsweise von Flüssigkeitsthermometern nach dem Prinzip der Wärmeausdehnung und Kontraktion
Wärmeleitung und Konvektion als zwei zentrale Formen der

Zwei Kunststoff-Limonadeflaschen (Inhalt 2 l), Oberteile abgeschnitten

Schere oder Messer zum Abschneiden der Oberteile der 2-l-Plastikflaschen

Lebensmittelfarbe (vorzugsweise rot, blau und grün - gelb ist weniger geeignet)

Armband- oder Standuhr mit Sekundenzeiger

Lineal mit metrischer Unterteilung

Filzstift, Fettstift oder Kugelschreiber zur Markierung des Flüssigkeitsstandes auf dem Trinkhalm

Lernschritt-Begleitblatt "Bau eines Thermometers"

Vorbereitung

1. Es empfiehlt sich, Gruppen von jeweils 2 - 3 Schülern zu bilden. Innerhalb der Gruppe hat sich folgende Aufgabenverteilung bewährt:

Schüler 1 : Monteur - sammelt Material und baut das Thermometer zusammen

Schüler 2 : Zeitnehmer/Berichterstatter - verfolgt die zweiminütigen Intervalle zu Beginn des Experiments, markiert die Wasserbewegung auf dem Trinkhalm, vermisst am Ende des Experiments den Flüssigkeitsstand im Trinkhalm, meldet die Ergebnisse dem Protokollführer und teilt der Klasse die Versuchsergebnisse mit.

Schüler 3 : Protokollführer - notiert die vom Zeitnehmer abgelesenen Werte und überträgt die Meßergebnisse der Gruppe in die Datenblätter.

2. Vervielfältigen Sie das Lernschritt-Begleitblatt "Bau eines Thermometers", so daß jede Gruppe ein Exemplar erhält.

3. Die Sammlung des Materials vor Beginn des Unterrichts sollte durch den Lehrer erfolgen. Wenn die Arbeit in Kleingruppen durchgeführt werden soll, empfiehlt es sich, Gruppen und Aufgabenverteilung rechtzeitig im voraus festzulegen. Die Ein- und Zweiliter-Limonadeflaschen sollten von den Schülern mitgebracht werden. Rechnen Sie in diesem Fall für die Sammlung des



<p>Wärmeübertragung</p> <p>Lerninhalte</p> <p>Bau einer Versuchsanordnung Durchführung eines Experiments Beobachten und Messen Sammlung, Strukturierung und Aufzeichnung von Daten Produktive Gruppenarbeit</p> <p>Hilfsmittel (pro Schülergruppe)</p> <p>Eis Wasser Eine Kunststoff-Limonadeflasche (Inhalt 1 l) Trinkhalm aus durchsichtigem oder weißem Kunststoff Töpferton. 1 Tonblock von 0,5 kg Gewicht sollte zur Herstellung von 25 - 30 Thermometern ausreichen</p>	<p>benötigten Materials etwa eine Woche ein. Überlegen Sie sich mögliche Schwierigkeiten, bevor Sie das Experiment in der Klasse durchführen.</p> <p>4. Machen Sie sich mit den Grundlagen der Wärmeübertragung (Wärmeleitung und Konvektion) sowie der thermischen Dehnung und Schrumpfung von Werkstoffen gründlich vertraut. In der Diskussion dürfte es sich als hilfreich erweisen, anwendungs-bezogene Beispiele zu den einzelnen Begriffen parat zu haben.</p> <p>5. Eventuell kann es erforderlich werden, die Durchführung von Messungen in Millimetern vorab noch einmal mit den Schülern zu üben.</p>
---	--

Arbeitsgruppen-Datenblatt

Maßeinheit: mm

2 Minuten	
4 Minuten	
6 Minuten	
8 Minuten	
10 Minuten	

Klassen-Datenblatt

	Gruppe A	B	C	D	Durchschnitt
2 Minuten					
4 Minuten					
6 Minuten					
8 Minuten					
10 Minuten					



Hintergrund

Weitere Informationen zur Funktionsweise von Thermometern sind dem Abschnitt "Atmosphäre und Klima in der praktischen Beobachtung" im Begrüßungskapitel zu entnehmen.

Das Limonadeflaschen-Thermometer unterscheidet sich von den im Rahmen des GLOBE-Programms verwendeten Thermometern in einigen Punkten. Beide arbeiten mit anderen Flüssigkeiten. Zudem stellt das Flaschenthermometer kein geschlossenes System dar und weist keine numerische Skala auf.

Bei diesem Lernschritt machen wir uns eine Reihe wissenschaftlicher Grundsätze zunutze. Eines davon ist das Prinzip der thermischen Ausdehnung und Schrumpfung. Die meisten Substanzen dehnen sich bei Erwärmung aus und ziehen sich bei Abkühlung wieder zusammen. In dem bei diesem Versuch betrachteten Temperaturbereich gilt dies auch für Wasser - auch wenn sich dies bei der Annäherung an den Gefrierpunkt wieder ausdehnt.

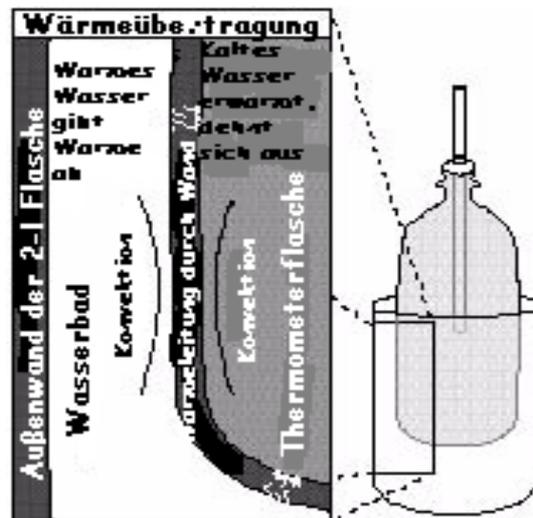


Abb. 2-6

Stoffe dehnen sich bei Erwärmung aus, weil ihre kinetische Energie (Bewegungsenergie) mit der Temperatur ansteigt. Die Moleküle bewegen sich schneller und entfernen sich weiter voneinander, so daß das Materialvolumen zunimmt. Bei der Abkühlung vermindert sich die Molekularbewegung wieder, so daß sich das Material zusammenzieht

Der Ausdehnungskoeffizient von Wasser ist allerdings recht klein, d.h. das Wasservolumen nimmt nur um einen geringen Prozentsatz zu. Da die gesamte Volumenzunahme jedoch in dem engen Trinkhalm konzentriert wird, ist sie dennoch sichtbar.

Der Versuch verdeutlicht zugleich das Prinzip der Wärmeübertragung durch Leitung und Konvektion. Wärmeleitung findet statt, wenn sich Energie von einem Molekül zum nächsten überträgt, z.B. wenn der Metallgriff einer Pfanne heiß wird. Metalle sind gute Wärmeleiter. Holz leitet Wärme dagegen nur sehr schwach. Konvektion ist der Vorgang der Wärmeübertragung durch einen Fließstoff (Flüssigkeit oder Gas). Die Molekülbewegung, die der Wärmeübertragung im Wasser zugrundeliegt, stellt ein Beispiel für Konvektion dar (siehe Abb. 1).



Im vorliegenden Experiment wird die in dem warmen Wasser des äußeren Behälters enthaltene Energie mittels Wärmeleitung durch die Kunststoffwand der Einliterflasche hindurch in das in dieser inneren Flasche enthaltene Wasser transportiert. In den Wasserschichten beiderseits der Kunststoffwand findet ein ständiger Prozeß des Wärmegewinns und Wärmeverlusts durch Konvektion statt. Diese Konvektion sorgt dafür, daß sich die gewonnene Wärme über die in der Einliterflasche enthaltene Wassermasse verteilt. Dies kann einige Zeit dauern, bewirkt jedoch, daß sich das Wasser in der inneren Flasche früher oder später ausdehnt und damit in dem Trinkhalm nach oben steigt.

Inhalt und Vorgehensweise

Diese Unterrichtseinheit kann in Form einer Vorführung (Frontalunterricht) präsentiert werden. Der didaktische Wert dürfte jedoch höher sein, wenn die Schüler einzeln oder in Gruppen ihre eigenen Thermometer bauen. (Diese Hinweise erscheinen auch auf dem Lernschritt-Begleitblatt "Bau eines Thermometers").

Bau eines Thermometers

1. Befüllen Sie die Einliter-Limonadeflasche bis ganz zum Rand mit kaltem Leitungswasser.
2. Fügen Sie vier Tropfen des Lebensmittelfarbstoffs hinzu, damit das Wasser deutlicher sichtbar wird. Am geeignetsten sind die Farben blau, grün und rot.
3. Rollen Sie ein Stück Töpferton zu einer Kugel von etwa 25 mm Durchmesser. Formen Sie aus dieser Kugel eine Stange, deren Länge und Durchmesser etwa einem Kugelschreiber entspricht. Walzen Sie diese Stange zu einem dicken Band aus, das Sie in der Mitte um den Trinkhalm wickeln (Abb. 2).

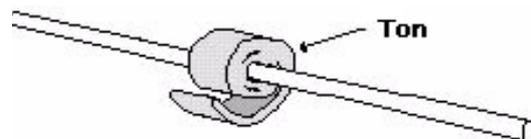


Abb. 2

4. Stecken Sie den Trinkhalm in die Flasche und dichten Sie die Flasche oben mit dem Tonstreifen ab. Achten Sie darauf, daß der Trinkhalm nicht gequetscht wird. Die Tondichtung darf keine Löcher oder Risse aufweisen, durch die Wasser entweichen kann. Eine Hälfte des Strohhalms befindet sich im Inneren der Flasche, die andere Hälfte ragt außen heraus. Drücken Sie die Tondichtung anschließend soweit in den Flaschenhals hinein, daß das Wasser in den Trinkhalm bis auf ein sichtbares Niveau steigt (siehe Abb. 3). Markieren Sie diesen Flüssigkeitsstand außen am Trinkhalm.



Versuch

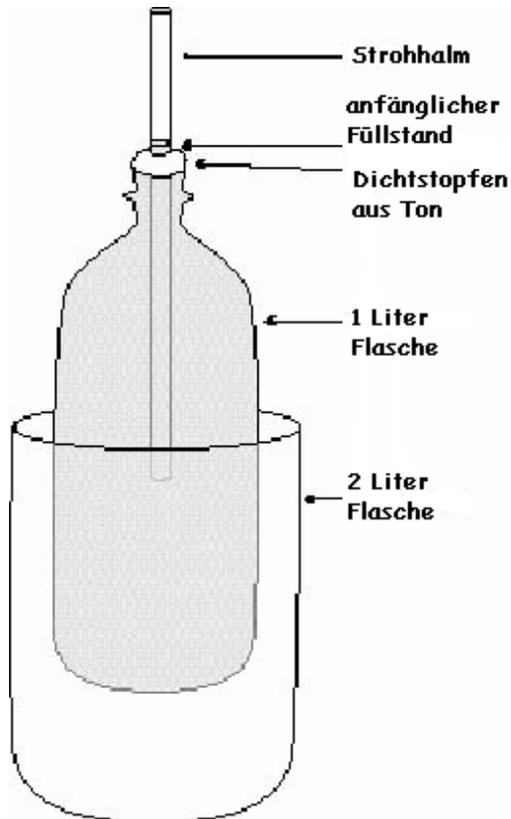


Abb. 3

1. Stellen Sie die gefüllte Einliterflasche (Flaschenthermometer) in das Unterteil der Zweiliter-Plastikflasche. Markieren Sie den Flüssigkeitsstand am Trinkhalm.
2. Befüllen Sie das Unterteil der Zweiliterflasche mit heißem Leitungswasser. Lassen Sie zwei Minuten verstreichen. Markieren Sie den Flüssigkeitsstand am Trinkhalm. Wiederholen Sie diese Markierung in zweiminütigen Abständen über einen Zeitraum von insgesamt zehn Minuten. Messen Sie nach Ablauf dieser zehn Minuten den Abstand zwischen den einzelnen Markierungen und der Anfangsmarkierung am unteren Rand des Trinkhalms. Tragen Sie Ihr Meßergebnis in dem Arbeitsgruppen-Datenblatt ein.
Achten Sie genau auf Veränderungen. Macht sich eine Veränderung bemerkbar? Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen.
3. Befüllen Sie das Unterteil der zweiten Zweiliterflasche mit Eis und kaltem Wasser.
4. Stellen Sie die Thermometerflasche in dieses Eiswasser. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.
5. Wie hat sich der Flüssigkeitsstand in dem Trinkhalm verändert, als das Thermometer in das heiße Wasser gestellt wurde? (Antwort: Das Wasser ist bei einem Temperaturunterschied von 25°C um etwa 4 cm angestiegen). Warum? Wie hat sich der Flüssigkeitsstand verändert, als das Thermometer in das kalte Wasser gestellt wurde? (Antwort: Er ist zurückgegangen). Warum?
6. Erläutern Sie, worauf diese Veränderungen Ihrer Meinung nach zurückzuführen sind.
7. Erläutern Sie aufbauend auf Ihrer Antwort zu Frage 6, wie das Mini/Max-Thermometer funktioniert, mit dem die täglichen GLOBE-Mittagsmessungen durchgeführt werden.
8. Welche sonstigen Einflußgrößen könnte man verändern, um andere Versuchsergebnisse zu erzielen? (Antworten u.a.: die Wassermenge, mit der das Limonadeflaschen-Thermometer in Berührung gelangt, die Wassertemperatur, die Abmessungen des Behälter, den Durchmesser des Trinkhalms).
9. Verarbeiten Sie die Messungen, die Sie in dem Arbeitsgruppen-Datenblatt notiert haben, zu einer Kurvendigramm. Wählen Sie als Dimension der x-Achse (waagrecht) die Zeit in



Minuten und tragen Sie auf der y-Achse (senkrecht) Ihre Meßergebnisse ab dem Zeitpunkt der Hinzufügung des heißen Wassers auf. Versehen Sie das Diagramm mit einem Titel und beschriften Sie die Achsen, damit ein fremder Leser den Versuch nachvollziehen kann.

10. Erstellen Sie ein Klassen-Datenblatt auf der Tafel oder in Form eines Plakats. Tragen Sie die Meßergebnisse in diesem Klassen-Datenblatt ein. Ermitteln Sie durch Kombination der Daten der einzelnen Schüler die *durchschnittliche* Bewegung der Wassersäule pro zwei-minütigem Meßintervall.
11. Tragen Sie die Durchschnittswerte der Füllstandsveränderung in Ihr Diagramm ein. Geben Sie auch dieser Kurve eine Bezeichnung. Wie unterscheidet sich die Kurve der Meßergebnisse, die mit Ihrem eigenen Thermometer gewonnen wurden, von der Kurve des Klassen-durchschnitts?
12. Erläutern Sie Ihr Diagramm. Welche Erkenntnisse lassen sich daraus ableiten? Lassen sich Schlußfolgerungen formulieren?
13. Weshalb könnte es wichtig sein, mehrere Versuche durchzuführen, um generelle Schlußfolgerungen ableiten zu können?

Mögliche Komplikationen bei der Versuchsdurchführung

- Rißbildung in dem Tonstopfen (Wasser kann entweichen).
- Einliter-Wasserflasche wurde nicht bis zum Rand befüllt, so daß der Flüssigkeitsstand in dem Trinkhalm nur langsam bzw. überhaupt nicht ansteigt.
- Zu geringer Temperaturunterschied zwischen dem Wasser in der Einliterflasche und demjenigen in der Zweiliterflasche. Optimal ist eine Temperaturdifferenz von mindestens 25°C. Bei niedrigerem Temperaturunterschied fällt die Bewegung der Wassersäule in dem Trinkhalm sehr gering aus. Der Temperaturunterschied zwischen dem verwendeten heißen und kalten Leitungswasser muß so groß sein, daß der Versuch funktioniert.
- Mitunter vergessen die Schüler, das Ausgangsniveau auf dem Trinkhalm zu markieren. Weisen Sie die Schüler darauf hin, daß dieser Füllstand sofort nach dem Einlegen des Flaschenthermometers in das Unterteil der Zweiliterflasche markiert werden muß.
- Wenn es sich als zu schwierig erweist, Eis in die Klasse zu bringen bzw. dort aufzubewahren, können Sie diesen Teil des Experiments überspringen oder lediglich selbst vorführen.

Variationen für jüngere bzw. ältere Schüler

Bei jüngeren Schülern kann das Experiment auf die Herstellung des Thermometers und die Beobachtung der Wasserbewegung in dem Trinkhalm beschränkt werden (Entfall der zwei-minütigen Messungen). Das Aufschneiden der Zweiliter-Plastikflasche sollte im voraus durch den Lehrer erfolgen.

Für ältere Schüler kann die Anzahl der untersuchten Einflußgrößen erweitert werden, z.B. durch Verwendung von Trinkhalmen unterschiedlicher Durchmesser, größerer bzw. kleinerer



Heißwasserbehälter oder verschiedener Thermometergrößen. Die Schüler könnten einen eigenen Versuchsaufbau erarbeiten und durchführen und ihre Ergebnisse vor der Klasse präsentieren. Auch die Kalibrierung des selbstgebauten Thermometers mit Hilfe eines Standardthermometers ist denkbar.

Weiterführende Untersuchungen

1. Messen Sie mit einem normalen Thermometer die Wassertemperatur im Inneren des Flaschenthermometers und vergleichen Sie diese mit der Wassertemperatur außerhalb dieses Thermometers. Verändert sich die Bewegungsstrecke der Wassersäule in dem Trinkhalm, wenn andere Temperaturverhältnisse herrschen?
2. Wirkt sich die Größe der Behälter auf die Funktionsweise des Thermometers aus? Konstruieren Sie einen Versuchsaufbau, mit dem sich diese Hypothese klären läßt. Führen Sie diesen Versuch aus und dokumentieren Sie die Ergebnisse in Form eines Kurvendiagramms.
3. Ermitteln Sie anhand der Literatur (Bibliothek!), aus welchen Werkstoffen verschiedene Thermometer hergestellt werden. Machen Sie sich mit den Funktionsprinzipien dieser Thermometer vertraut. Präsentieren Sie Ihre Ergebnisse vor der Klasse.
4. Erkundigen Sie sich telefonisch bei lokalen Wetterstationen, welche Arten von Thermometern dort eingesetzt werden. Statten Sie einer dieser Wetterstationen einen Besuch ab. Machen Sie dabei Fotos und verarbeiten Sie sie zu einem Plakat, das in der Klasse ausgehängt wird.
5. Stellen Sie Thermometer mit verschiedenen Trinkhalmdurchmessern her und stellen Sie fest, welche Unterschiede sich daraus ergeben. Falls abweichende Ergebnisse erzielt werden - wodurch könnte dies Ihrer Meinung nach bedingt sein? Würden diese Faktoren auch beim Bau echter Thermometer eine Rolle spielen?
6. Recherchieren Sie, wie wissenschaftliche Temperaturmessungen in verschiedenen Meerestiefen durchgeführt werden. Erläutern Sie die durchschnittliche Wassertemperatur auf einer Seekarte. Erstellen Sie ein Diagramm, das dann mit den Schülern besprochen wird.

Leistungsbeurteilung

Die Schüler sollten imstande sein, die Fragen zu dem Experiment aus dem Lernschritt-Begleitblatt zu beantworten und vor der Klasse oder in einer schriftlichen Kontrollarbeit die Funktionsweise eines Thermometers zu erläutern.

Kopieren und an die Schüler verteilen



Bau eines Thermometers

Lernschritt-Begleitblatt

Zweck

Das Lernziel besteht darin, die Funktionsweise von Flüssigkeitsthermometern zu erklären.

Übersicht

Bei diesem Lernschritt bauen wir ein Thermometer aus einer Limonadeflasche, das ähnlich dem Thermometer aus der GLOBE-Meßstation funktioniert. Es gibt jedoch einige Unterschiede zwischen diesen beiden Thermometern. Beide sind sogenannte Flüssigkeitsthermometer - die Flüssigkeiten sind jedoch verschieden. Wißt Ihr, welche Flüssigkeit in dem GLOBE-Standard-thermometer eingesetzt wird? Das Thermometer, das wir bauen wollen, wird auch keine Skala haben. Das Funktionsprinzip beider Thermometer ist jedoch dasselbe.

Das Thermometer, das wir für unsere Messungen verwenden, und dasjenige, das wir hier bauen wollen, beruhen beide auf dem Prinzip, daß sich die meisten Stoffe ausdehnen oder zusammenziehen, wenn sich ihre Temperatur verändert.

Zudem soll in diesem Lernschritt das Prinzip der Wärmeübertragung verdeutlicht werden. Wenn ein warmer Gegenstand mit einem kalten Gegenstand in Berührung gebracht wird, geht Wärme nach dem Grundsatz der Wärmeleitung von dem warmen Gegenstand auf den kalten Gegenstand über. Legt man z.B. im Winter die bloße Hand auf den Kotflügel eines Autos, wird Wärme durch Wärmeleitung von der Hand auf das Metall übertragen.

In der Wissenschaft und anderswo werden Projekte oft in Gruppenarbeit durchgeführt. Auch bei diesem Lernschritt werdet Ihr in Gruppen arbeiten.

Jedes Gruppenmitglied hat eine andere Aufgabe:

- Schüler 1 : Monteur - sammelt Material und baut das Thermometer zusammen
- Schüler 2 : Zeitnehmer/Berichterstatter - verfolgt die zweiminütigen Intervalle zu Beginn des Experiments, markiert die Wasserbewegung auf dem Trinkhalm, vermisst am Ende des Experiments den Flüssigkeitsstand im Trinkhalm, meldet die Ergebnisse dem Protokollführer und teilt der Klasse die Versuchsergebnisse mit.
- Schüler 3 : Protokollführer - notiert die vom Zeitnehmer abgelesenen Werte und überträgt die Meßergebnisse der Gruppe in das Klassendiagramm.

Hilfsmittel (pro Schülergruppe)

Eis

Wasser

Eine Kunststoff-Limonadeflasche (Inhalt 1 l)

Trinkhalm aus durchsichtigem oder weißem Kunststoff

Töpferton. 1 Tonblock von 0,5 kg Gewicht sollte zur Herstellung von 25 - 30 Thermometern ausreichen

Zwei Kunststoff-Limonadeflaschen (Inhalt 2 l), Oberteile abgeschnitten

Schere oder Messer zum Abschneiden der Oberteile der 2-l-Plastikflaschen

Lebensmittelfarbe (vorzugsweise rot, blau und grün - gelb ist weniger geeignet)

Armband- oder Standuhr mit Sekundenzeiger

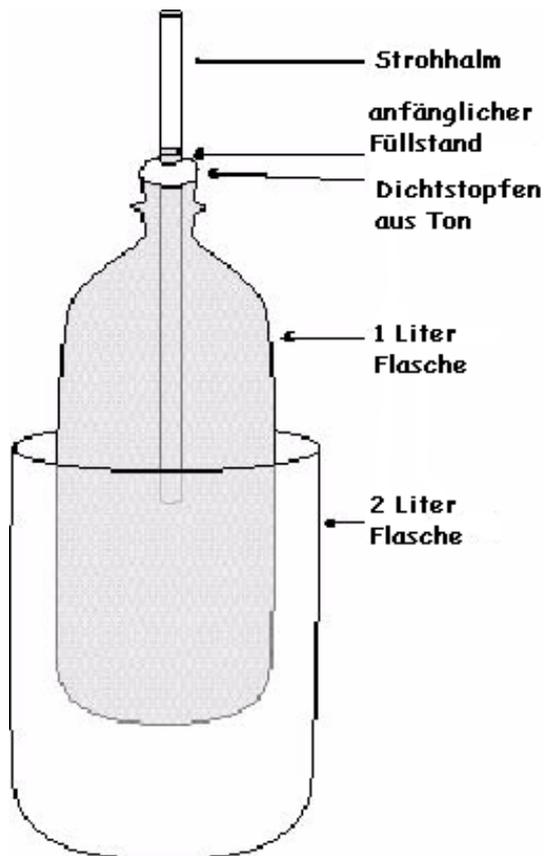
Lineal mit metrischer Unterteilung
Filzstift, Fettstift oder Kugelschreiber zur Markierung des Flüssigkeitsstandes auf dem Trinkhalm

Lernschritt-Begleitblatt "Bau eines Thermometers"

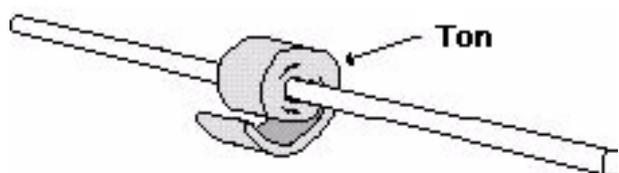


Bau des Thermometers

1. Befülle die Einliterflasche bis zum Rand mit kaltem Leitungswasser.
2. Füge vier Tropfen Lebensmittelfarbe hinzu, um das Wasser besser sichtbar zu machen. Am geeignetsten sind die Farben blau, grün und rot.



3. Rolle ein Stück Töpferton zu einer Kugel von etwa 25 mm Durchmesser aus. Forme diese Kugel zu einer Stange von ungefähr der Länge und dem Durchmesser eines Kugelschreibers. Walze diese Stange zu einem dicken Band aus, das in der Mitte um den Trinkhalm gelegt wird.
4. Stecke den Trinkhalm in die Flasche und dichte die Flasche oben mit dem Tonstreifen ab. Achte darauf, daß der Trinkhalm nicht zusammengequetscht wird. Die Tondichtung darf keine Löcher oder Risse aufweisen, durch die Wasser entweichen kann. Eine Hälfte des Strohhalmes befindet sich im Inneren der Flasche, die andere Hälfte ragt außen heraus. Drücke die Tondichtung nun soweit in den Flaschenhals hinein, daß das Wasser in dem Trinkhalm bis auf ein sichtbares Niveau steigt.



Versuchsdurchführung

Stelle die Einliterflasche ("Flaschenthermometer") in das leere Unterteil der Zweiliter-Plastikflasche. Markiere den Flüssigkeitsstand außen am Trinkhalm.

Befülle das Unterteil der Zweiliterflasche mit heißem Leitungswasser. Warte zwei Minuten und markiere den Flüssigkeitsstand im Trinkhalm dann erneut. Wiederhole diese Markierung in zweiminütigen Abständen - insgesamt zehn Minuten lang. Messe nach Ablauf dieser zehn Minuten die Abstände der einzelnen Markierungen von der Anfangsmarkierung mit dem Lineal und trage die Meßergebnisse in das nachstehende Arbeitsgruppen-Datenblatt ein.



Arbeitsgruppen-Datenblatt

Zeit in Minuten	Maßeinheit: mm
2 Minuten	
4 Minuten	
6 Minuten	
8 Minuten	
10 Minuten	

Achte genau auf Veränderungen. Welche Veränderungen siehst Du? Beschreibe Deine Beobachtungen.

3. Befülle das Unterteil der zweiten Zweiliterflasche mit kaltem Wasser und Eis.

4. Stelle die Thermometerflasche in das Eiswasser. Notiere deine Beobachtungen.

5. Wie hat sich der Flüssigkeitsstand in dem Trinkhalm verändert, als das Thermometer in das heiße Wasser gestellt wurde?

Wie hat sich der Flüssigkeitsstand in dem Trinkhalm verändert, als das Thermometer in das kalte Wasser gestellt wurde?

6. Erkläre diese Veränderungen.

7. Erläutere aufbauend auf deiner Antwort zu Frage 6, wie das GLOBE-Thermometer für die täglichen Mittagsmessungen funktioniert.



8. Welche sonstigen Faktoren (Einflußgrößen) könnte man verändern, um andere Versuchsergebnisse zu erzielen?

9. Erstelle aus den Messungen, die Du in Schritt 2 in dem Arbeitsgruppen-Datenblatt notiert hast, ein Kurvendiagramm. Wähle als Dimension der x-Achse (waagrecht) die Zeit in Minuten und trage auf der y-Achse (senkrecht) Deine Meßergebnisse ab dem Zeitpunkt der Hinzufügung des heißen Wassers auf. Beschrifte dieses Diagramm mit einem Titel und beschrifte die Achsen so, daß ein fremder Leser den Versuch nachvollziehen kann.

10. Übertrage Deine Daten in das Klassen-Datenblatt (auf der Tafel oder sonstwie nach Anweisung des Lehrers). Ermittle durch Kombination Deiner Daten mit den Ergebnissen der anderen Schüler die *durchschnittliche* Bewegung der Wassersäule innerhalb jedes zweiminütigen Meßinterval

11. Trage die Durchschnittswerte der Füllstandsveränderung in das Diagramm ein. Gib auch dieser Kurve eine Bezeichnung. Wie unterscheidet sich die Kurve der Meßergebnisse, die mit Deinem eigenen Thermometer gewonnen wurden, von der Kurve des Klassendurchschnitts?

12. Erläutere Dein Diagramm. Welche Erkenntnisse lassen sich daraus ableiten? Kannst du Schlußfolgerungen daraus ziehen?

13. Weshalb könnte es wichtig sein, mehrere Versuche durchzuführen, um generelle Schlußfolgerungen ableiten zu können?



Land, Wasser und Luft

<p>Zweck Den Schülern soll erklärt werden, daß sich Land und Wasser mit unterschiedlicher Geschwindigkeit erwärmen und abkühlen, und daß die Eigenschaften von Boden und Wasser die Erwärmung der darüberliegenden Luftschicht beeinflussen.</p> <p>Übersicht Die Schüler messen, wie sich die Temperatur von Boden, Wasser und Luft unter der wärmenden Sonneneinwirkung verändert.</p> <p>Zeitaufwand Insgesamt 3 - 4 Zeitstunden, davon 1 - 2 Stunden reine Arbeitszeit</p> <p>Niveau Mittleres und fortgeschrittenes Niveau</p> <p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte <i>Begriffe</i> Unterschiedliche Geschwindigkeit der Energie- und Wärmeübertragung verschiedener Substanzen (z.B. Boden, Wasser Luft) <i>Lerninhalte</i> Entwicklung eines Versuchsaufbaus und Durchführung eines Versuchs</p>	<p><i>Messen und Aufzeichnen von Daten</i> <i>Strukturierung von Daten in Tabellen</i> <i>Erstellung von Diagrammen</i> <i>Produktive Gruppenarbeit</i></p> <p>Hilfsmittel (pro Schülergruppe) Zwei Plastikeimer, mindestens 30 cm hoch Ein Lineal mit Zentimeterskala Sechs Thermometer Vorrichtungen zum Aufhängen der Thermometer über den Eimern (z.B. Paketschnur, Haken)</p> <p>Vorbereitung Benötigt wird ein geeigneter Platz im Freien zur Versuchsdurchführung. (Das Projekt läßt sich auch im geschlossenen Raum ausführen, sofern eine ausreichend starke künstliche Beleuchtung anstelle des Sonnenlichts verfügbar gemacht werden kann). Die besten Ergebnisse werden bei diesem Versuch an einem warmen Sonnentag erzielt. Teilen Sie die Klasse in Kleingruppen auf. Es kann sich empfehlen, den Schülern den Versuchsablauf zur Erläuterung zunächst vorzuführen.</p> <p>Voraussetzungen keine</p>
--	--

Hintergrund

Einer der Hauptgründe für die weltweit verschiedenen Wetterbedingungen besteht darin, daß sich Land und Wasser unterschiedlich schnell erwärmen und abkühlen. Hierdurch entstehen Niederschläge oder Nebel.

So sind z.B. Nachmittagsgewitter in Florida oft darauf zurückzuführen, daß sich das Land tagsüber schneller erwärmt als das Wasser. (Um dies besser zu verstehen, sollten sich die Schüler mit den Ursachen von Seewinden befassen). In den von Monsunwinden beherrschten Regionen der Erde (dies sind Windsysteme, deren Richtung jahreszeitlich wechselt), ist der regnerische Teil der Monsunzeit durch abwechselnde Perioden aktiven (regnerischen) und inaktiven (nicht regnerischen) Wetters gekennzeichnet, je nachdem, ob das Land trocken oder naß ist.



Die unterschiedlichen Erwärmungs- und Abkühlungsgeschwindigkeiten von Land und Wasser haben einige Schüler vielleicht schon einmal selbst erfahren, wenn sie an einem warmen, sonnigen Nachmittag im Süden barfuß über den Strand zum Wasser gelaufen sind. Sie erinnern sich vielleicht daran, wie heiß der Strand und wie kühl und erfrischend das Wasser war. Nach Sonnenuntergang kühlt sich dagegen der Strand schnell ab, während das Wasser noch immer als angenehm warm empfunden wird.

Inhalt und Vorgehensweise

Füllen Sie einen Eimer etwa 15 cm hoch mit Erde. Der andere Eimer wird gleich hoch mit kaltem Wasser (z.B. aus einem Wasserhahn im Freien) befüllt. Stellen Sie beide Eimer in die Sonne. Hängen Sie in jedem Eimer je ein Thermometer 1 cm über der Oberfläche, 1 cm unter der Oberfläche und 8 cm unter der Oberfläche auf. Versuchen Sie, die Thermometer so auszurichten, daß das Kapillarröhrchen nicht direkt der Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Warten Sie einige Zeit, bis sich die Thermometeranzeigen stabilisiert haben. Notieren Sie den Ausgangswert jedes Thermometers.

Lesen Sie anschließend alle Thermometer während eines Zeitraums von 20 Minuten in zweiminütigen Abständen ab. Weitere Ablesungen sind danach nach einer, zwei und drei Stunden durchzuführen.

Diskussionsfragen

Ist der Boden 1 cm unter der Oberfläche wärmer, als er es noch vor 1 Stunde beim Aufstellen der Eimer war? Ist die Oberflächentemperatur des Wassers höher als noch vor 3 Stunden? Warum?

Welcher Stoff ist in einer Tiefe von 8 cm wärmer - Erde oder Wasser? Welche Schlußfolgerungen lassen sich aus diesem Versuch ziehen?

Als Ergebnis sollte festgestellt worden sein, daß die Oberflächentemperatur der Erde in 1 cm Tiefe erheblich höher als diejenige des Wassers in 1 cm Tiefe ist. In einer Tiefe von 8 cm dürfte dagegen nach 3 Stunden das Wasser wärmer als der Boden sein. In einer Höhe von 1 cm über der Oberfläche sollte im Falle des Bodens höhere Temperaturen als über dem Wasser herrschen.

Wassermoleküle sind erheblich freier beweglich als die Moleküle, aus denen der Erdboden besteht. Aus diesem Grund verteilt sich Wärme im Wasser schneller als im Boden. Dies erklärt, weshalb das Wasser in dem Eimer nach dreistündiger Sonneneinwirkung in 8 cm Tiefe wärmer als die Erde war. Die von dem Boden aufgenommene Wärme wird jedoch nach Sonnenuntergang in kurzer Zeit wieder an die Atmosphäre abgegeben, so daß das Land schnell abkühlt. Wasser dagegen erwärmt sich nicht nur langsamer als Land, sondern kühlt sich auch nach einmal erfolgter Erwärmung langsamer wieder ab. Würden die Schüler die Messungen einige Stunden nach Sonnenuntergang wiederholen, so würden sie feststellen, daß das Wasser in 1 cm Tiefe dann wärmer als die Erde in derselben Tiefe ist.



Wolkenbeobachtung

<p>Zweck Beobachtung von Wolken und Wetter und Entwicklung eines Verständnisses für des Zusammenhangs zwischen beiden Phänomenen</p> <p>Übersicht Die Schüler stellen während eines fünftägigen Zeitraums Wolkenbeobachtungen an und setzen diese Beobachtungen in Bezug zum Wetterverlauf</p> <p>Zeitaufwand Zehn Minuten täglich über einen Zeitraum von fünf Tagen, evtl. zusätzlich eine halbe Unterrichtsstunde zur Ergebnisbesprechung</p> <p>Niveau Alle</p> <p>Wichtige Begriffe und Lerninhalte <i>Begriffe</i> Zusammenhang zwischen Bewölkung und Bewölkungsveränderung und Wetter</p>	<p>Lerninhalte Systematisches <i>Beobachten</i> über einen gegebenen Zeitraum <i>Erkennung von Zusammenhängen</i> zwischen beiden beobachteten Phänomenen</p> <p>Hilfsmittel GLOBE-Arbeitshefte und Wolkenkarten</p> <p>Vorbereitung Teilen Sie die Klasse in Kleingruppen auf und besprechen Sie mit den Schülern, wie sie ihre Beobachtungen in ihrem GLOBE-Arbeitsheft dokumentieren sollen.</p> <p>Voraussetzungen keine</p>
--	--

Inhalt und Vorgehensweise

Die Schüler sollen über fünf Tage sorgfältig die Wolken beobachten und ihre Beobachtungen schriftlich festhalten. Wenn den Schülern die Bezeichnungen der einzelnen Wolkenformen nicht geläufig sind, genügt eine Beschreibung ihres Aussehens. Im Idealfall sollte der Himmel dreimal täglich beobachtet werden: morgens (auf dem Schulweg), am frühen Nachmittag (vor bzw. nach dem Mittagessen) und dann noch einmal am frühen Abend. Die genaue Uhrzeit der Beobachtung ist sekundär; die Beobachtung sollte jedoch jeden Tag um etwa dieselbe Zeit erfolgen (z.B. die morgendliche Beobachtung jeweils gegen 8 Uhr und nicht etwa an einem Tag um 7 Uhr, am nächsten Tag um 10 Uhr usw.).

Am Abend sollten die Schüler zudem jeweils das Wetter dieses Tages notieren. War es am Vormittag regnerisch, während am Nachmittag die Sonne schien? Hat es den ganzen Tag geschneit? War es windstill und feucht? Eine Quantifizierung dieser Wetterprotokolle ist nicht erforderlich (die Schüler brauchen also z.B. nicht zu notieren "5 cm Regen" oder "79% relative Feuchte"); das Wetter sollte jedoch möglichst vollständig und klar beschrieben werden.

Im Zuge ihrer Wolken- und Wetterbeobachtung sollten die Schüler auf regelmäßige Erscheinungen achten. Beispiele: Folgen auf morgendliche Zirkuswolken (dünne, schlierenartige



Bewölkung) oft Gewitter am Nachmittag? Treten kleine Schäfchenwolken (Kumulus) jemals im Zusammenhang mit Niederschlägen auf?

Bitten Sie die Schüler nach einwöchiger Wolken- und Wetterbeobachtung, anhand ihrer Erkenntnisse eine Wettervorhersage für den nächsten Tag abzugeben. Fragen Sie nach den Gründen, die sie zu dieser Prognose bewogen haben. Lassen sie jeden Schüler dokumentieren, inwieweit seine eigenen Prognosen zutreffend sind. Vielleicht weckt dies bei den Schülern ein ganz neues Verständnis für die Schwierigkeiten der Wettervorhersage!



Anhang

Atmosphärendaten-Protokollblatt

Beobachtung von Wolkenformen

Begriffsverzeichnis

Dateneingabeblätter:

- ☛ **Lufttemperatur**
- ☛ **Wolkenbeobachtung**
- ☛ **Niederschlag**
- ☛ **Atmosphäre Feldauswahl**



Protokollblatt für Atmosphärendaten

Name der Schule _____

Schul-ID _____

Namen der Beobachter _____

Jahr _____

Monat _____

Datum _____

Uhrzeit _____

Wolkenform (alle vorhandenen Formen ankreuzen):

- Zirkus
- Zirkokumulus
- Zirkrostratus
- Altostratus
- Altokumulus
- Stratus
- Stratokumulus
- Nimbostratus
- Kumulus
- Kumulonimbus

Bewölkungsgrad (nur eine Möglichkeit ankreuzen)

- wolkenfrei (no clouds)
- vereinzelte Wolken (clear; weniger als 10 %)
- geringe Bewölkung (isolated; $\geq 10\%$ und $< 25\%$)
- zerstreute Wolkendecke (scattered; $\geq 25\%$, jedoch $< 50\%$)
- aufgebrochene Wolkendecke (broken; $\geq 50\%$, jedoch $< 90\%$)
- geschlossene Wolkendecke (overcast; mehr als $\geq 90\%$)
- Verdunkelte Wolkendecke (obscured, Wolkendecke ist nicht zu erkennen)

Regenmenge

Tagesregenmenge _____ mm

Anzahl der Tage, über die sich Regen angesammelt hat _____ Tage

pH-Wert des Regens _____

Der pH-Wert wurde gemessen mit: _____

Nicht vergessen:



An Tagen, an denen kein Regen gefallen ist, 0.0 eintragen.
Bei verlorengegangener oder fehlender Messung für diesen Tag M eintragen.
Bei zu geringer Regenmenge, d.h. nicht messbarer Regenmenge, I eintragen

Schneefall

Gesamttiefe der Schneedecke _____ mm
Tiefe des Neuschnees auf dem Schneebrett _____ mm
Anzahl der Tage, während derer sich Schnee auf dem
Schneebrett angesammelt hat _____ mm
Tagesflüssigkeitsäquivalent des Neuschnees: _____ mm

Nicht vergessen:

An Tagen, an denen kein Schnee gefallen ist, 0.0 eintragen.
Bei verlorengegangener oder fehlender Messung für diesen Tag M eintragen.
Bei nicht meßbar geringer Schneemenge I eintragen

Aktuelle Lufttemperatur _____ °C

Höchste Lufttemperatur des Tages _____ °C

Tiefste Lufttemperatur des Tages _____ °C

Relative Luftfeuchtigkeit

Messmethode: _____

Trockentemperatur: _____ °C
Feuchttemperatur: _____ °C
Rel. Luftfeuchtigkeit: _____ (%)



Beobachtung von Wolkenformen

Zur Bezeichnung der verschiedenen Wolkenformen werden vier Wortelemente verwendet:

ZIRRO- für Wolken in sehr großer Höhe (Hohe Wolken)
ALTO- für Wolken in mittlerer Höhe (Mittelhohe Wolken)
KUMULUS- für weiße Haufenwolken
STRATUS- für Schichtwolken

Hohe Wolken



Zirrus

Diese Wolken ähneln feinen weißen Federn. Sie treten allgemein in faserigen, weißen Gebilden auf.



Zirrokumulus

Dünne, weiße Wolkenschichten mit einer Struktur, die an Wattebäusche oder Kräuselwellen ohne Schattierung erinnert. Diese Wolken enthalten sehr kalte Wassertropfen.



Zirrostratus

Dünne, transparente Schichten in weißlichen Tönen, die aus Eiskristallen bestehen. Diese Wolken können den Himmel ganz oder teilweise überziehen und Halo-Erscheinungen um die Sonne hervorrufen.



Mittelhohe Wolken



Altostratus

Bläulicher oder grauer Wolkenschleier, der den Himmel ganz oder teilweise bedeckt. Läßt die Sonne als verwaschene Scheibe erkennen, verursacht jedoch keinen Halo-Effekt.



Altekumulus

Diese Wolken erinnern optisch an Meereswogen. Sie sind durch weiße und graue Farbtöne und Schattierungen gekennzeichnet und enthalten zumeist Wassertropfen oder Eiskristalle.

Niedrige Wolken



Stratus

Graue Wolkenschicht mit tiefer Untergrenze, die eine geschlossene Decke bilden kann, mitunter jedoch auch nur in einzelnen Flecken auftritt. Verursacht praktisch niemals Niederschläge.



Stratokumulus

Graue oder weißliche Wolken, deren Untergrenze eher gerundet als flach verläuft. Es kann sich um Reste alter Stratuswolken oder um aufgelöste Kumuluswolken handeln. Auch die Obergrenze dieser Wolken ist oft durch einen flachen Verlauf gekennzeichnet.



Nimbostratus

Sehr dunkle und graue Wolkenschicht, die die Sonne verdunkelt. Zusammengesetzt aus mächtigen Wolkengebilden, aus denen ein stetiger Niederschlag fällt.



Kumulus

Diese Wolken sind durch eine flache Untergrenze und dicht aufquellende Spitzen gekennzeichnet, die an überdimensionalen Blumenkohl erinnern. Im Sonnenlicht wirken diese Wolken leuchtend weiß, ihre Untergrenze ist allerdings oft dunkler. Sie erzeugen keinen Niederschlag.



Kumulonimbus

Sehr große, schwere und dichte Wolken von allgemein flacher, dunkler Oberfläche, oft sehr hoch und mächtig in Gebirgs- oder Amboßform aufquellend. Diese Wolken werden nicht selten von Gewittern und Hagel begleitet; sie können auch Wirbelstürme erzeugen.



Begriffsverzeichnis

Aktuelle Temperatur

Temperatur zum Zeitpunkt der Ablesung des Thermometers.

Bewölkungsgrad

Anteil des Himmels (in Zehnteln), der von Wolken bedeckt ist.

Fester Niederschlag

Dieser Begriff umfaßt Schnee, Eiskörner, Hagel, Eiskristalle sowie - zum Zwecke der Niederschlagsmessungen - auch Eisregen.

Flüssiger Niederschlag

Regen und Sprühregen

Höchsttemperatur

Höchste Temperatur, die aufgetreten ist, seit die letzte Messung durchgeführt und das Thermometer zurückgesetzt wurde.

Lokaler Sonnenhöchststand

Bezeichnet im Rahmen dieser Lehrerdokumentation den Zeitpunkt, an dem die Sonne während des Tages ihren Höchststand am Himmel zu erreichen scheint, d.h. auf halbem Wege zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang. Wird von Astronomen auch "wahrer Mittag" genannt.

Lufttemperatur

Maß für die Wärme oder Kälte der Luft.

Meniskus

Gekrümmte Oberfläche eines Flüssigkeitsspiegels in einem engen Rohr, bedingt durch die Haftung der Flüssigkeit an der inneren Rohrwand.

Mittelhohe Wolken

In dieser Höhe bestehen Wolken zumeist aus Wasser. Die Untergrenze dieser Wolken liegt zwischen 2.000 und 6.000 m.

Niederschlag

Dieser Begriff bezeichnet sämtliche Formen flüssiger und fester Wasserteilchen, die aus der Atmosphäre fallen und die Erdoberfläche erreichen.



Hohe Wolken

Höhe über 6.000 m, in der die Wolken größtenteils aus Eiskristallen bestehen.

Tiefsttemperatur

Niedrigste Temperatur, die aufgetreten ist, seit die letzte Messung durchgeführt und das Thermometer zurückgesetzt wurde.

Niedrige Wolken

Höhe unter 2000 m, in der die Wolken zumeist aus Wasser bestehen, jedoch auch Schnee und Eis enthalten können.

Wasseräquivalent

Flüssigkeitsgehalt einer Probe festen Niederschlags. Wird durch Schmelzen der Probe und Messung der dadurch erhaltenen Wassermenge bestimmt.

Wolke

Sichtbares Kondenswasser in der Atmosphäre, das in Form von Wasserteilchen oder Eis vorliegen kann. Wolken können außerdem Aerosole und Feststoffe enthalten, wie sie in Abgasen, Rauch oder Staub enthalten sind.



Erweiterung - Protokoll 1

pH-Wert des Niederschlages

Zweck

pH-Wert Bestimmung von Regen und Schnee

Übersicht

Der pH-Wert des Niederschlags, hat Auswirkungen auf das Gebiet, auf das er fällt. Saurer Niederschlag kann die Vegetation, Gebäude, Statuen schädigen und den pH-Wert von Oberflächengewässern und Boden verändern.

Zeitaufwand

5 min für die Messung

5 min für die Kalibration des pH-Pens oder pH-Meters

Niveau

Alle Schüler

Häufigkeit

Regen: Immer wenn sich mind. 2 mm Regen im Regenschirm angesammelt haben

Schnee: Immer wenn genug Neuschnee gefallen ist und er weder DIREKTEN Kontakt zum Boden, noch zum Schneebrett hatte. Dieser Schnee sollte nach dem Schmelzen mindestens 20 ml Flüssigkeit ergeben

Wichtige Begriffe und Lerninhalte

Inhalte

Faktoren, die den pH-Wert des Niederschlages bestimmen

Lernziele

Umgang mit pH-Meßgeräten
Erfassen von Daten

Hilfsmittel

pH Meßgeräte (pH Indikator-Papier für Anfänger; pH-Pen und pH-Meter für Fortgeschrittene; Lösungen zur Kalibration)
Regenschirm
Schneebrett
100 ml Meßzylinder

Vorbereitung

Machen Sie sich mit dem pH Protokoll aus dem Kapitel Hydrologie vertraut. Falls Ihre Schüler fortgeschritten sind, stellen Sie sicher, daß pH-Pen und pH-Meter entsprechend der Anleitungen vorbereitet und kalibriert wurden.

Voraussetzung

Keine

Hintergrund

Alle lebenden Pflanzen und Tiere enthalten Wasser. Die chemische Zusammensetzung des Wassers hat daher Einfluß auf alle terrestrischen und aquatischen Ökosysteme. Normaler Niederschlag ist schon leicht "sauer" (pH ca. 5.6), weil natürliche Gase der Erdatmosphäre (CO₂)



sich unter Säurebildung (H_2CO_3) im Wasserdampf lösen. Durch Verbrennung fossiler Brennstoffe gelangen weitere Gase in die Atmosphäre (z. B. SO_2), die den pH-Wert des Niederschlages noch weiter (unter 5.6) erniedrigen. Saurer Niederschlag kann Pflanzen durch direkten Kontakt langfristig schädigen, weit besorgniserregender ist jedoch der Effekt, daß Pflanzen geschwächt werden und anfälliger auf Streßfaktoren, wie Kälte, Krankheiten, Insekten und Trockenheit reagieren. Saurer Niederschlag schwemmt Nährstoffe aus dem Boden und kann aus bestimmten Mineralien des Bodens Aluminiumionen lösen, die dann die Wurzeln der Bäume schädigen. Werden diese Aluminiumionen ausgewaschen und gelangen in Seen und Flüsse, können sie vielen Fischarten Schaden zufügen.

Zu dem nachteiligen Einfluß auf Lebensformen, kommt der Schaden vom sauren Regen an Bauten hinzu. Es ist bekannt, daß saurer Regen die Korrosion von Metallen beschleunigt und zur Verwitterung von Gebäuden und Statuen beiträgt. Der Zustand vieler berühmter Gebäude und Denkmäler verschlechtert sich rascher.

Der Säuregehalt oder pH-Wert von Wasser kann sich auf seinem Weg durch die Umwelt verändern. Kondensiert Wasser in der Atmosphäre, so ist es neutral. Sein pH-Wert liegt bei 7.0. Dann lösen sich in den Wassertropfen Gase, wie Kohlenstoffdioxid, und Partikel, die sich in der Atmosphäre befinden und senken den pH-Wert. Wenn Wasser über die Erdoberfläche fließt oder durch den Boden sickert wird der pH-Wert durch chemische Reaktion mit Bestandteilen des Bodens verändert. Das Wasser gelangt dann in Flüsse und Ströme, Seen und eventuell den Ozean. Bei GLOBE messen die Schüler den pH-Wert von Niederschlag, den des Bodens und in Oberflächengewässern.

Anfänger: pH Indikatorpapier

Die schnellste und einfachste Methode ist ein sauberes, trockenes Becherglas und Indikatorpapier mit zum Regensmesser zu nehmen und die Messung direkt nach dem Ablesen der Regenmenge durchzuführen.

1. Verwenden Sie ein trockenes 100 ml Becherglas
2. Nachdem die Regenmenge abgelesen und ins Datenblatt eingetragen ist und sich mindestens 2 mm Niederschlag im Regensammler befindet, wird der Regen in das Becherglas geleert. Falls viel Niederschlag gefallen ist, reicht es aus, wenn das Becherglas bis zur Hälfte gefüllt wird.
3. Tauchen Sie das Indikatorpapier ca. 20 Sekunden in das Regenwasser im Becherglas. Stellen Sie sicher, daß alle farbigen Segmente des Papiers eingetaucht sind.
4. Nehmen Sie das Indikatorpapier aus dem Wasser und vergleichen Sie die Farbsegmente mit der Farbkarte auf der Schachtel des Indikatorpapiers. Versuchen Sie eine Farbsequenz zu identifizieren, die dem Ergebnis auf dem verwendeten Papier vergleichbar ist.
5. Falls die Farbreaktion des Indikatorpapiers ein unklares Ergebnis geliefert hat, kann es sein, daß das Papier länger im Wasser bleiben muß, damit eine vollständige Farbreaktion eintritt. Halten Sie das Papier zusätzliche 20 Sekunden in das Regenwasser und wiederholen Sie Schritt 4 und 5. Wiederholen Sie den Vorgang



so lange, bis Sie mit der Genauigkeit des Ergebnisses zufrieden sind. Falls nach 2 Minuten das Ergebnis noch immer unklar ist, nehmen Sie ein frisches Indikatorpapier und beginnen von vorne. Falls der Test ein zweites Mal versagt, halten Sie dies in Ihrem Datenblatt fest.

6. Falls Sie mit der Genauigkeit zufrieden sind, tragen Sie diesen Wert ins Datenblatt ein.

7. Falls Sie genügend Niederschlag haben, wiederholen Sie die Messung (Schritt 2 bis 5) zur Qualitätskontrolle.

8. Schicken Sie Ihr Ergebnis an den GLOBE Datenserver.

9. Unabhängig davon ob es geregnet hat oder nicht, muß der Regenschirm einmal pro Woche mit destilliertem Wasser gereinigt und getrocknet werden. Fremdmaterial im Regenschirm kann den pH-Wert verändern. BITTE VERWENDEN SIE ZUR REINIGUNG KEINE SEIFEN/ DETERGENTIEN. RÜCKSTÄNDE KÖNNEN DEN PH-WERT BEEINFLUSSEN.

Fortgeschrittene Schüler: pH-Pen/pH-Meter

Schritt 1: Einstellen und Eichen des pH-Pens oder pH-Meters

Folgen Sie zum Einstellen und Eichen den Anleitungen des pH-Protokolls aus dem Kapitel Hydrologie.

Schritt 2: Ph-Wert Messung des gesammelten Niederschlags

Neben Sie den geeichten pH-Pen oder pH-Meter und ein sauberes, trockenes Becherglas mit zum Regenschirm. Führen Sie die pH-Wertbestimmung unmittelbar nach dem Ablesen der Regenmenge durch.

1. Bevor Sie zum Regenschirm gehen, entfernen Sie die Schutzkappe von der Elektrode und spülen Sie diese mit destilliertem Wasser ab. Tupfen Sie den Bereich mit einem weichen Papiertuch trocken.

2. Nehmen Sie ein sauberes, trockener 100 ml (oder größer) Becherglas und nehmen Sie es zusammen mit dem pH-Pen/ pH-Meter mit zum Regenschirm.

3. Lesen Sie an dem Regenschirm die Regenmenge ab und notieren Sie diese auf dem Datenblatt.

4. Befinden sich mindestens 2mm Niederschlag im Regenschirm, leeren Sie das Wasser in das Becherglas. Falls viel Regenwasser vorhanden ist, reicht es wenn Sie das Becherglas bis zur Hälfte füllen.

5. Tauchen Sie die Elektrode des pH-Pens/pH-Meters in das Wasser ein. Überprüfen Sie, daß die Elektrode mit Wasser bedeckt ist, dennoch soll der pH-Pen/pH-Meter nicht weiter als nötig eingetaucht werden. Führen Sie keine pH-Wertbestimmung durch, wenn die Regenmenge nicht ausreicht, um die Elektrode zu bedecken.

6. Rühren Sie vorsichtig mit dem pH-Pen/pH Meter im Wasse und warten Sie dann, bis sich der angezeigte Wert stabilisiert hat.



7. Ist der Wert stabil, lesen Sie diesen ab und tragen ihn ins Datenblatt ein.

8. Falls noch genügend Regenwasser vorhanden ist, wiederholen Sie Schritt 4 bis 7 für eine weitere Probe und kontrollieren hiermit die Qualität der Messung. Die beiden gemessenen Werten sollten nicht mehr als 0.2 abweichen (dies entspricht der Genauigkeit der Meßmethode). Falls die Abweichung größer ist, führen Sie eine dritte Messung durch (sofern genügend Niederschlag vorhanden ist). Falls nicht genügend Regenwasser vorhanden ist, senden Sie dieses Ergebnis nicht an den Datenserver, sondern überprüfen Sie die Kalibrierung Ihres Meßgerätes bevor Sie die nächste Messung vornehmen.

9. Falls die Niederschlagsmenge für nur eine Messung reicht, schicken Sie dieses Ergebnis an den Datenserver.

10. Reicht die Regenmenge für zwei getrennte Bestimmungen aus, und die Ergebnisse unterscheiden sich nicht mehr als 0.2, senden Sie den Durchschnittswert aus beiden Ergebnissen an den Datenserver.

11. Falls die Menge an Niederschlag für 3 oder mehr Messungen reicht, nehmen Sie den Durchschnittswert aus allen Messungen, wenn alle Werte weniger als 0.2 vom Mittelwert abweichen. Zeigt sich ein "Ausreißer" (ein Wert, der weit von den anderen gemessenen Werten abweicht), verwerfen Sie diesen Wert und berechnen Sie den Durchschnittswert aus den anderen Ergebnissen. Liegen nun alle Messungen im Bereich 0.2 um den Durchschnittswert, senden Sie diesen Mittelwert an den Datenserver und geben Sie an, daß 3 und mehr Messungen durchgeführt wurden (auch wenn nicht alle 3 Werte für den angegebenen Mittelwert verwendet wurden). Liegen die gemessenen Werte weit gestreut, tragen Sie keinen Wert in den Datenserver ein, sondern überprüfen Sie die Kalibrierung Ihres Meßgerätes und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

12. Spülen Sie die Elektrode mit destilliertem Wasser ab und tupfen sie mit einem weichen Papiertuch trocken. Befestigen Sie die Kappe zum Schutz der Elektrode und schalten Sie das Gerät ab.

13. Unabhängig davon ob es geregnet hat oder nicht, muß der Regenschirm einmal pro Woche mit destilliertem Wasser gereinigt und getrocknet werden. Fremdmaterial im Regenschirm kann den pH-Wert verändern. **BITTE VERWENDEN SIE ZUR REINIGUNG KEINE SEIFEN/DETERGENTIEN. RÜCKSTÄNDE KÖNNEN DEN PH-WERT BEEINFLUSSEN.**

Sammeln von Schnee für die pH-Messungen

Beim Sammeln von Neuschnee für die pH-Messungen müssen Sie noch sorgfältiger vorgehen, als bei der Bestimmung der Schneetiefe und des Wasseräquivalents. Das Schneebrett, das Sie für die Schneetiefe verwenden (Protokoll: Fester Niederschlag) liegt häufig eine Weile draußen, bevor wirklich Schnee fällt. Daher können sich Blätter oder Erde auf dem Brett ansammeln. Wenn Sie eine Kernprobe des Schnees von Schneebrett nehmen, um das Wasseräquivalent zu bestimmen, kann es sein, daß der Schnee am Boden (der in direktem Kontakt mit dem Brett ist) mit dem Material auf dem Brett oder auch mit dem Brett selbst reagiert hat. Wir wollen aber den unbeeinflussten pH-Wertes des Schnees messen. Wenn Sie also den pH-Wert des Schnees



bestimmen wollen, müssen Sie neben der Probe für die Bestimmung des Wasseräquivalents eine weitere Probe sammeln. Für den pH-Wert einer Schneeprobe, benötigen Sie eine Kernprobe. Vermeiden Sie dabei den Kontakt mit dem Brett. Wir nehmen eine Kernprobe anstelle Schnee von der Oberfläche abzunehmen, weil sich der pH-Wert des Schnees mit der Dauer des Schneefalls ändern kann. Wir wollen den durchschnittlichen pH-Wert des Schneefalls. Wir nehmen die Kernprobe, wie wir dies zur Bestimmung des Wasseräquivalents kennen, aber wir stoppen bevor wir die Oberfläche des Schneebretts erreichen. Damit Sie eine ausreichende Menge Schnee für mindestens 20 ml Flüssigkeit erhalten, müssen Sie unter Umständen mehrere Proben, gegebenenfalls von verschiedenen Stellen des Brettes entnehmen.

Jeder saubere, trockene, tiefe Behälter (Glas oder Plastik) ist für die Probennahme geeignet. Sobald Sie die Probe genommen haben, verschließen Sie den Behälter und bringen ihn nach drinnen. Lassen Sie den Schnee bei Raumtemperatur schmelzen. Ist der Schnee geschmolzen, können Sie die pH-Bestimmung wie oben beschrieben durchführen, nur verwenden Sie anstelle des Regenwassers, Schmelzwasser und führen die Bestimmung im Klassenzimmer/Labor und nicht draußen durch.



Atmosphäre und Klima - Datenblatt

Schule _____

Name _____

Meßmethode für pH-Bestimmung: Indikatorpapier pH-Pen pH-Meter

	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr
Datum							
Stunde (UT)							
Name							

Wolkentyp (Kreuzen Sie alle beobachteten Wolkentypen an)

Cirrus							
Cirrocumulus							
Cirrostratus							
Altostratus							
Altocumulus							
Stratus							
Stratocumulus							
Nimbostratus							
Cumulus							
Cumulonimbus							

Bedeckungsgrad (nur einen ankreuzen)

klar							
aufgelockert							
aufgebrochen							
geschlossen							



*Nicht vergessen:

Trage 0.0 ein, wenn kein Regen gefallen ist

Trage M (missing) für fehlende Messungen ein

Trage T (trace) für nicht ablesbare Mengen (kleiner 0.5 mm) ein

Niederschlag

Über wieviel Tage hat sich der Regen angesammelt							
Regenmenge (mm)*							

	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr
Datum							
Stunde (UT)							
Name							

Schneefall

Gesamttiefe der Schneedecke (mm)							
Anzahl Tage über die sich der Schnee angesammelt hat (mm)							
Tiefe des Neuschnees auf dem Schneebrett (mm)							
Wasseräquivalent des Neuschnees (mm)*							



pH-Wert des Niederschlags

pH-Wert des Regens oder geschmolzenen Schnees							
---	--	--	--	--	--	--	--

*Nicht vergessen:

Trage 0.0 ein, wenn kein Regen gefallen ist

Trage M (missing) für fehlende Messungen ein

Trage T (trace) für nicht ablesbare Mengen (kleiner 0.5 mm) ein

Maximum-, Minimum- und aktuelle Temperatur

aktuelle Lufttemperatur (°C)							
Höchste Lufttemperatur des Tages (°C)							
Tiefste Lufttemperatur des Tages (°C)							

*Nicht vergessen:

Trage 0.0 ein, wenn kein Schnee gefallen ist

Trage M (missing) für fehlende Messungen ein

Trage T (trace) für nicht ablesbare Mengen (kleiner 0.5 mm) ein

Notizen: (z. B. außergewöhnliche Bedingungen)
