

Klima, Wetter und Atmosphäre

Handbuch für den Unterricht

Januar 2014



Inhaltsverzeichnis

Einführung	5
Kontext und Struktur dieses Unterrichtsdokuments.....	5
Worin besteht der Unterschied zwischen Klima und Wetter?.....	5
Weshalb werden Umweltdaten gemessen?.....	5
Messgenauigkeit.....	6
Was wird von den Wetterstationen gemessen?	6
GLOBE-Messprinzipien	6
Erdatmosphäre	8
Definition	8
Struktur und Zusammensetzung	8
Der Treibhauseffekt: Definition.....	9
Die Treibhausgase.....	9
Temperatur.....	10
Definition und Einheiten.....	10
Messung und Geschichte.....	10
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen	11
GLOBE-Temperaturmessungen	13
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	14
Wissenswertes.....	14
Niederschlag	15
Definition und Einheit.....	15
Messung und Geschichte.....	15
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen	16
GLOBE-Niederschlagsmessungen	17
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	17
Wissenswertes.....	17
Relative Luftfeuchtigkeit.....	18
Definition und Einheiten.....	18
Messung und Geschichte.....	18
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen	18
GLOBE-Messung der relativen Feuchtigkeit	19
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	19
Wissenswertes.....	19
Druck.....	20
Definition und Einheiten.....	20
Hoch- und Tiefdruck	20
Messung und Geschichte.....	20
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen	21
GLOBE-Druckmessungen	22
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	22
Wissenswertes.....	22

Wolken.....	23
Entstehung und Rolle.....	23
GLOBE-Druckmessungen	23
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	23
Wissenswertes.....	23
Wind	24
Definition und Einheiten.....	24
Entstehung des Windes	24
Messung und Geschichte.....	24
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen.....	25
GLOBE-Windmessungen.....	25
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	25
Wissenswertes.....	25
Sonnenstrahlung.....	27
Einführung und Kontext.....	27
Definition und Einheiten.....	28
Messung und Geschichte.....	28
Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen.....	28
GLOBE-Windmessungen.....	29
Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?.....	29
Wissenswertes.....	29
Der Klimawandel.....	30
Definition	30
Temperaturveränderungen im Verlaufe der Zeit.....	30
Klimaänderung.....	31
Welches sind die voraussichtlichen Konsequenzen der Klimaerwärmung?	31
Wie können wir handeln um die Klimaerwärmung zu begrenzen?	32
Wissenswertes.....	33
Wettervorhersagen	34
Definition	34
Geschichte	34
Fronten, Entstehung von Fronten, Fronttypen und Bedeutung für die Vorhersagen	34
Welche Methoden werden in der Wettervorhersage verwendet?	35
Unsicherheiten der Wettervorhersagen	36
Schlussfolgerung.....	38
Literaturverzeichnis	38
Anhang 1: Beschreibung des Messstandortes.....	39
Anhang 2: Wann sollte gemessen werden? Ortszeit oder Weltzeit?.....	40
Anhang 3: Einrichten der Wetterstation	41
Anhang 4: Protokoll der maximalen, minimalen und aktuellen Temperatur.....	42
Anhang 5: Eichung des Thermometers.....	43
Anhang 6: Niederschlagsprotokoll.....	44
Anhang 7: Protokoll für die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit	45
Anhang 8: Protokoll für die Messung des Luftdruckes.....	46

Anhang 9: Datenblatt GLOBE-Atmosphäre, 1 Tag.....	47
Anhang 10: Datenblatt GLOBE-Atmosphäre, 7 Tage.....	48
Anhang 11 Wolkenbeobachtungen Datenblatt – 1 Tag	50
Anhang 12 Wolkenbeobachtungen Datenblatt für 7 Tage.....	52

Impressum

Verfasst von: Vincent Luyet, Juliette Vogel, GLOBE Schweiz
© GLOBE Schweiz 2013

Einführung

Kontext und Struktur dieses Unterrichtsdokuments

Dieses Dokument hat zum Ziel, Lehrpersonen sowohl theoretische als auch praktische Hintergrundinformationen zu den wichtigsten Umweltparametern der Feldmessungen liefern, die im Rahmen des GLOBE-Programms zum Thema Atmosphäre erfolgen.

Nach einer kurzen Einführung, in der die Bedeutung der Erhebung von Umweltdaten erläutert wird, ist ein Kapitel der Atmosphäre gewidmet, da sich die meisten meteorologischen/klimatischen Vorgänge in dieser Schicht abspielen und auch der Treibhauseffekt durch Elemente in der Atmosphäre erzeugt wird. Danach werden die einzelnen Messparameter (Temperatur, Wind, Niederschlag, relative Feuchtigkeit, Luftdruck und Wolken), die im Rahmen von GLOBE International gesammelt werden, in Bezug auf bezüglich deren Messung, den räumlichen Variationen und den Tendenzen behandelt. Messungen von Wind und Sonnenstrahlung sind zwar nicht Teil des Programms von GLOBE International, es wird aber trotzdem darauf eingegangen, um ein globales Verständnis der Wetterparameter zu ermöglichen. Zuletzt werden die Themen der Wettervorhersage und des Klimawandels erörtert.

Worin besteht der Unterschied zwischen Klima und Wetter?

Die Wetterkunde oder Meteorologie ist die Studie der Phänomene in der Atmosphäre (Temperatur, Niederschlag, Wind, Sonnenstrahlung usw.), die es ermöglichen, das Wetter auf kurze Zeit vorherzusagen (in der Regel für einige Tage). Während sich die Wetterkunde mit dem Wetter an einem bestimmten Ort und zu einem präzisen Zeitpunkt beschäftigt, interessiert sich die Klimatologie dagegen für dieselben atmosphärischen Bedingungen, aber für eine grössere Region und auf lange Sicht hinaus. Die Bestimmung des Klimas beruht auf monatlichen und jährlichen Mittelwerten, die während mindestens 30 Jahren gesammelt wurden. Wenn von Wetterkunde die Rede ist, handelt es sich folglich um momentane und lokale Werte, die sich von den in der Klimatologie über Jahrzehnte und für grössere geografische Zonen ermittelten Werten unterscheiden.

Das Klima in der Schweiz ist nicht einheitlich. So wirkt sich auf der Alpennordseite der Einfluss des Meeres mildernd auf die Temperaturen aus (Abkühlung im Sommer und Erwärmung im Winter). Auf der Alpensüdseite hingegen ist das Klima durch den Mittelmeereinfluss geprägt. In den geschützten Alpentälern (Wallis oder Engadin) existiert zudem ein trockenes Mikroklima.

Weshalb werden Umweltdaten gemessen?

Welches Wetter hatten wir heute vor zehn Jahren? Wo war es wärmer – in Bern oder in Sitten? Wie warm war es im Sommer 2003? Wann ist eine Gemeinde gezwungen, eine Strasse wegen drohender Naturgefahren zu sperren? Wie dick ist die optimale Isolationsschicht eines Hauses?

Die Antwort auf all diese Fragen muss auf Fakten abgestützt werden und darf nicht auf «subjektiven» Meinungen oder dem «blossen Erinnerungsvermögen» beruhen. Messen, das heisst objektiv beobachten, damit die Entwicklung im Verlaufe der Zeit und an verschiedenen Orten verglichen und analysiert werden kann. Damit man beispielsweise eine Klimaentwicklung feststellen kann, braucht es Daten einer genügend langen Messreihe (in der Regel über 50 Jahre). Die Messungen sind ein unverzichtbares Instrument, wenn es darum geht, unsere Umwelt zu verstehen.

Dank Messungen können wir auch verstehen und vorhersagen. Die Analyse der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Vergangenheit und heute sind die Grundlage für jede Vorhersage. Alle Vorhersagemodelle wie die Wettervorhersage in den Nachrichten, die Hochwasser-Gefahrenkarten und die

verschiedenen Szenarien des Klimawandels basieren auf Messungen. Die Messungen sind ein unverzichtbares Instrument, wenn es darum geht, unsere Umwelt zu vorherzusagen.

Durch Messungen erhält man zudem auch eine ganze Reihe praktischer Informationen, die sehr nützlich sind. So muss man beispielsweise die Windgeschwindigkeit kennen, bevor man entscheidet, ob der Skilift abgestellt werden muss oder nicht. Die Kenntnis der Temperaturen einer Region ermöglichen, die optimale Dicke der Isolation eines Hauses zu berechnen. Oder Strassen können nur geteert werden bei Temperaturen von über 15 °C.

Messgenauigkeit

Wenn man von Messungen spricht, muss man in Bezug auf die damit verbundenen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten Vorsicht walten lassen. Denn wenn ein und dasselbe Phänomen gemessen wird, kann man leicht andere Resultate erhalten. Dies ist auf verschiedene Störphänomene zurückzuführen wie etwa die Ungenauigkeit der Messinstrumente, Ungenauigkeiten bei der Kalibrierung der Messgeräte, Ungenauigkeit beim Aufstellen der Messstation (Standortwahl usw.) und Fehler beim Messen oder Ablesen der Daten. Diese Unsicherheiten müssen unbedingt berücksichtigt werden.

Was wird von den Wetterstationen gemessen?

Heute werden zwei Arten von Wetterstationen eingesetzt – manuelle und automatische. Letztere sind mit Sensoren ausgestattet, die mit einer Elektronikeinheit verbunden sind, welche die Messungen aufzeichnet, speichert und über ein Telekommunikationsnetz an eine Datenbank sendet. Im Gegensatz dazu müssen manuelle Wetterstationen «von Hand» abgelesen und die Daten anschliessend in eine Datenbank eingegeben werden.



Abbildung 1: Beispiel einer a) automatischen und b) manuellen Wetterstation

Welche Parameter erfasst werden, hängt von den installierten Instrumenten ab. Heutzutage gibt es ein riesiges Angebot an Sensoren, die unzählige Parameter messen. Unter den typischen Umweltparametern, die von Wetterstationen gemessen werden, finden sich die Lufttemperatur, die Niederschläge, die relative Feuchtigkeit, der Atmosphärendruck, die Windgeschwindigkeit und -richtung, die Schneehöhe und die Sonnenstrahlung.

GLOBE-Messprinzipien

Das GLOBE-Programm zum Thema Atmosphäre umfasst zahlreiche Parameter (www.globe.gov). Lehrpersonen müssen nicht sämtliche Parameter messen, sondern sich lediglich entscheiden, welche sie untersuchen wollen.

Die Messgeräte werden in einem Wetterhäuschen stationiert. Anhang 3 enthält Hinweise zur Wahl eines optimalen Standorts.

Die Schülerinnen und Schüler müssen die Parameter rund eine Stunde um den lokalen Sonnenhöchststand messen. Anhang 2 zeigt, wie der Sonnenhöchststand berechnet wird. Die Messwerte werden anschliessend in die internationale Datenbank von GLOBE eingegeben. Sämtliche Messprotokolle befinden sich auf der Website von GLOBE International (www.globe.gov).

Mit Anhang 1 lässt sich der Messstandort beschreiben.

Erdatmosphäre

Definition

Die Atmosphäre ist eine Gashölle rund um die Erde. Knapp die Hälfte ihrer Masse befindet sich in den ersten 5000 Metern. Verglichen mit dem Erdradius von 6 400 000 Metern erscheint dies als sehr wenig. Wenn man zur Veranschaulichung die Erde mit einer Orange vergleicht, so wäre die Atmosphäre etwa so dick wie ein Blatt Papier. Trotzdem ist es die Atmosphäre, welche die notwendigen Bedingungen für die Entfaltung von Leben auf unserem Planeten schafft. In der Atmosphäre befinden sich denn auch die wichtigsten Phänomene, die das Wetter und das Klima auf der Erde beeinflussen.

Struktur und Zusammensetzung

Unsere Atmosphäre lässt sich in verschiedene Schichten unterteilen, die unter anderem durch ihr vertikales Temperaturprofil gekennzeichnet sind. Die unterste Schicht wird als Troposphäre bezeichnet, die viel Wasserdampf enthält und somit für die Wolkenbildung verantwortlich ist und deren Temperatur mit zunehmender Höhe kontinuierlich abnimmt. Die Dicke der Troposphäre variiert aufgrund des Rotationseffekts des Erde-Mond-Systems und der Gravitationswechselwirkung von Mond und Sonne. Über den Polen ist sie lediglich 7 km dick, während sie über dem Äquatorialgürtel eine Dicke von etwas unter 20 km hat. Ebenfalls innerhalb der Troposphäre befindet sich die Grenzschicht. In dieser von der Erdoberfläche direkt beeinflussten Troposphärenschicht sind die Luftströme turbulent.

Es folgt der Bereich der mittleren Atmosphäre, bestehend aus der Stratosphäre (bis auf eine Höhe von 50 km) und der darüber liegenden Mesosphäre. Die Ozonschicht befindet sich in der Stratosphäre auf ca. 25 km Höhe. Es sind übrigens die durch die Präsenz des Ozons hervorgerufenen photochemischen Reaktionen, welche der Luft Wärme zuführen und somit zu einer Stabilisierung der Temperatur in der unteren Stratosphäre und zu steigender Temperatur in der oberen Stratosphäre führen. Oberhalb der mittleren Atmosphäre beginnt die obere Atmosphäre (Thermosphäre), wo die Temperatur mit zunehmender Höhe erheblich steigt.

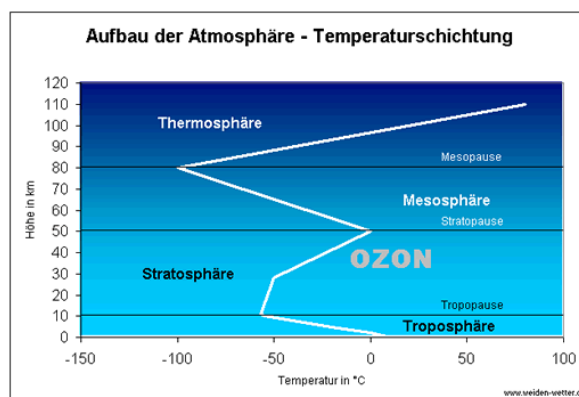


Abbildung 2: Vertikalstruktur der Atmosphäre (www.weiden-wetter.de)

Die trockene Atmosphäre setzt sich hauptsächlich aus folgenden Gasen zusammen: Stickstoff (N_2 , Prozentanteil 78,08 %), Sauerstoff (O_2 , 20,95 %), Argon (Ar, 0,93 %), Kohlendioxid (CO_2 , 0,039 %), Ozon (O_3 , zwischen 0,000 001 und 0,000 007 %), Methan (CH_4 , 0,0001745 %). Stickstoff, Sauerstoff, Argon und andere Edelgase sind in relativ gleichbleibenden Verhältnissen in der Atmosphäre vorhanden. Einziger Gehalt an Gasen, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind (Kohlendioxid, Ozon usw.), und der Wasserdampf variieren.

Die Erdatmosphäre hat die Entstehung und den Fortbestand des Lebens ermöglicht, jedoch haben die Lebensformen die Zusammensetzung der Atmosphäre auch entscheidend verändert. Als Beispiel seien hier die menschlichen Aktivitäten genannt, welche die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern und durch die Emission den Anteil gewisser Gase (z. B. Kohlendioxid) steigern sowie das Auftreten neuer Gase in der Atmosphäre bewirken.

Der Treibhauseffekt: Definition

Bei dem gegenwärtigen Abstand der Erde zur Sonne müsste die Erde ein Eisplanet sein (-18 °C). Die globale Durchschnittstemperatur liegt bekanntlich aber wesentlich höher, bei +15 °C. Warum? Weil die Atmosphäre, welche die Erde umhüllt, den gleichen Effekt wie eine Glasscheibe hat, das heisst, die Sonnenstrahlen kommen praktisch ungehindert zur Erde durch, während die Erdenergie von der Atmosphäre absorbiert wird. Dies wird als Treibhauseffekt bezeichnet.

Der Wärmeaustausch kann quantifiziert werden. Die Erde erhält von der Sonne Energie in Form elektromagnetischer Strahlung (ungefähr 340 W/m²). Ein Teil dieser Strahlung wird durch die Wolken zurück ins Weltall reflektiert (65 W/m²), ebenso wie durch die Elemente der Atmosphäre (15 W/m²). Der Rest wird zu einem Drittel (80 W/m²) von der Atmosphäre mit ihren Treibhausgasen (Wasserdampf, Methan, Kohlendioxid) und zu zwei Dritteln durch die Erdoberfläche absorbiert. Die durchschnittliche Albedo der Erdoberfläche wirft ungefähr 50 W/m² der Strahlung zurück, wovon 20 W/m² definitiv ins All entschwinden und 30 W/m² auf die Erde zurückkommen. Es handelt sich dabei also um ein natürliches Phänomen, welches wesentlich zur Entwicklung des Lebens auf der Erde beigetragen hat.

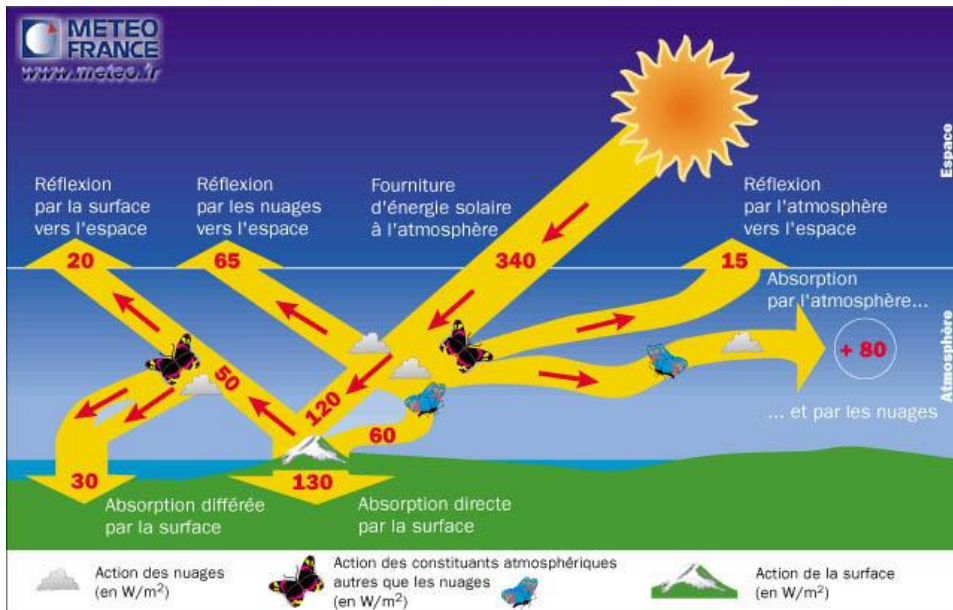


Abbildung 3: Der Treibhauseffekt (www.meteo.fr)

Die Treibhausgase

Die unten stehende Tabelle zeigt die wichtigsten Treibhausgase und deren Ursprung. Der Wasserdampf in der Luft erzeugt zwei Drittel des Treibhauseffekts. Aber auch gewisse Gase (CO₂, Methan, Ozon, FKW, NO₂...) tragen selbst in sehr kleinen Mengen zu diesem Effekt bei.

Treibhausgas	Ursprung
Wasserdampf (H ₂ O)	Verdunstung der Pflanzen, der Böden, der Binnengewässer und Ozeane
Kohlendioxid (CO ₂)	Natürlicher Ursprung (Atmung, Vulkanausbruch, ...) oder durch menschliche Aktivitäten erzeugt (Industrie, Autos, ...)
Methan (CH ₄)	Zersetzung von organischem Material in sauerstoffloser Umgebung (Sumpfböden, Mangroven, aufgetaute Permafrostböden, Meeresböden, Verdauungsvorgang von Tieren, Vulkanausbrüche)
Ozon (O ₃)	Natürliche Entstehung (Waldbrand) oder durch menschliche Aktivitäten (Industrie ...)
Lachgas (N ₂ O)	Umwandlung von Nitraten durch die Bodenbakterien

Temperatur

Definition und Einheiten

Die Temperatur wird als physikalische Grösse betrachtet, die unmittelbar mit den Begriffen warm und kalt verbunden ist. Die Temperatur ist der makroskopische Ausdruck, der von der Bewegung der Atome und Moleküle hervorgerufen wird. In diesem Sinn bedeutet eine hohe Temperatur eine starke Bewegung der Atome.

Die internationale Temperatureinheit ist Kelvin (K). Grad Celsius (°C) ist eine weitere, in Europa weit verbreitete Einheit. Einige angelsächsische Länder und die USA benutzen jedoch eine andere Einheit: Grad Fahrenheit (°F). Die tiefste Temperatur im Celsius-System ist -273,15 °C, was 0° K entspricht. Die Formeln zur Umrechnung sind: °C = 0,55 x (°F – 32); K = °C + 273,15; °F = 32 + (1,8 x °C).

Messung und Geschichte

Alle Geräte, welche die Temperatur messen, funktionieren nach demselben Prinzip. Ein Referenzelement besitzt gewisse bekannte Eigenschaften, die mit der Temperatur variieren. Im Falle des Quecksilberthermometers ist es die Wärmeausdehnung des Körpers (fest, flüssig oder gasförmig). Es können aber auch ganz andere physische Eigenschaften genutzt werden, etwa die elektrische Veränderung im Falle des Thermoelements oder die Identifizierung der Lichtemissionsfarbe beim Infrarotsensor. Der Standort (Schatten, Sonne) des Thermometers kann einen direkten Einfluss auf die Messwerte haben.

Die ersten Temperaturmessungen auf der Erdoberfläche wurden im Jahr 1856 durch die britische meteorologische Institution durchgeführt. Um Temperaturen, die vor diesem Zeitpunkt geherrscht haben, zu ermitteln, haben Wissenschaftler so genannte «indirekte» Methoden entwickelt. Damit lassen sich frühere Temperaturen bis auf mehrere Hunderttausend Jahre zurück schätzen. So produzieren beispielsweise Bäume einen Jahresring, dessen Dicke von der Temperatur und der Trockenheit abhängt. Wenn man die Grösse, die Dichte und die chemische Zusammensetzung des Jahresrings sowie die Eigenschaften des Standorts kennt, kann man die Temperaturverhältnisse vergangener Zeiten schätzen. Dem gleichen Prinzip folgend können die Jahresringe von Korallen bestimmt werden, die aus Kalziumkarbonat (CaCO₃) bestehen. Da ein Zusammenhang zwischen der Lokaltemperatur und der Konzentration der Isotopen O₁₆ und O₁₈ des Polareises besteht, lässt sich das Klima vergangener Zeiten rekonstruieren.

Das Luftthermometer oder Thermoskop von Santorre Santorio (1561–1636) war das erste Gerät zur Temperaturmessung. Dieses Instrument besitzt lediglich drei Temperaturmarken: Die Temperatur von schneegekühlter Luft, die Temperatur der flammenerhitzten Luft und den Medianpunkt.

1641: Die ersten Flüssigthermometer mit geschlossenem Rohr werden entwickelt und die Erforschung von geeigneten Flüssigkeiten beginnt. Auf diese Weise werden das Wasser und der Alkohol zusehends vom Quecksilber verdrängt.

Beginn des 18. Jahrhunderts: Daniel Fahrenheit ist der «Erfinder» der ältesten Temperaturskala, die heutzutage immer noch Anwendung findet. Er definiert als 0° die Temperatur einer Wasser-Eis-Meersalz-Ammoniaksalz-Lösung, als 32° die Temperatur eines Wasser-Eis-Gemischs, als 96° die Körpertemperatur eines gesunden Menschen und als 180° jene kochenden Wassers.

1742: Der schwedische Astronom Anders Celsius, der Namensgeber für die Zentesimale-Temperaturskala, publiziert einen Artikel, in dem er ein Thermometer vorstellt, das die Wassersiedetemperatur als 0° anzeigt und den Gefrierpunkt des Wassers als 100°. Es ist schliesslich der Franzose Jean Pierre Christian aus Lyon, der ein Quecksilberthermometer mit der uns bekannten Temperaturskala konstruiert.

Ende des 19. Jahrhunderts: Das Bimetallthermometer, das die Deformation von Metall durch Wärme misst, und das Aufzeichnungsthermometer mit Bourdon'scher Röhre, auch Thermograph genannt, werden erfunden. Ein Thermograph ist ein Instrument, das den Temperaturverlauf mechanisch mit einem Stift in Diagrammform aufzeichnet.

1848: Als Folge der Entdeckung der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit führt der Engländer William Thomson (Lord Kelvin) eine absolute Temperaturskala ein. Die kinetische Theorie besagt, dass die absolute Temperatur die ständige Bewegung der Moleküle in einem Gas anzeigt, wobei der Wert 0 einem Zustand des vollkommenen Stillstands der Partikel entspricht.



a)



b)

Abbildung 4: Beispiel eines Metallthermometers (a) von 1841 und eines Alkoholthermometers (b) von 1589 (Quelle: météo France, www.meteo.fr)

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Die Erdumlaufbahn rund um die Sonne und der Neigungswinkel von 23°27' (was übrigens dem Breitengrad der Wendekreise entspricht), haben einen grossen Einfluss auf die Temperatur und im Besonderen auf die Temperaturveränderungen im zeitlichen Verlauf und in der räumlichen Verteilung. Somit ändert sich der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlen für einen bestimmten Breitengrad im Jahresverlauf. Die unten stehende Abbildung zeigt die globale Temperaturverteilung an einem bestimmten Tag.

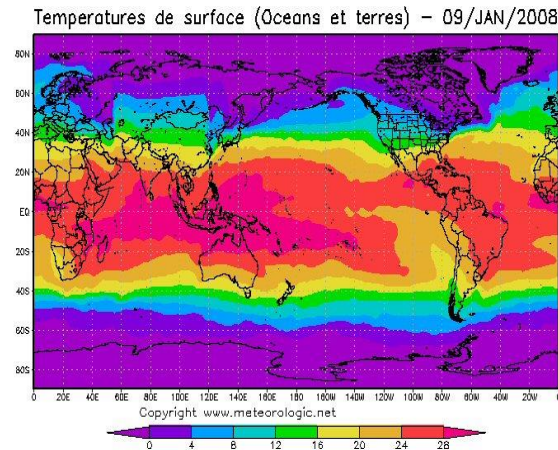


Abbildung 5: Verteilung der Erdtemperatur am 8. Januar 2008 (<http://www.meteorologic.net/>)

Die Temperatur ist ebenfalls von der Höhe abhängig. Generell wird mit einer Abnahme von 0,65 °C pro 100 m gerechnet. Dies ist lediglich ein Näherungswert, der jedoch die Veränderungen von Luftfeuchtigkeit, Luftdruck und anderen komplexen physikalischen Phänomenen ausser Acht lässt.

Die Temperatur verändert sich aber auch im Tagesverlauf. In der Schweiz ist es normalerweise am frühen Nachmittag am wärmsten. Am kältesten ist es bei Tagesanbruch, wie die unten stehende Abbildung zeigt.

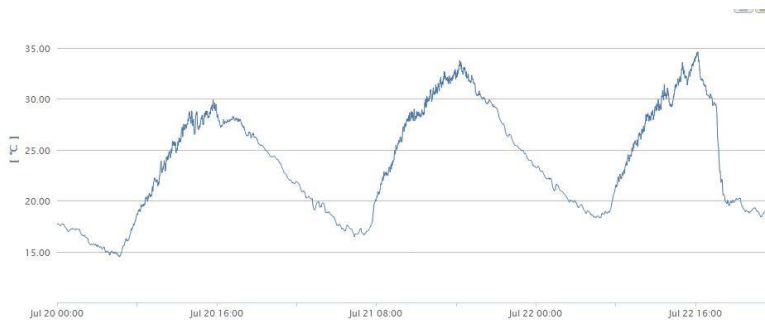


Abbildung 6: Temperaturverlauf in Sitten vom 20. bis zum 22. Juni 2013 (Quelle: Climascope und GLOBE)

Auch die Bodenbedeckung wirkt sich auf die Temperatur aus. So ist es in Städten wegen der Häuser aus Beton und der geteerten Strassen generell wärmer als in ländlichen Gegenden.

Gemäss der internationalen Kommission für Klimaveränderungen (IPCC) ist die Temperatur auf der Erde im Laufe des 20. Jahrhunderts um ca. 0,6 C gestiegen. Die unten stehende Abbildung zeigt die unterschiedlichen Temperaturverläufe während des 20. Jahrhunderts auf.

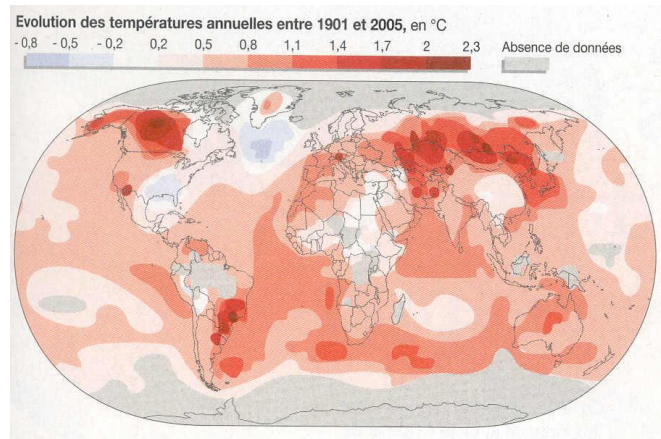


Abbildung 7: Temperaturentwicklung im Verlaufe des 20. Jahrhunderts (www.ipcc.ch/)

Laut den Wissenschaftlern IPCC wird die Erwärmung unseres Planeten im 21. Jahrhundert weitergehen. Von 1990 bis 2100 soll die globale Durchschnittstemperatur zwischen 1,4 °C und 5,8 °C steigen. Diese Spannweite geht aus den verschiedenen Klimamodellen hervor, aber auch von Emissionsszenarien, welche die möglichen Entwicklungen der Bevölkerung, der Wirtschaft und der Technologie in Betracht ziehen.

In der Schweiz sind die Temperaturen seit 1970 eindeutig gestiegen. Die in letzter Zeit gemessenen Jahresmittel lagen in allen Regionen des Landes 1,5 °C über den Messwerten, die vor 30 bis 40 Jahren erhoben wurden. Das Szenario «Schweiz 2050» sieht eine Erwärmung von 2 °C im Herbst, Winter und Frühling und von beinahe 3 °C im Sommer vor. Berücksichtigt man die Unsicherheitsfaktoren, so dürfte der Temperaturanstieg innerhalb einer Bandbreite von 1 bis 4 Grad schwanken.

GLOBE-Temperaturmessungen

Im Rahmen des GLOBE-Programms werden die durchschnittliche, die maximale sowie die minimale Temperatur gemessen. Das Protokoll für Temperaturmessungen ist im Anhang beschrieben.

Im GLOBE-Programm werden die Temperaturen mit einem manuellen oder digitalen Thermometer in einem Wetterhäuschen auf einer Höhe von 1,5 m über dem Boden gemessen. Das Häuschen sollte auf einer offenen Fläche stehen (keine Häuser und Bäume in der näheren Umgebung).

Das Maximum-Minimum-Thermometer erlaubt die Messung von Maximal- und Minimaltemperaturen über eine Zeitperiode. Dieses Thermometer besteht aus einem U-förmig gebogenen Glasröhrchen, das die Messflüssigkeit enthält und zwei Temperaturskalen hat, welche die seit dem letzten Ablesen erreichten Maximal- und Minimaltemperaturen anzeigen.

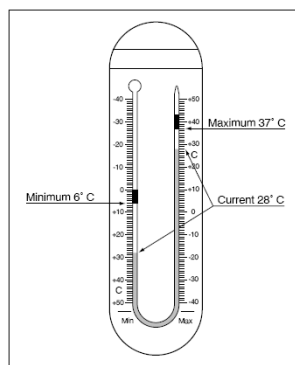


Abbildung 8: Funktionsweise des Maximum-Minimum-Thermometers

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Wann ist es im Verlaufe eines Tages am wärmsten und wann am kältesten? Warum?
- Wann ist es im Verlaufe eines Jahres am wärmsten und wann am kältesten? Warum?
- Wo ist es auf der Erde am wärmsten und warum?
- Wozu dient der Treibhauseffekt?
- Wie reagiert die Vegetation in eurer Region auf die Temperaturveränderungen?
- Welche Ungenauigkeiten kommen bei Temperaturmessungen vor?

Wissenswertes

- Die höchste je gemessene Lufttemperatur der Erde: 57,3 °C (13.9.1922) in Al Aziziyah in Libyen. Die tiefste je gemessene Lufttemperatur der Erde: -89,2 °C (21.7.1983) in Vostok in der Antarktis.
- In der Schweiz wurden folgende Rekordwerte gemessen: die Höchsttemperatur (11.8.2003) in Grono (GR) mit 41,5 °C und die kälteste Temperatur (12.1.1987) mit -41.8 °C in Brévine (NE).
- Ohne Atmosphäre würden die Tagestemperaturen auf der Erdoberfläche auf 100 °C klettern und in der Nacht auf -150 °C sinken, was den Temperaturen auf dem Mond entspricht.
- Worin besteht der Unterschied zwischen Temperatur und Wärme? Die Temperatur misst den momentanen Erregungszustand der Atome eines Systems. So ist ein Objekt zum Beispiel 20 °C warm. Die Wärme ist die Energie (in der Einheit Joule), die dem System zugefügt oder davon abgeführt werden muss, um dessen Zustand oder Temperatur zu ändern.

Niederschlag

Definition und Einheit

Zu den Niederschlägen zählt das Wasser, das entweder in flüssiger Form (Nieselregen, Regen, Platzregen), fester Form (Schnee, Hagel, Eisregen) oder als Ablagerung (Tau, Raureif, Reif, ...) auf die Erde fällt.

Unabhängig von der Form des Niederschlags wird die gefallene Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit gemessen. Gewöhnlich wird der Niederschlag in Millimeter (mm) oder Liter pro Quadratmeter (l/m²) ausgedrückt. 1 mm Niederschlag entspricht dabei 1 l Wasser pro m². Die Intensität des Regens ist die Wasserhöhe des gefallenen Wassers pro Zeiteinheit (normalerweise in mm/h ausgedrückt).

Niederschläge können hauptsächlich auf zwei Arten dargestellt werden, die sich durchaus ergänzen können. Das Niederschlagshistogramm mit Zeitintervallen ermöglicht die Beobachtung der Niederschlagsstruktur. Die kumulative Niederschlagskurve wiederum erlaubt das schnelle Ablesen des gesamten Regenanteils zu einem bestimmten Zeitpunkt.

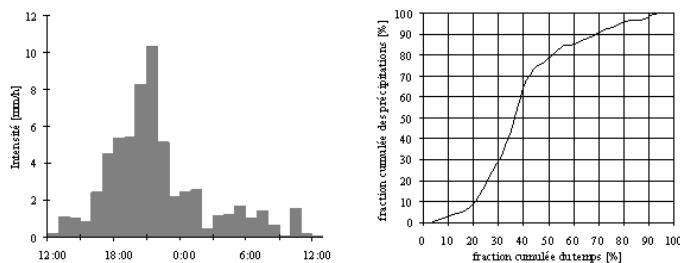


Abbildung 9: Histogramm und kumulative Kurve (Quelle: echo.epfl.ch/e-drologie)

Messung und Geschichte

Der Regenmesser sammelt die gesamte Wassermenge, die während des Zeitintervalls zwischen zwei Messungen in einen kalibrierten Behälter fällt. Der Wetter-RADAR (RADio Detection And Ranging) sendet Radiowellen, die vom Regen in der Atmosphäre reflektiert werden. Das «Echo» ermöglicht die Lokalisierung des momentanen Niederschlags und dessen Intensität. MeteoSchweiz verwaltet die Daten von mehr als 400 Stationen und drei Radarstationen, die über den ganzen helvetischen Raum verteilt sind.

Trotz der relativ einfachen Funktionsweise des Regenmessers existieren zahlreiche Fehlerquellen bei der Messung. Seit dem 17. Jahrhundert weiss man, dass ein Regenmesser auf dem Dach eines Bauwerks wesentlich weniger Niederschlag verzeichnet als einer, der in Bodennähe aufgestellt ist. Dies ist auf den Wind zurückzuführen, der in der Höhe kräftiger weht als in Bodennähe. Die Regenmesser werden im freien Feld aufgestellt, mit ausreichendem Abstand zu allen Hindernissen, welche Turbulenzen herbeiführen könnten. Generell wird von einem Messfehler von bis zu 30 % ausgegangen. Darüber hinaus kann die Regenmenge auf kleinstem Raum stark variieren.

Einem Sanskrit-Manuskript zufolge wird die Regenmenge in mehreren indischen Regionen seit dem vierten Jahrhundert v. Chr. gemessen. In Palästina ist in religiösen Niederschriften ab dem 2. Jahrhundert v. Chr. von Regenmessungen zu Landwirtschaftszwecken die Rede.

a)



b)



Abbildung 10: Regenmesser aus dem 15. Jahrhundert aus Korea (a) und Regenschreiber aus dem 20. Jahrhundert (b) (Quelle : météo France, www.meteo.fr)

1441: Der älteste gefundene Regenmesser stammt aus Korea und ist aus Bronze. Ein Regennetz deckte ganz Korea ab.

1663: Christopher Wren konstruiert den ersten Wetterschreiber. Dieser Apparat misst mehrere Wetterparameter gleichzeitig. Der Regenmesser besteht aus drei Behältern, wobei jeder Behälter in abwechselnder Reihenfolge die Regenmenge während einer Stunde sammelt. Daneben präsentiert Wren ebenfalls den Regenmesser mit Kippbehälter – ein Mechanismus, der in den heutigen Instrumenten noch verwendet wird.

Das Grundprinzip der Messung hat sich auch in Laufe der Zeit nicht gross verändert, einzig die Form und die Dimension der kegelförmigen Sammelbehälter variieren in verschiedenen Ländern und Epochen.

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Niederschläge variieren in Zeit und Raum. Die totale zusammengezählte Niederschlagswassermenge ist ein interessanter Indikator beim Vergleich von verschiedenen Orten. Die jährliche Niederschlagsmenge in der Schweiz liegt bei durchschnittlich 1000 mm. Es gibt aber auch Orte, an denen es weniger (Sitten, 600 mm) oder mehr (Lugano, 1300 mm) regnet.

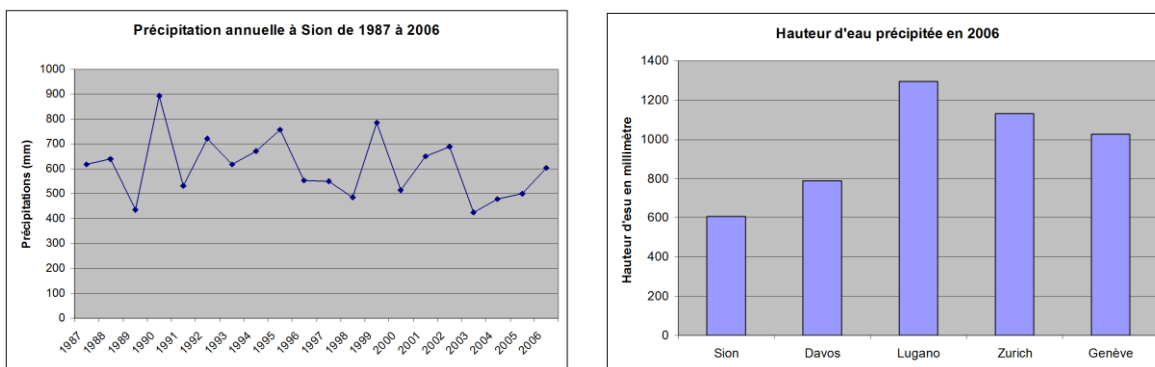


Abbildung 11: Entwicklung der jährlichen Niederschlagsmengen in Sitten 2006 und Niederschlagsmengen für verschiedene Schweizer Städte (Quelle: MeteoSchweiz)

Auf globaler Ebene herrschen grosse Unterschiede. In Wüstenregionen regnet es teilweise weniger als 100 mm pro Jahr, während in tropischen Regenwäldern mehrere tausend Millimeter pro Jahr gemessen werden können.

Anhand der monatlichen Verteilung der Niederschläge und der jährlichen Regenmenge kann die Niederschlagsverteilung eines Ortes beschrieben werden; zudem können globale Klimaregionen mit den gleichen Eigenschaften gebildet werden. In den gemässigten Breitengraden fällt in jedem Monat des Jahres Regen. In der ganzen Schweiz sind die Niederschläge abgesehen von einem Teil des Rhonetals im Sommer konzentriert. In der Region des Mittelmeers hingegen sind trockene Sommer und relativ feuchte Winter die Regel. Wie in der unten stehenden Abbildung aufgezeigt, gibt es mehrere Regionen mit einer Trocken- und einer Feuchtperiode.

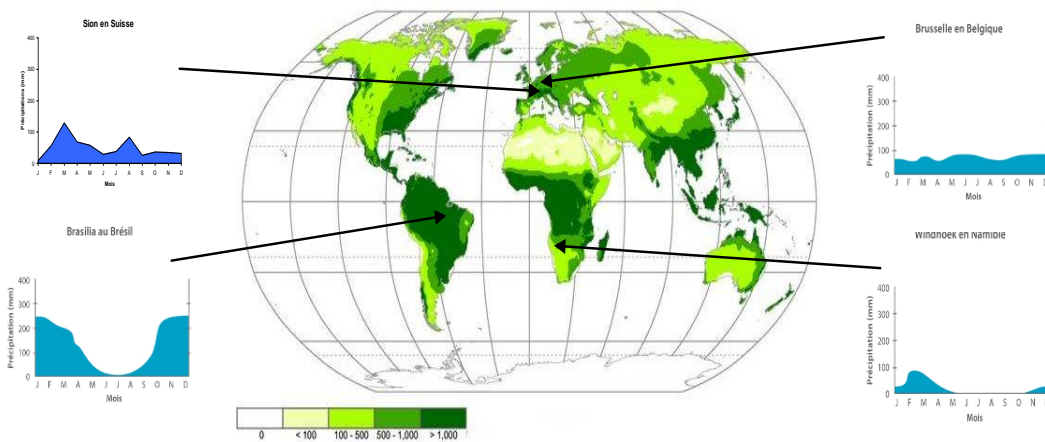


Abbildung 12: Verteilung der jährlichen Niederschlagsmengen auf der Erde und die monatliche Verteilung für 4 Städte. (<http://drinking-water.org>)

Laut MeteoSchweiz haben Niederschläge im Winter und extreme Wetterphänomene (Stürme usw.) im Verlaufe des 20. Jahrhunderts zugenommen. Die Sommerniederschläge sind hingegen unverändert geblieben. Gestützt auf die Vorhersagemodelle des IPCC dürften in der Schweiz die Niederschläge im Winter um 20 % zunehmen, diejenigen im Sommer 20 % abnehmen. Gleichzeitig muss mit einer Zunahme von extremen Wetterereignissen gerechnet werden. Da die aktuellen Modelle keine Auskunft über den Standort der zukünftigen Niederschläge geben können, muss bei der Vorhersage der Niederschläge im Frühling und Herbst mit grossen Unsicherheiten gerechnet werden.

GLOBE-Niederschlagsmessungen

Bei den GLOBE-Niederschlagsmessungen werden sowohl flüssige als auch feste Niederschläge erfasst. Diese Messungen werden mit einem Regenschirm gemacht, der auf 1 m über Boden montiert ist, sowie mit einem Schneebrett. Gemessen wird direkt am Messstandort im freien Feld. Es kann auch der pH-Wert dieser Niederschläge gemessen werden.

Sämtliche Protokolle für die Messungen von Niederschlag und pH befinden sich im Anhang.

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Wann regnet es im Verlaufe eines Jahres in eurer Region am meisten?
- Was würde geschehen, wenn nur die Hälfte der normalen Regenmengen eines Jahres fielen?
- Ist die Niederschlagsmenge eurer Schule vergleichbar mit den Messungen von den am nächsten gelegenen GLOBE-Schulen? Woher rühren diese Unterschiede oder Ähnlichkeiten?

Wissenswertes

- In der chilenischen Atacama-Wüste sind im Verlaufe der letzten 100 Jahre lediglich einige Millimeter Regen gefallen!
- Wirbelstürme bringen gigantische Regenmengen mit sich. Auf La Réunion wurde zwischen dem 7. und 8. Januar 1966 1825 mm Regen gemessen.
- Wieso schneit es? Wenn es kalt ist, kondensiert der Wasserdampf in der Luft direkt zu Eiskristallen auf Partikeln, die sich in der Luft befinden. Wenn diese Kristalle herunterfallen, schmelzen sie nicht, sondern vergrössern sich und bilden schliesslich das, was als Schneeflocke bezeichnet wird.
- Im Jahr 1864 wurden in der Schweiz zum ersten Mal Regenmessungen durchgeführt.

Relative Luftfeuchtigkeit

Definition und Einheiten

Die Feuchtigkeit steht für die Menge an Wasserdampf, die in der Luft vorliegt, wobei Wasser in flüssiger und gefrorener Form nicht miteinbezogen wird. Es muss zwischen der relativen und der absoluten Feuchtigkeit unterschieden werden. Die Luftfeuchtigkeit spielt eine Rolle bei der Bildung des Nebels, des Taus und den Wolken.

In der Regel wird die relative Luftfeuchtigkeit in % ausgedrückt. Sie entspricht dem Verhältnis des Partialdrucks des Wasserdampfs in der Luft zum Sättigungsdruck bei gleicher Temperatur und gleichem Druck. Dieses Verhältnis ändert sich mit der Temperatur und dem Druck. Die relative Luftfeuchtigkeit ist also eine Messung des Verhältnisses zwischen der aktuellen Wasserdampfmenge in der Luft zur maximalen Aufnahmekapazität von Wasserdampf bei gleichen Bedingungen. Die relative Feuchtigkeit folgt einer Skala von 0 bis 100 %. Bei 0 % ist die Luft absolut trocken und enthält absolut kein Wasser. Ab 100 % beginnt der Wasserdampf zu kondensieren. Der Sättigungsdruck und die relative Feuchtigkeit hängen von der Temperatur ab; je höher die Lufttemperatur, desto mehr Wasserdampf kann die Luft aufnehmen.

Die absolute Feuchtigkeit wird als Wasserdampfmasse (generell in Gramm) zum Luftvolumen der feuchten Luft (in m³ bei gegebenem Druck und gegebener Temperatur) ausgedrückt.

Messung und Geschichte

Die Hygrometrie – ein Synonym der Luftfeuchtigkeitsmessung – hatte angesichts der Schwierigkeiten beim Erkennen der genauen Beschaffenheit des Wasserdampfs während Jahrhunderten nur sehr langsam Fortschritte gemacht. Die relative Feuchtigkeit lässt sich mit zwei Arten von Instrumenten messen: mit dem Hygrometer und dem Psychrometer. Das Hygrometer basiert auf einem Element (Haar, Darm, Rosshaar), das die Fähigkeit besitzt, sich je nach Feuchtigkeit zusammenzuziehen oder auszudehnen. Das Psychrometer dagegen besteht aus zwei Thermometern; das erste misst die Temperatur der Umgebungsluft und das zweite – das Feuchttthermometer, dessen Sonde in Wasser getaucht ist – die Temperatur der Luft bei vorherrschender Sättigungsfeuchtigkeit. Je näher die beiden Temperaturen beieinander liegen, desto höher ist die relative Luftfeuchtigkeit.

Mitte des 15. Jahrhunderts: Die Vorläufer des Hygrometers verwendeten die hygroskopischen Eigenschaften von bestimmten organischen Substanzen (z. B. Wolle oder Schwämme), die bei der Feuchtigkeitsaufnahme Masse, Form, Länge oder Farbe ändern.

1781: Horace Bénédict von Saussure entwickelt das erste Haarhygrometer der Geschichte. Ein Zeiger verbunden mit dem Haar verschiebt sich vor einer Messskala.

1825: Ernst Ferdinand August verleiht einem neuartigen Instrument zur Messung der Luftfeuchtigkeit, das auf dem Prinzip der Wasserverdampfung beruht, den Namen Psychrometer. Während sehr langer Zeit bleibt das Psychrometer das bevorzugte Feuchtigkeitsinstrument für den Einsatz in Wetterhäuschen.

Heute existieren dank der Entwicklung von elektronischen Sensoren auch Hygrometer mit kapazitiven Sonden, deren dielektrische Beschaffenheit mit der Luftfeuchtigkeit variieren.

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Die relative Luftfeuchtigkeit ist eng an andere physikalische Grössen wie Temperatur und Druck gekoppelt. Je wärmer es ist, desto höher ist die relative Feuchtigkeit, wie die unten stehende Grafik zeigt.

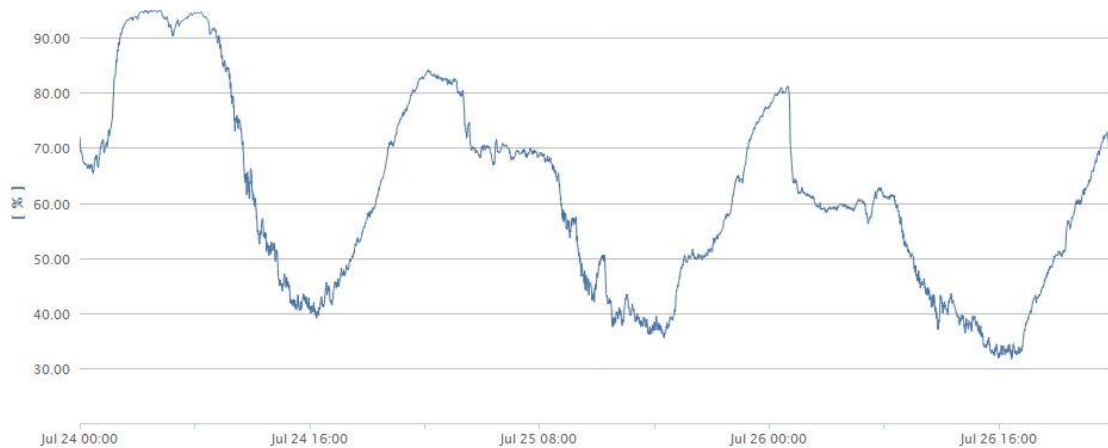


Abbildung 13: Entwicklung der relativen Feuchtigkeit zwischen dem 24. und 26. Juli 2013 in Sitten (Quelle: climAtscope)

Es ist schwierig, die Variationen, ihre Entwicklung und Tendenzen zu beschreiben. In den meisten numerischen Klimamodellen wird jedoch davon ausgegangen, dass eine Temperaturerhöhung mit einer erhöhten Verdampfung über dem Meerwasser einhergeht. Als Folge davon erhöht sich die in der Luft zur Verfügung stehende Feuchtigkeit.

GLOBE-Messung der relativen Feuchtigkeit

Im Rahmen des GLOBE-Programms zum Thema Atmosphäre werden die Feuchtigkeitsmessungen mit einem manuellen oder digitalen Hygrometer in einem Wetterhäuschen auf einer Höhe von 1,5 m über dem Boden gemessen. Diese Messung erfolgt am Beobachtungsstandort.

Alle für die Messung der relativen Feuchtigkeit erforderlichen Protokolle befinden sich im Anhang.

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Welche Umweltparameter beeinflussen die relative Feuchtigkeit?
- Zu welcher Tageszeit ist die relative Feuchtigkeit am höchsten? und am tiefsten?

Wissenswertes

- Damit sich Wolken und danach Niederschlag bilden können, braucht es eine relative Luftfeuchtigkeit von etwas über 100 %. Diese Übersättigung ist nötig, damit die Oberflächenspannung der Wassermoleküle überwunden werden kann und sich diese um einen Kondensationspartikel herum vereinigen können.
- Der Taupunkt der Luft ist die Temperatur, bei welcher der Teildruck des Wasserdampfs dem Sättigungsdampfdruck entspricht. Konkret heisst das, wenn feuchte Luft kontinuierlich abgekühlt wird, entspricht die Temperatur, bei der Wasser in flüssiger Form ausgeschieden wird, dem Taupunkt.

Druck

Definition und Einheiten

Der Atmosphärendruck entspricht dem Gewicht einer Luftsäule, das auf eine gegebene Fläche ausgeübt wird. Er wird gewöhnlich mit einem Barometer gemessen. Lange Zeit wurde der Luftdruck in Quecksilbermillimeter (mm Hg) gemessen, was auf den Gebrauch des Quecksilberthermometers zurückzuführen ist. Seit der Übernahme der Flächendruckeinheit Pascal benützen die Meteorologen ein Vielfaches dieser Einheit, das Hektopascal (1 hPa = 100 Pa). Der auf Meereshöhe gemessene Atmosphärendruck variiert um einen Mittelwert von 1013 hPa.

In der Meteorologie wird häufig von Druckzonen gesprochen. Auch der Begriff Druckgradient wird verwendet. Auf Isobarenkarten werden diese Druckzonen durch Isobarlinien (Isobaren) dargestellt, welche Orte mit gleichem Druck miteinander verbinden. Je näher die Isobaren zueinander stehen, desto grösser ist der Druckgradient und desto stärker bläst der Wind in dieser Region.

Hoch- und Tiefdruck

Das Hochdruckgebiet ist ein Atmosphären-Zirkulationsgebiet rund um ein Hochdruckzentrum (mehr als 1013 hPa, mit H gekennzeichnet). Die Drehrichtung wird von der Corioliskraft beeinflusst. Hochdruckgebiete bedeuten meistens schönes Wetter und klaren Himmel, da die absinkende Luft generell einen auflösenden Effekt auf die Wolken hat. Im Gegensatz dazu steht das Tief (weniger als 1013 hPa, markiert mit T). Tiefdruckgebiete werden mit schlechtem Wetter assoziiert, da die Dynamik um das Tief zu aufsteigenden Luftmassen führt. Die steigende Luft kühlt sich ab, erreicht den Taupunkt und der Wasserdampf kondensiert und bildet Niederschlag. Eine der Konsequenzen der unterschiedlichen Druckverteilung ist der Wind. Denn der Wind ist die Luft, die sich von den Hochdruckgebieten zu den Tiefdruckgebieten bewegt.

Um die Bewegung der Luftmassen wirklich verstehen zu können, muss man beachten, dass die Luft, die kreisförmig gegen ein Tief in der nördlichen Hemisphäre konvergiert, im Gegenuhrzeigersinn darauf zufließt. Der Bodenwind fließt in die Tiefdruckzone und steigt in einer sich verengenden Spiralförmigkeit in die Höhe. Im Gegensatz dazu divergiert die Luft in einem Hochdruckgebiet, das heisst, die absinkende Luft bewegt sich in der nördlichen Hemisphäre im Uhrzeigersinn in immer grösser werdenden Spiralen in Richtung Erdoberfläche. Die Luft «zerfließt» auf dem Boden.

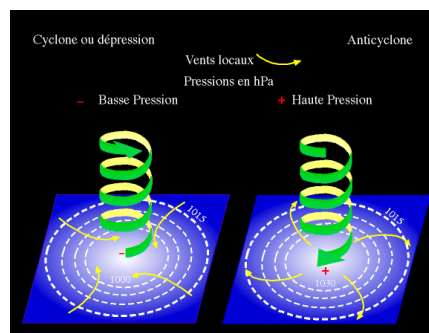


Abbildung 14: Hochdruckgebiet und Tiefdruckgebiet in der nördlichen Hemisphäre (www.cifcn.ulg.ac.be)

Messung und Geschichte

Das Barometer misst den Atmosphärendruck. Es kann auch zur ungefähren Bestimmung der Höhe eingesetzt werden. Es existieren verschiedene Barometertypen. Beim Quecksilberbarometer wird der Atmosphärendruck mit einem mit Quecksilber gefüllten senkrechten Rohr gemessen, das am oberen Ende luftdicht verschlossen ist. Das Prinzip des Aneroidbarometers (oder Dosenbarometers) wiederum basiert auf der Verformung eines

dosenartigen Hohlkörpers aus dünnem Blech, der auf einer Seite mit der Atmosphärenluft und auf der anderen mit dem Vakuum in Kontakt ist. Die «Dose» lässt sich verformen, kann aber aufgrund ihrer Form, die ihr ein federähnliches Verhalten verleiht, nicht vollständig eingedrückt werden. Ein mechanisches System ermöglicht die Verstärkung der Deformationssignale, was eine Anzeige der Veränderung des Atmosphärendrucks oder eine Aufzeichnung auf Millimeterpapier ermöglicht. Schliesslich existieren elektronische Barometer, welche die Deformation einer Vakuumkapsel in ein digitales Signal umwandeln.

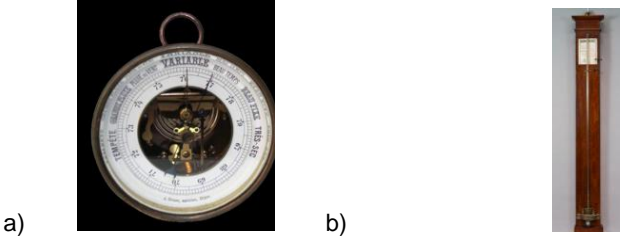


Abbildung 15: Beispiel eines Aneroidbarometers (a) und eines Quecksilberbarometers (b) (<http://fr.wikipedia.org>)

1643: Torricelli erfindet das erste Barometer. Mit dem Ziel, die Variation des Luftgewichts zu messen, füllt Torricelli ein 1 Meter langes, an einem Ende verschlossenes Glasrohr mit Quecksilber. Er dreht dieses Rohr um und taucht es in ein mit Quecksilber gefülltes Becken. Dann stellt er fest, dass sich die Höhe des Quecksilbers im Rohr absenkt und dabei ein Vakuum zwischen dem verschlossenen Rohrende und der Quecksilbersäule entsteht. Damit hat er den Atmosphärendruck entdeckt.

1647: Descartes fügt dem Torricelli-Rohr eine Skala hinzu.

1648: Blaise Pascal und sein Schwager Florin Périer bestätigen den Zusammenhang zwischen der Veränderung des Atmosphärendrucks und der Höhenlage des Messstandorts. Die beiden führen in Clermont-Ferrand und auf dem Gipfel des Puy de Dôme Messungen mit dem Torricelli-Rohr durch und stellen fest, dass die Höhe der Quecksilbersäule mit zunehmender Höhe über Meer abnimmt.

1843: Der Ingenieur Lucien Vidie konstruiert das erste Aneroidbarometer.

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Der Atmosphärendruck variiert in der horizontalen und der vertikalen Ebene. Die Variation in der Vertikalen ist jedoch bedeutend höher. Beim Aufsteigen in die Höhe von einigen Metern kann der Druckunterschied bereits 1 hPa betragen, während auf der Horizontalen Druckänderungen dieser Grössenordnung in gewissen Fällen erst mit der Verschiebung von mehreren zehn Kilometern auftreten. Wie in der unten stehenden Abbildung dargestellt, nimmt der Druck in der Höhe ab.

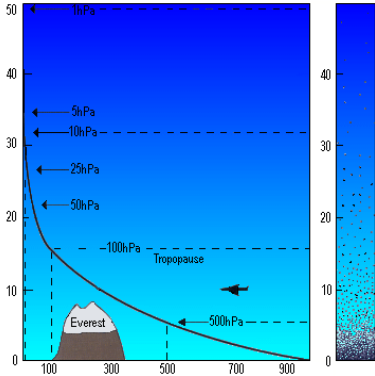


Abbildung 16: Veränderung des Atmosphärendrucks mit der Höhe (<http://chez.mana.pf/~pascalrene/autrpara.html>)

Es gibt keine Berichte, die eine Tendenz zu einer Entwicklung bei der horizontalen und vertikalen Verteilung des Atmosphärendrucks aufzeigen. Zwei Studien aus dem Jahr 2005 belegen, dass die Anzahl Tiefdruckgebiete stabil bleibt, deren Intensität aber seit einem halben Jahrhundert im Steigen begriffen ist. Dagegen haben die Tiefs der Kategorie 4 und 5 von 1970 bis 2004 um 57 % zugenommen.

GLOBE-Druckmessungen

Im Rahmen des GLOBE-Programms zum Thema Atmosphäre werden die Druckmessungen mit einem manuellen oder digitalen Aneroidbarometer in einem Wetterhäuschen auf einer Höhe von 1,5 m über dem Boden gemessen. Um die Vergleichbarkeit von Druckmessungen zu ermöglichen, werden die Messwerte auf die Meereshöhe bezogen.

Alle für die Druckmessungen erforderlichen Protokolle befinden sich im Anhang.

Normalerweise hat das Aneroidbarometer zwei Skalen, eine in Millibar (oder Hektopascal) und eine in Millimeter Quecksilber. Alle GLOBE-Messungen sollten in Millibar oder Hektopascal vorgenommen werden. Das Barometer verfügt über eine Nadel, die auf den täglich abgelesenen Wert eingestellt werden kann – es sollte täglich nach der Messung auf diesen Wert gestellt werden. Dank dieser Feststellnadel lassen sich die Werte des Vortages auf einen Blick mit den aktuellen Messungen vergleichen.

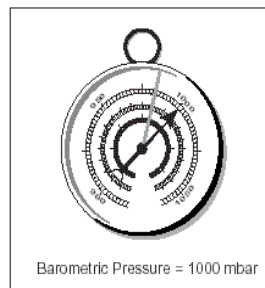


Abbildung 17: Aneroidbarometer

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Welche Parameter beeinflussen den Druck am stärksten?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen einem Tiefdruckgebiet und dem Wetter, das es bewirkt? Wann hat es am meisten Wolken? Bei einem Hochdruckgebiet oder bei einem Tiefdruckgebiet?

Wissenswertes

- Auf Meereshöhe variiert der Atmosphärendruck gewöhnlich zwischen 1040 und 970 hPa, in Extremsituationen können diese Werte aber über- bzw. unterschritten werden, zum Beispiel im Zentrum eines Tiefs. So hatte der Wirbelsturm Tip in der Philippinensee am 12. Oktober 1979 im Zentrum einen Druck von lediglich 870 hPa und somit den tiefsten je gemessenen Atmosphärendruck. Im Gegensatz dazu steht das Hoch von Agata in Sibirien, das im Dezember 1968 einen Druck von 1084 hPa verzeichnete.
- In der Luftfahrttechnik wird die Druckabnahme mit der Höhe verwendet, um den Piloten jederzeit über die aktuelle Flughöhe zu informieren, was speziell bei der Landung von grossem Nutzen ist.

Wolken

Entstehung und Rolle

Wasserdampf, das heisst Wasser in gasförmigem Zustand, kann sich unter günstigen Temperatur- und Druckbedingungen in kleine Wassertropfen oder feine Eiskristallen umwandeln. Wenn sich diese Tröpfchen in grosser Anzahl in der Atmosphäre konzentriert bilden, hemmen sie den Durchgang des Sonnenlichts so stark, dass wir diese Ansammlung als Wolke wahrnehmen. Die Wolkenbildung hat ihren Ursprung in den Vertikalwinden, die Horizontalwinde verändern lediglich den Standort der Wolke.

Die Wolken geben Auskunft über die Temperatur, die Windbedingungen, die Verschiebung von Luftmassen und über die vorherrschende Luftfeuchtigkeit in der Atmosphäre. Die Beobachtung der Wolken ist sehr nützlich für die Wettervorhersage. Wolken haben zudem eine komplexe Wirkung auf das Klimasystem. Sie verursachen Niederschläge und beeinflussen die Menge der Sonnenenergie, die zur Erde durchdringt.

Der Wolkentyp und die Wolkenmenge, die über einem gegebenen Ort entstehen, werden natürlich durch die lokal vorherrschenden Bedingungen auf der Erde beeinflusst. Auch menschliche Aktivitäten können die Wolkenbildung beeinflussen. Ein gutes Beispiel dafür sind die Kondensstreifen, die von Düsenflugzeugen verursacht werden.

Es existieren drei grosse Wolkenfamilien, die Cumulus («Quellwolke»), die Stratus, die aus ausgebreiteten Wolkenteppichen besteht, und schliesslich die Cirrus (Federwolke, ausschliesslich in der Höhe präsent).



Abbildung 18: Drei Wolkenarten a) Stratus, b) Cumulus und c) Cirrus (Quelle: GLOBE)

GLOBE-Druckmessungen

Wolkenbeobachtungen im Rahmen des GLOBE-Programms zum Thema Atmosphäre werden von den Schülerinnen und Schülern im Freien vorgenommen. Es müssen sowohl der Wolkenbedeckungsgrad als auch der Wolkentyp erfasst werden. Eine Hilfe zur Bestimmung des Wolkentyps sowie das Messprotokoll befinden sich im Anhang.

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Variiert die Wolkenbedeckung im Jahresverlauf?
- Welche Rolle spielen Wolken beim Treibhauseffekt?
- Welche Informationen über das Wetter liefern uns Wolken?

Wissenswertes

- Wissenschaftler haben berechnet, dass die Temperatur auf der Erde 20 °C wärmer wäre, wenn sich in der Atmosphäre keine Wolken bilden würden.
- Léon Teisserenc de Bort entdeckte im Jahr 1902 durch ungefähr 200 Ballonversuche, die er jeweils in der Nacht durchführte, um den Effekt der Sonnenstrahlung zu umgehen, die Tropopause. Er kam zur Schlussfolgerung, dass die Erdatmosphäre aus zwei Schichten besteht: aus der Troposphäre und der Stratosphäre.

Wind

Definition und Einheiten

Der Wind ist der physikalische Parameter, der die Bewegung der Luftmassen charakterisiert. Er entsteht aus dem Druckunterschied zwischen zwei Luftmassen. Was wir als Wind wahrnehmen, ist die Verschiebung von Luftmassen von den Hochdruckgebieten (Hochs) zu den Tiefdruckgebieten (Tiefs).

Die Windrichtung und -geschwindigkeit sind messbare Grössen, die zur Analyse der Dynamik der Luftmassen benötigt werden. Die Windrichtung zeigt an, aus welcher Richtung der Wind weht. Die verwendeten Einheiten dieser Messung sind die Himmelsrichtungen (N, O, S, W) oder der Winkelgrad. Ein «Südwestwind» bedeutet, dass die Luft vom Südwesten her in Richtung Nordosten unterwegs ist. Die Geschwindigkeit kann in Meter pro Sekunde (m/s), Kilometer pro Stunde (km/h) oder Knoten (kt) angegeben werden (1 Knoten entspricht einer Seemeile pro Stunde, ungefähr 1,852 km/h).

Entstehung des Windes

Wer vom Wind spricht, spricht zwingend auch vom Druck. Denn die Entstehung des Windes ist mit der ungleichen Verteilung des Atmosphärendrucks verknüpft. Diese Ungleichheit hat ihren Ursprung einerseits in der ungleichmässigen Verteilung der Sonneneinstrahlung auf der Erdoberfläche und andererseits in den unterschiedlichen thermischen Eigenschaften der Kontinentaloberflächen und der Meere. Je grösser der Druckunterschied, desto stärker der erzeugte Wind.

Würde sich die Erde nicht um ihre eigene Achse drehen, dann wäre die Luftzirkulation direkt (gerade) zwischen den Zentren der Hochdruckgebiete und den Tiefdruckgebieten. Die Erdrotation lenkt die Luftströmung in der nördlichen Hemisphäre jedoch nach rechts ab (und auf der südlichen Hemisphäre nach links). Diese Ablenkung nennt man Corioliskraft. Sie ist proportional zur Distanz zwischen dem Hoch und dem Tief und zur geografischen Breite. Am Äquator ist sie inexistent und nimmt mit der geografischen Breite zu. Um die reelle Windrichtung zu verstehen, muss zusätzlich der Reibungseffekt, der von der Erdoberfläche ausgeht, miteinbezogen werden.

Messung und Geschichte

Zur Messung der Windgeschwindigkeit wird ein Anemometer eingesetzt. Dieses Instrument besteht aus 3 Halbkugel-Schalen, die an den Enden von Metallstangen angebracht sind. Ein mit der Achse verbundener Zähler erlaubt das Ablesen und Festhalten der Windgeschwindigkeiten.



Abbildung 19: Beispiel eines Anemometers (a), einer Windfahne (b) und eines Windsacks (c) (www.meteole.net)

Die Windrichtung wird gewöhnlich als Himmelsrichtung ausgedrückt, und zwar von der Richtung, aus der er weht. Er kann ebenfalls in Winkelgrad angegeben werden (für einen Wind aus Südwest: 220°). Um die Windrichtung festzustellen, wird eine Windfahne oder ein Windsack benutzt, häufig in Kombination mit einem Anemometer.

1673: Das erste Rotationsanemometer (die Windgeschwindigkeit wird anhand der Rotationsgeschwindigkeit einer Schraube hergeleitet) wird in einem Buch beschrieben, das vermutlich aus der Feder von René Grillet stammt.

1806: Der englische Admiral Sir Francis Beaufort führt die numerische Skala der Windstärke von 0 bis 12 ein, wozu er das Segelwerk einer dreimastigen Fregatte als Referenz herbeizog.

1835: Im Artikel «Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps» beschreibt Gaspard-Gustave Coriolis erstmals mathematisch die Kraft, die heute seinen Namen trägt.

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Die zahlreichen gesammelten meteorologischen Daten bestätigen, dass die Luftzirkulation rund um den Globus sehr variabel ist und von der Beschaffenheit der Erdoberfläche (Kontinente oder Meere) und den Gebirgsketten abhängt. Trotzdem ist es möglich, gewisse charakteristische Situationen auszumachen. Zwischen dem Wendekreis des Krebses und dem Äquator zum Beispiel werden die Winde der nördlichen Hemisphäre nach Westen abgelenkt, wodurch die bekannten Nordost-Passatwinde entstehen. In dieser Zone bilden sich die tropischen Tiefdruckgebiete.

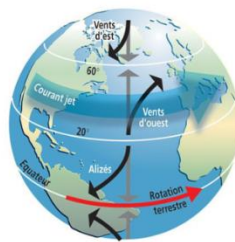


Abbildung 20: Globale Hauptwinde (www.prim.net)

Auf der Erde gibt es mehrere Regionen mit sehr charakteristischen Lokalwinden, die von der lokalen Bevölkerung spezielle Namen erhalten. Ein paar Beispiele: Bise, Föhn, Mistral, Joran.

Die internationale Kommission für Klimaveränderungen (IPCC) und der Bericht Schweiz 2050 sagen eine geringere Häufigkeit von Unwettern für Zentraleuropa voraus, gleichzeitig aber eine steigende Häufigkeit von Extremphänomenen wie z. B. die Stürme Vivian und Lothar

GLOBE-Windmessungen

Dieser Parameter ist nicht Teil des Programms von GLOBE International.

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Welches sind die wichtigsten Windarten in eurer Region?
- Warum wird der Wind gemessen?

Wissenswertes

- Der stärkste je gemessene Bodenwind (Böe) von 416 km/h wurde von der Station Peak Gust auf dem Gipfel des Mount Washington (USA) registriert.
- Die letzten drei Stürme, die über die Schweiz zogen, hiessen Vivian (Februar 1990, 160 km/h in Zürich und 268 km/h auf dem grossen St. Bernhard), Lothar (Dezember 1999 mit 180 km/h in Brienz) und Kyrill (Januar 2007, 132 km/h in Zürich). In Italien wurde am 26. Januar 1994 auf dem Monte Fraiteve eine Windgeschwindigkeit von 161 km/h gemessen.
- Der Jetstream ist ein starker Luftstrom (300 bis 400 km/h) auf über 10 000 Meter Höhe, der von Westen nach Osten rund um die Erde geht. Er wurde im Jahr 1926 entdeckt und war die Ursache für zahlreiche Flugunfälle.

- Ein Wirbelsturm ist ein sehr starkes Tief, das in der innertropischen Zone über dem warmen Ozean entsteht. Das Tief ruft sehr heftigen Wind und Regenfall hervor. Wirbelstürme werden als Orkan/Hurrikan bezeichnet, wenn sie sich im Karibischen Meer bilden, und als Taifun, wenn sie den Ostpazifik oder das Chinesische Meer überqueren.

Sonnenstrahlung

Einführung und Kontext

Die Sonne ist die natürliche Hauptenergiequelle der Erde. Die Nuklearfusion, die sich im Innern der Sonne abspielt, setzt eine kolossale Energie frei, die uns einige Minuten nach ihrer Entstehung (die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt 300 000 km/s) in Form von elektromagnetischer Strahlung zukommt. Diese Wellen, die auch als Sonnenstrahlung bezeichnet werden, bestehen aus einer Bandbreite von verschiedenen Wellenlängen, angegeben in Nanometer (ein Nanometer (nm) entspricht einem Milliardstel Meter). Sie können in drei grosse Gruppen eingeordnet werden.

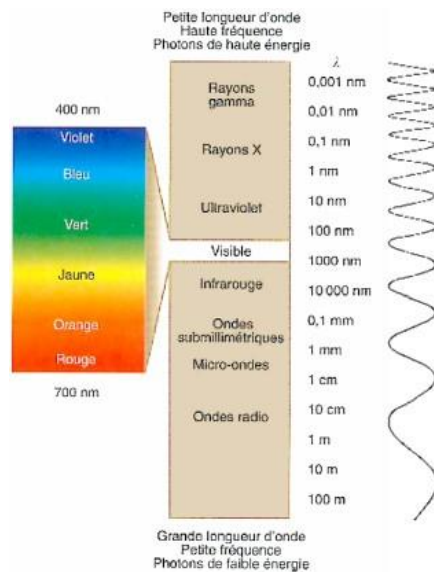


Abbildung 21: Wellenlänge und Wellenspektrum der Sonnenstrahlung (www.ccrs.nrcan.gc.ca)

- Die kurzwellige Strahlung ist unsichtbar für uns Menschen und besteht aus der Gammastrahlung (Wellenlänge zwischen 0,001 und 0,01 nm), den X-Strahlen, die für die Röntgenuntersuchung benutzt werden (zwischen 0,1 und 10 nm) und den ultravioletten Strahlen (UV, zwischen 10 und 400 nm), verantwortlich für die Sonnenbräunung. Diese Strahlengruppe repräsentiert lediglich 6 % der totalen Energie, die von der Sonne freigesetzt wird. Die Gamma- und X-Strahlen sind extrem gefährlich, werden aber zum Glück durch unsere Atmosphäre blockiert. Ein grosser Teil der UV-Strahlung wird durch die Ozonschicht gefiltert.
- Das sichtbare Licht mit Wellenlängen von 380 bis 780 nm repräsentiert zirka 46 % der von der Sonne ausgestrahlten Gesamtenergie. Strahlen mit der Wellenlänge von 450-500 nm werden von uns als blau wahrgenommen, solche mit Wellenlänge zwischen 620 und 700 nm als rot.
- Die langwellige Strahlung ist ebenfalls unsichtbar für das menschliche Auge und umfasst die Infrarotstrahlung (zwischen 1000 und 300'000 nm), die Mikrowellen (zwischen 3 und 10 cm) und die Radiowellen (> 10 cm). Diese Strahlengruppe macht ungefähr 48 % der gesamten von der Sonne freigesetzten Energie aus und wird als Wärme wahrgenommen.

Definition und Einheiten

Die Sonnenstrahlung ist eine Welle, die von der Sonne ausgesendet wird und Energie liefert. Die Einheit hierfür ist Watt pro Quadratmeter (W/m^2).

Die Sonnenstrahlung ermöglicht die Produktion von Sonnenenergie, und zwar entweder als Wärme oder als Elektrizität. Diese erneuerbare Energiequelle besitzt ein grosses Ausbaupotential, da die Sonne das 40 000-Fache der von der Menschheit konsumierten Energie liefert. Zu viel UV-Strahlung oder zu geringe Schutzmassnahmen gegen diese Strahlung schaden jedoch der menschlichen Gesundheit. Sie kann zu Hautkrebs, vorzeitiger Hautalterung (Falten), Verbrennungen (Sonnenbrand) und grauem Star führen. Sie beeinflusst ebenfalls in beträchtlichem Mass die Vegetation. Die UV-Strahlen dringen zudem in Wassertiefen bis zu 20 m ein und schädigen so die mikroskopischen Lebensformen wie Plankton, aber auch Fischlaich, Garnelen, Krabben und Meeresalgen.

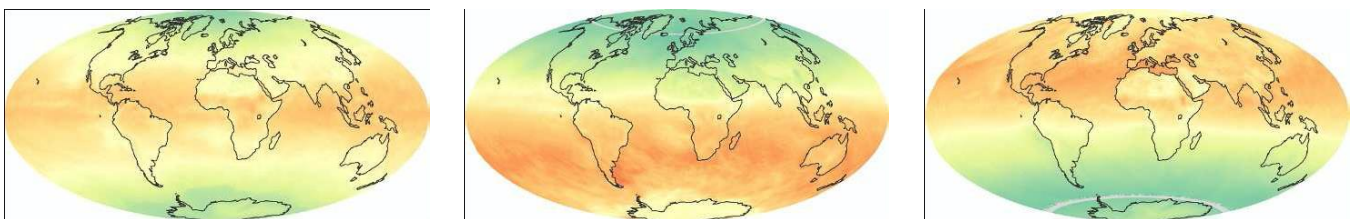
Mit steigender Höhe nimmt die schützende Atmosphärenschicht ab: In den Bergen nimmt die Intensität der Sonnenstrahlung zu, weil die Strahlung weniger gefiltert wird. Die Strahlungsenergie hängt also unter anderem von der Höhe und der geografischen Breite ab.

Messung und Geschichte

Je nach der Wellenlänge, die gemessen werden soll, und dem Beobachtungspunkt (Erde oder Weltraum) können verschiedene Geräte eingesetzt werden. Der Heliograf wurde von Campbell im Jahre 1853 erfunden und 1879 durch Stokes modifiziert. Der Heliograf ist eine Glaskugel, die eine konvergente Linse darstellt und die Sonnenstrahlen auf den Messstreifen konzentriert (Kartonstreifen oder Solarzelle), der die Sonnenscheindauer misst. Eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte messen die verschiedenen Komponenten der Sonnenstrahlung, die für die Meteorologie von Interesse sind. Das Pyranometer misst die Globalstrahlung, also die Gesamtstrahlung, die von der Sonne direkt oder indirekt über die Atmosphäre auf die Erde einwirkt. Das Pyrheliometer hingegen misst einzig die direkte Sonnenstrahlung, nicht aber das diffuse Licht der Atmosphäre. Es wurden unterschiedliche Techniken angewandt, die meistens auf der Messung eines erhitzten schwarzen Körpers beruhen. Die gemessene elektrische Spannung verhält sich proportional zur eingehenden Sonnenstrahlung.

Zeitliche und räumliche Entwicklung, Tendenzen

Wie bereits im Kapitel über die Temperatur erwähnt, sind die Jahreszeiten der Neigung der Erde zu verdanken. Die Sonnenenergie pro Quadratmeter ist schwächer in den Polarregionen als rund um den Äquator. Diese Neigung bleibt während eines jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne unverändert. Bei Frühlings- und Herbst-Tagundnachtgleiche (21. März und 21. September) steht die Sonne am Mittag senkrecht über dem Äquator (Breitengrad 0). Bei Sommersonnenwende (21. Juni) scheint die Sonne senkrecht über dem nördlichen Wendekreis (geografische Breite $23^{\circ}27'$ N). Somit zeigt die nördliche Hemisphäre während unserem Sommer gegen die Sonne. Dabei sind die Tage länger als die Nächte. Zudem geht die Sonne in dieser Jahreszeit in den Zonen nördlich des arktischen Polarkreises nicht unter. Bei Wintersonnenwende (22. Dezember) scheint die Sonne dann senkrecht auf den südlichen Wendekreis (geografische Breite $23^{\circ}27'$ S).



März und September

Dezember

Juni



Abbildung 22: Monatliche Netto-Sonnenstrahlung in W/m^2 (<http://earthobservatory.nasa.gov>).

Gemessen am Jahresdurchschnitt besteht ein Netto-Überschuss an Energie rund um den Äquator und ein Netto-Defizit in den Polarregionen. Dieses energetische Ungleichgewicht ist die Hauptantriebskraft der atmosphärischen Zirkulation und der grossen Meeresströmungen.

Die Messungen mit Raumsonden zeigen, dass die Strahlungsintensität seit 1980 relativ stabil geblieben ist und im Verlaufe eines Sonnenzyklus von 11 Jahren lediglich um 0,15 % fluktuiert.

Das Ozon, O^3 , ist ein Gas, das die menschliche Lunge schädigt. Auf Bodenhöhe kommt es glücklicherweise nur in geringer Konzentration vor. In der Stratosphäre (auf 10–30 km Höhe) wird ein Grossteil der ultravioletten Sonnenstrahlung (UV) durch die Ozonschicht gestoppt. Seit 1980 wird jedoch eine Abnahme der Ozonschicht beobachtet, die auf den Einsatz gewisser chemischer Produkte (FCKW) zurückzuführen ist. In unseren Breitengraden hat dies zu einer Erhöhung der UV-B-Strahlung geführt. Diese energiereiche Strahlung kann die menschliche Gesundheit beeinträchtigen (Sonnenbrand, Hautkrebs, Beeinträchtigung des Sehvermögens). Das Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen, ist ein internationales Abkommen mit dem Ziel, den Einsatz der verantwortlichen chemischen Substanzen zu reduzieren. Heute verpflichteten sich 191 Unterzeichnerstaaten zur Einhaltung dieser Ziele.

GLOBE-Windmessungen

Dieser Parameter ist nicht Teil des Programms von GLOBE International.

Welche Fragen kann ich meinen Schülerinnen und Schülern stellen?

- Wann ist es in deiner Region am wärmsten?
- Weshalb ist die Messung der Sonnenstrahlung wichtig?
- Warum wird die Sonnenstrahlung gemessen?

Wissenswertes

- Warum sind die Wolken weiss? Sie sind weiss, weil alle Farben des Lichts durch die Wassertröpfchen der Wolke gestreut werden. Die Mischung von all diesen Farben ergibt das weisse Licht.
- Warum ist der Himmel blau? Die beiden wichtigsten Faktoren, welche die Himmelsfarbe mitbestimmen, sind die Höhe der Atmosphäre, welche die Sonnenstrahlung durchdringen muss, und der Einfallswinkel, der von der geografischen Breite abhängt. Je höher und dichter die Atmosphäre ist, desto mehr des sichtbaren Lichts absorbiert und streut sie. Das blaue Licht resultiert aus der Streuung des Sonnenlichts durch die Atmosphäre, die aus Luftmolekülen, Wasser und Staub besteht. Ohne die Atmosphäre würden wir auch tagsüber ein schwarzes Himmelsbild sehen und das Licht der Sterne. Wenn die Sonnenstrahlen in die Atmosphäre eintreten, treffen sie auf Atome, Luftmoleküle, Wassertropfen und Staub. Die Luftmoleküle haben das richtige Ausmass, um die kürzesten Wellenlängen des sichtbaren Lichts, also Violett, Indigo und Blau, zu streuen, während die langwelligeren Strahlen wie die roten von diesen Molekülen praktisch unbeeinflusst bleiben. Es ist die Mischung aus Violett, Indigo, Blau, Grün und einem kleinen Anteil von anderen Farben, die den Himmel blau erscheinen lassen.

Der Klimawandel

Definition

Das Klima der Erde variiert von Natur aus. Diese Veränderungen sind hauptsächlich auf die Variation der Erdumlaufbahn, die Erdachsenneigung, das Abdriften der Kontinente, die Fluktuationen der Sonnenaktivitäten und auf Vulkanausbrüche zurückzuführen. Die Zeitintervalle dieser Variationen reichen von einigen Hundert Jahren bis zu mehreren Zehntausend Jahren.

Als Klimawandel wird die Gesamtheit der zeitlichen Variation der Klimaparameter für einen bestimmten Ort bezeichnet. Es kann sich dabei um eine Erwärmung oder eine Abkühlung handeln. Die im Kapitel über die Temperatur beschriebenen indirekten Messungen haben den Wissenschaftlern ermöglicht, die Temperaturen der Vergangenheit zu bestimmen und somit deren Entwicklung im Verlaufe der Zeit.

Temperaturveränderungen im Verlaufe der Zeit

Die ersten Milliarden Jahre des Erdklimas sind weitgehend unbekannt. Es wird vermutet, dass die Erde damals aufgrund des sehr hohen CO₂-Anteils in der Luft und der im Vergleich zu heute stärkeren Sonne wärmer war. In den letzten 650 000 Jahren gab es sieben Zyklen von Gletscherrückzug und -ausdehnung. Die letzte dieser Ausdehnungsperioden endete sehr schnell vor ca. 20 000 Jahren und somit zeitgleich mit dem Beginn unseres aktuellen Klimas und der Expansion der Menschheit. Die meisten dieser Veränderungen werden mit kleinsten Variationen der Erdumlaufbahn in Verbindung gebracht und somit mit der Sonnenenergie, die der Erde zukommt.

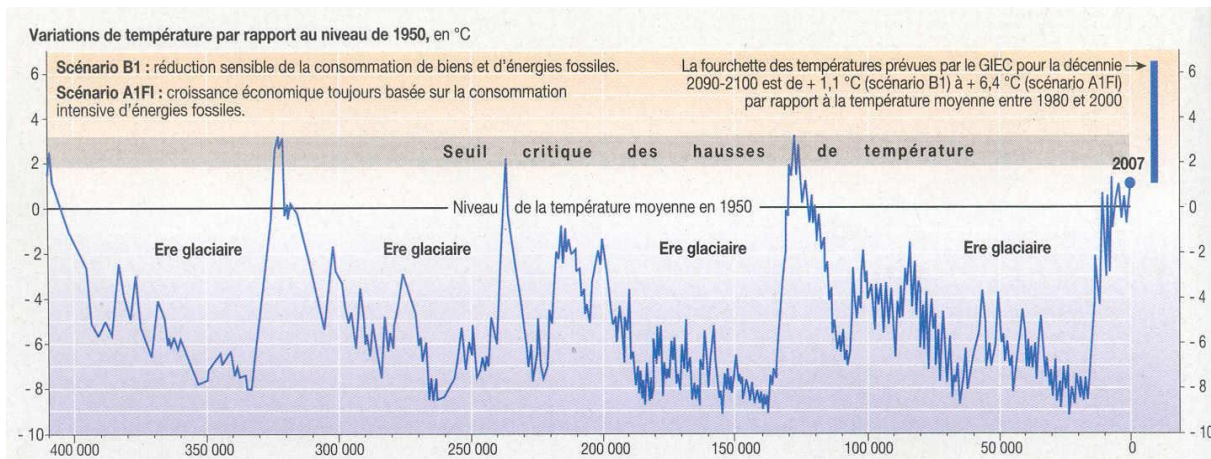


Abbildung 23: Temperaturvariationen seit 400 000 Jahren, bezogen auf die Durchschnittstemperatur von 1950.

Die oben stehende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf in den letzten 400 000 Jahren auf. Bei der Betrachtung der letzten 400 000 Jahre wird klar, dass schon früher ähnliche Temperaturen wie die heute gemessenen Werte auftraten (allerdings waren da die CO₂-Werte tiefer). Es ist gerade dieser exponentielle Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, der auf eine Erhöhung der Temperatur hindeutet.

Wie wir bereits gesehen haben, ist der Treibhauseffekt ein natürliches Phänomen der Atmosphäre, der das Leben auf der Erde erst ermöglicht hat. Dieser Effekt ist hauptsächlich auf die Treibhausgase zurückzuführen. Es existiert also ein direkter Zusammenhang zwischen Treibhausgasen (CO₂, Methan, ...) und Klimawandel. Denn wenn die Konzentration der Treibhausgase steigt, wird mehr Energie zurückgehalten und die Temperatur steigt, was eine Klimaerwärmung bewirkt. Das Problem liegt darin, dass die CO₂-Konzentration seit Hunderttausenden oder sogar Millionen von Jahren nicht mehr so hoch war wie heute, wie die unten stehende Abbildung zeigt.



Abbildung 24: Entwicklung der CO₂-Konzentration im Zeitverlauf (Quelle: atlas environnement).

Seit Beginn des Industriezeitalters (1750) führen die Verbrennung von fossilen Ressourcen (Erdöl, Kohle, Gas), die Waldrodungen und die landwirtschaftlichen Anbaumethoden zu einer Erhöhung der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre. Zu diesen menschengemachten Emissionen kommen die natürlichen (Atmung und Zerfall von lebenden Organismen, Vulkaneruptionen usw.). Andererseits wird ein grosser Teil dieser Treibhausgase, insbesondere das CO₂ der Atmosphäre, auf natürliche Weise abgebaut, im Falle des Kohlendioxids geschieht dies dank der Aufnahme durch pflanzliche Photosynthese und durch die Weltmeere. Heute verändert sich dieses Gleichgewicht zwischen produziertem und aufgenommenem Treibhausgas. Die CO₂-Menge in der Atmosphäre erhöht sich zu schnell, als dass jene natürlichen Aufnahmereservoirs (Photosynthese und Meere) alles zusätzliche CO₂ aufnehmen könnten. Laut den Szenarien des IPCC dürfte die Kohlendioxidkonzentration den Jahren um 2030 einen kritischen Wert erreichen, der katastrophale Konsequenzen hätte. Da das ausgestossene CO₂ 100 Jahre oder länger in der Atmosphäre bleibt, müssen wir unsere Treibhausgasemissionen dringend reduzieren.

Klimaänderung

Die Temperaturtendenzen sind im vorliegenden Dokument bereits diskutiert worden. Die Niederschläge im Winter werden um 20 bis 30 % zunehmen, im Sommer hingegen abnehmen. Ausserdem wird die Erwärmung der Erdoberfläche, der Meere und der Seen zu einer verstärkten Verdampfung führen. Zusammen mit vermehrten Trockenperioden wird dies wahrscheinlich zu einer grösseren totalen Wassermenge in der Atmosphäre führen. Das Auftreten von Nebel wird gefördert. Allerdings bleiben zahlreiche Fragen offen, z. B., ob die verstärkte Wolkenbildung vor allem in höheren oder tieferen Lagen stattfinden wird.

Welches sind die voraussichtlichen Konsequenzen der Klimaerwärmung?

Gestützt auf Voraussage-Modelle hat das IPCC die wichtigsten angekündigten Veränderungen festgehalten:

- Das Ansteigen der Meereshöhe bringt Veränderungen der Küstengebiete und der Überschwemmungsrisiken mit sich. Die durchschnittliche Meereshöhe ist im Verlaufe des letzten Jahrhunderts um 17 Zentimeter angestiegen. Der Anstieg des Meeresspiegels ist auf zwei Phänomene zurückzuführen: die Wärmeausdehnung des Wassers und die Eisschmelze.

- Eine Erhöhung der Anzahl und Intensität von extremen Klimaphänomenen wie Hitzewellen, sintflutartige Regenfälle und Trockenperioden. Die Hitzewelle von 2003 hat klar gezeigt, dass eine Klimaerwärmung durchaus eine direkte Auswirkung auf die menschliche Gesundheit haben kann. Das Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich hat berechnet, dass gegen Ende des 21. Jahrhunderts dieselben verheerenden Bedingungen jeden zweiten Sommer vorherrschen könnten.
- Erhöhte Naturrisiken wie z.B. Überschwemmungen und Erdbeben, die auf den veränderten Wasserkreislauf und das Auftauen von Permafrost- und Frostböden zurückzuführen sind.
- Verschiebung von gewissen Vegetationstypen. So wird zum Beispiel im Alpenraum ein Anstieg der Waldgrenze von ungefähr 100 Metern pro 10 Jahre erwartet. Ein weiteres Beispiel ist die Ausbreitung von subtropischen Park- und Gartenpflanzen.
- Das Verschwinden gewisser Tier- und Pflanzenarten. So sind beispielsweise Lebensraum und Nahrungsgründe des Eisbärs durch die Eisschmelze stark gefährdet.
- Die Verringerung der Schneedecke in den Wintersportgebieten.
- Die Minderung der Wasserversorgungssicherheit aufgrund des vermehrten Auftretens von Trockenperioden und der Entwicklung des Wasserkreislaufs.
- Die Verkleinerung oder gar das Verschwinden der Gletscher. Die durchschnittliche Verringerung der Eisdicke, die auf neun grossen Alpengletschern seit 1967 beobachtet wird, beträgt beinahe 18 Meter. Bei anhaltendem oder gar beschleunigtem Trend werden bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts drei von vier Alpengletschern verschwunden sein.

Angesichts dieser prognostizierten Konsequenzen werden einige natürliche Systeme stärker von der globalen Erwärmung betroffen sein als andere. Die empfindlichsten Systeme dürften die Gletscher, die Korallenriffe, die borealen und tropischen Wälder sowie die polaren, alpinen und Küsten-Ökosysteme sein.

Wie können wir handeln um die Klimaerwärmung zu begrenzen?

Zur Reduktion der Treibhausgasemissionen, insbesondere des CO₂, gibt es Lösungen. Diese können in drei grosse Kategorien unterteilt werden: technische Lösungen, Gesetze und Energiesparen.

Die Nutzung von erneuerbaren Energien wie Sonnen- und Windenergie, Erdwärme (Geothermie) so wie die Speicherung von CO₂ (z.B. im Untergrund) und die verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden können als technische Lösungen zur Eindämmung des Verbrauchs von fossilen Energieträgern gesehen werden, was gleichzeitig eine Verringerung des Treibhausgasausstosses in die Atmosphäre bedeutet.

Daneben können staatlichen Instrumente wie Steuern, Gesetze und internationale Abkommen eingesetzt werden, die eine wichtige Rolle in der Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Suche nach passenden Massnahmen spielen. In der Schweiz zum Beispiel muss seit dem 1. Januar 2010 eine Abgabe von 36 Franken (ca. 20 Euro) pro Tonne CO₂-Ausstoss entrichtet werden. Ein anderes Beispiel stellt das Kyoto-Protokoll dar. Die Schweiz hat sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen zwischen 2008 und 2012 um 8 % verringern (gegenüber dem Stand von 1990).

Im Alltag kann jeder durch einfache Massnahmen Energie sparen. Lokale Produkte kaufen, Geräte im Stand-by Modus ausschalten, öffentliche Verkehrsmittel benutzen, Mitfahrgelegenheiten nutzen oder anbieten und Wasser nicht unnötig laufen lassen, – dies ist nur ein Bruchteil aller Möglichkeiten, die wir haben, um individuell Energie zu sparen. Es ist also wichtig, jetzt und bei jeder sich bietenden Gelegenheit zu handeln.

Wissenswertes

- Um eine Stabilisierung des Klimas zu erreichen, müsste im Zeitrahmen von heute bis 2050 der globale CO₂-Ausstoss um den Faktor 2 und derjenige der Industrieländer um den Faktor 4 verringert werden.
- Um eine problematische Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre zu verhindern, müssten bis ins Jahr 2020 die Emissionen der industrialisierten Länder zwischen 25 % und 40 % verringert werden.

Wettervorhersagen

Definition

Wettervorhersagen sind eine Anwendung der Meteorologie. Ihr Ziel ist die Vorhersage des Atmosphärenzustands zu einem späteren Zeitpunkt. Diese Vorhersagen basieren auf Wetterdaten und der Anwendung von digitalen Modellen, welche die Bestimmungsorte und Zusammensetzung von Luftmassen berechnen. Die Simulationen lösen die Gleichungen, die das Verhalten der Luftmassen in der Atmosphäre vorhersagen, im Besonderen in der Grenzschicht von 0 bis 500 Metern Höhe, weil sich die Wärme-, Feuchtigkeits- und Partikelaustauschvorgänge hauptsächlich dort abspielen.

Die Geschichte der Wettervorhersage beginnt mit Orakeln und Sehern. Richtig entwickelt hat sie sich jedoch erst seit dem zweiten Weltkrieg und dem Einzug von Technologien wie Radar, der modernen Telekommunikation und der Entwicklung von Computern.

Geschichte

300 vor Christus: Der griechische Philosoph Theophrast veröffentlicht «De Signis», eine Schrift über Wetterzeichen und das erste Werk über Wettervorhersagen in Europa.

1031-1095: Shen Kuo, ein Gelehrter, der in der Song Dynastie lebt, arbeitet unter anderem in der Meteorologie. Er liefert mehrere Beschreibungen von Tornados.

1735: George Hadley ist der Erste, der zur Erklärung der Passatwinde das Prinzip der Erdrotation miteinbezieht. Obwohl seine Erklärung, welche die Winde nur halb so stark vorhersagt, als sie in der Realität wirklich sind, nicht korrekt ist, wird sein Name zur Beschreibung der tropischen Luftzirkulation verwendet (die so genannten «Hadley-Zellen»).

1873: Die Internationale Meteorologische Organisation (IMO) wird in Wien von den Ländern mit einem Wetterdienst gegründet. Der Hauptinitiator ist der Amerikaner Matthew Fontaine Maury.

1919: Norwegische Meteorologen unter der Leitung von Vilhelm Bjerknes entwickeln die Theorie von Luftmassen, die entlang von Diskontinuitätszonen aufeinander treffen. Diese werden in der Folge als Fronten bezeichnet.

1950er Jahre: Die Entwicklung von Computern und der Informatik erlaubt es, die meteorologischen Gleichungen zu lösen. Damit wird das Zeitalter der digitalen Wettervorhersage eingeläutet.

1951: Die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) wird durch die UNO gegründet und ersetzt damit die Internationale Meteorologische Organisation.

1960er-Jahre: TIROS-1 ist der erste erfolgreich gestartete Wettersatellit. 1960er-Jahre: TIROS-1 ist der erste erfolgreich gestartete Wettersatellit. Damit beginnt die Ära der Wetterdatensammlung vom Weltraum aus, mit einer höheren Auflösung im Vergleich zu den Erdstationen und der Möglichkeit der Datensammlung an schwer- oder unzugänglichen Orten wie den Meeren, den Wüsten und den Polen.

Fronten, Entstehung von Fronten, Fronttypen und Bedeutung für die Vorhersagen

Eine meteorologische Front ist eine ausgeweitete Diskontinuitätsfläche, die zwei Luftmassen mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit und Druck) voneinander trennt. Das Konzept wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts von norwegischen Meteorologen entwickelt, um das Verhalten der Atmosphäre in den gemässigten Breitengraden zu erklären: die Entstehung von Wolken, Niederschlag, Hochs, Tiefs und deren Verschiebung. Die Fortschritte in der Meteorologie haben gezeigt, dass die Fronten eher eine Konsequenz von anderen Vorgängen darstellen, als dass sie der Ursprung all dieser Phänomene

wären. Trotzdem sind die Fronten immer noch fester Bestandteil von Wetterberichten. Es gibt grundsätzlich drei Arten von Fronten: Warmfront, Kaltfront und okkludierte Front. Die Grenze zwischen den beiden Luftmassen (Warmluft und Kaltluft) ist oftmals eine aktive Wetterzone, verbunden mit Wolkenbildung und Niederschlag. Die Fronten sind aber weder das Resultat noch der Grund der Verschiebungen in der Atmosphäre.

Eine Warmfront wird definiert als Situation, in der sich eine warme Luftmasse über eine kältere Luftmasse schiebt und zu Wolkenbildung führt, meistens vom Typ Nimbostratus. Im Falle einer Kaltfront schiebt sich eine kalte Luftmasse unter eine wärmere Luftmasse, was zu Cumuluswolken führt. Die okkludierte Front bildet sich aufgrund unterschiedlicher Geschwindigkeiten der Kalt- und der Warmfront. Die Kaltfronten sind schneller als die Warmfronten. Die Kaltluft schiebt sich unter die Warmfront, was dazu führt, dass die warme Luft nicht mehr in Kontakt mit dem Boden ist. Daraufhin bilden sich regelmässiger Niederschlag und oftmals Blitze.

Die Fronten werden wie nachfolgend gezeigt auf den Karten markiert. Die Kaltfronten werden als blaue Linien mit Dreiecken gezeichnet, Warmfronten als rote Linien mit Halbkreisen. Die okkludierten Fronten werden als violette Linien mit Dreieck und Halbkreisen markiert.

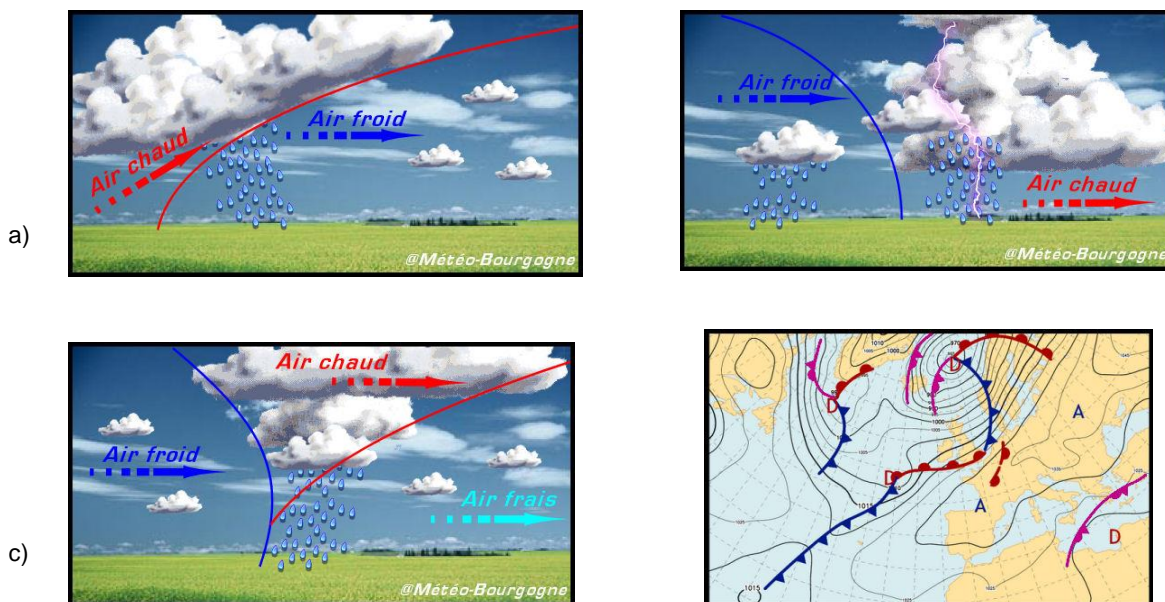


Abbildung 25: Kaltfront (a), Warmfront (b), okkludierte Front (c) und deren Darstellung (d) (Quelle: www.meteo-bourgogne.com)

Welche Methoden werden in der Wettervorhersage verwendet?

Es existieren verschiedene Methoden der Wettervorhersage: digitale Wettermodelle und Beobachtungen der aktuellen Wetterelemente wie Wolken, Druck und Fronten. Neben diesen wissenschaftlichen Vorgehensweisen gibt es auch solche, die auf Erfahrung basieren. Zum Beispiel solche, die sich auf Pflanzen- und Tierbeobachtungen oder auf die Wetterberichte in den Almanach-Kalendern stützen.

Die meist verwendete Methode ist jedoch die computergestützte Wettervorhersage. Die Prinzipien, die das Verhalten der Atmosphäre am besten beschreiben, stammen aus der Strömungslehre, insbesondere die Navier-Stokes-Gleichungen, also nichtlineare, partiell abgeleitete Gleichungen, welche die Strömungen von Flüssigkeiten und Gasen in einem Kontinuum beschreiben. Auch die Atmosphärenluft folgt diesen Gesetzen. Dank mathematischen Modellen können sie gelöst werden.

In der Praxis müssen Gleichungen für den dreidimensionalen Raum (x, y, z) mit den folgenden Unbekannten gelöst werden: Druck, Temperatur, Luftdichte und Wassergehalt der Atmosphäre. Somit müssen die Werte dieser Grössen zu einem bestimmten Zeitpunkt bekannt sein. Dafür können Daten von den Wettermessstationen auf verschiedenen Höhen, von Radar und Satelliten verwendet werden. Anschliessend müssen die folgenden Gleichungen gelöst werden:

- die drei Navier-Stokes-Impulsgleichungen, welche die Druck- und Corioliskraft in den drei Dimensionen verbinden;
- das Gesetz der idealen Gase, durch das der Druck und die Temperatur miteinander verknüpft sind;
- die hydrostatische Gleichung, die das Verhältnis zwischen Druck und Höhe bestimmt;
- die Kontinuitätsgleichung, welche die Masse in einem Luftvolumen und die Volumenform in der Zeit beschreibt;
- die Konzentrationsgleichung, welche die Wassermenge in der Luft und deren Verteilung im Raum beschreibt.

Alle diese Gleichungen müssen zudem die Aggregatzustandswechsel des Wassers miteinbeziehen. Zur Lösung dieser Gleichungen werden denn auch sehr leistungsfähige Computer benötigt. Diese Berechnungen werden weltweit von verschiedenen Simulationsprogrammen vorgenommen. Die verschiedenen Modelle generieren jedoch oft unterschiedliche Resultate. Dies ist auf die Unterschiede bei der Integration der Atmosphärgleichungen ins Modell zurückzuführen, aber auch auf die unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen, den manchmal sehr instabilen Zustand der Atmosphäre und auf die Tatsache, dass bereits kleine Schwankungen der Eingangsanalyse grosse Veränderungen zur Folge haben können. An diesem Punkt kommen die Wissenschaftler zum Zug, die sich mit der Wettervorhersage beschäftigen (Prognostiker). Die Erfahrung mit den lokalen Phänomenen, die Beobachtung der Fronten und der kurzfristigen Verhaltensweise der Atmosphäre ermöglichen dem Prognostiker eine kurz- und mittelfristige Vorhersage.

Eine andere Möglichkeit der kurzfristigen und lokalen Vorhersage ist die Beobachtung von Wolken, die bei Kaltfrontsituationen entstehen. Gewisse Wolken bilden sich lediglich bei schönem Wetter, während andere Gewitter und Unwetter bedeuten. Die verschiedenen Wolken können auf einen Trend in der Wetterentwicklung hindeuten. Die Altocumuluswolke zum Beispiel ist ein Indikator für Gewitter später im Verlaufe desselben Tages. In den gemässigten Breitengraden wird das Fortschreiten der Warmfront häufig durch eine Transformation der Cirruswolken in Cirrusstratuswolken begleitet. Beim Näherrücken der Front verdichten sich die Wolken, sinken auf niedrige Höhen ab und werden dabei zu Altostratus. Zu Beginn des Niederschlags wandeln sich die Wolken von Altostratus zu Nimbostratus, bevor die Front sich verschiebt. Wolken sind häufig die ersten Signale, die auf eine Störung hinweisen, aber nicht alle Wolken sind Zeichen für schlechtes Wetter.

Unsicherheiten der Wettervorhersagen

Die Lösung der Gleichungen, welche die Bewegungen in der Atmosphäre beschreiben, ist nicht einfach, da sie Terme enthalten, die teilweise auf unterschiedlicher Ebene agieren. Des Weiteren ist die Atmosphäre ein Raum, in dem die Werte der Variablen in jedem Punkt ändern. Es ist unmöglich, Datenwerte mit einer Auflösung zu erhalten, die es erlauben, den Anfangszustand perfekt zu definieren. Darin ist auch die Erklärung enthalten, warum die ersten Meteorologen zuerst empirische Modelle zur Erklärung der Verhaltensweisen der Atmosphäre entwickelt hatten. Fronten, Tiefdruckrinnen und andere wohlbekannt Begriffe aus dem Vokabular der Wettersansager stammen noch aus dieser ersten Zeit des Wetterverständnisses. In der Folge wurde es dank dem Verständnis der Theorien der Dynamik der Atmosphäre und den gesammelten Daten der Fernerkundung möglich, mathematische Modelle zu entwickeln, in denen nur die wichtigsten Terme der Gleichungen berücksichtigt

werden und die Struktur der Atmosphäre vereinfacht wird. Mit den Fortschritten auf dem Gebiet der Informatik konnte ein Teil der vernachlässigten Terme schrittweise eingebaut werden, jedoch längst nicht alle. Deshalb ist die Meteorologie bis heute noch durch die äusserst schwache Dichte an verfügbaren Daten eingeschränkt. Die Messstationen liegen häufig Hunderte Kilometer voneinander entfernt und trotz der Fernerkennungsmöglichkeiten durch Satelliten und Radar haben all die gemessenen Daten eine relativ begrenzte Genauigkeit. Zusammenfassend lässt sich sagen: Je kleiner der Massstab, desto grösser der Einfluss von Lokalphänomenen und somit die Ungewissheiten bezüglich der Voraussage. Häufig werden der Wettervorhersage Wahrscheinlichkeiten des Eintreffens des vorhergesagten Wetters beigefügt. Eine Voraussage für zwei Tage ist präziser als eine Voraussage für fünf Tage.

Schlussfolgerung

Das Ziel dieses Dokuments ist die Vermittlung von geeigneten Informationen, die zum Verständnis der grundlegenden Prinzipien der Meteorologie benötigt werden. Wir haben uns mit den gemessenen Umweltparametern auseinandergesetzt, mit ihrer Bedeutung, Wichtigkeit und ihren Tendenzen, ebenso wie mit den Phänomenen, die im Zusammenhang mit diesen Umweltparametern stehen, wie z. B. mit dem Treibhauseffekt, den Klimaveränderungen und den Wettervorhersagen. Das GLOBE-Team hofft, dass Sie bei der Lektüre Antworten auf zahlreiche Fragen gefunden haben. Auf der Internetseite des Projekts (<http://www.globe-swiss.ch>) finden Sie dieses Dokument, einsatzbereite didaktische Aktivitäten und die Möglichkeit uns zu kontaktieren und uns Fragen zu stellen.

Literaturverzeichnis

- Diverse Quellen liegen nicht auf deutsch, sondern auf französisch, englisch oder italienisch vor.
- Hors-série du monde diplomatique
- Techniguide de la météo, Jean-Louis Vallée, éditions Nathan
- La Suisse se réchauffe, Effet de serre et changement climatique, Martine Rebetez, éditions PPUR
- Die Schweiz im Jahr 2050, Bericht des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Schweiz
- LaRevueDurable, <http://www.larevuedurable.com/fr/>
- Umwelt Schweiz, Bericht des Bundesamtes für Umwelt BAFU, Schweiz
- www.globe.gov
- www.globe-swiss.ch
- www.education21.ch
- www.globe-swiss.ch
- <http://cpo.noaa.gov/OutreachandEducation/ClimateLiteracy.aspx>
- <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/660>
- www.meteoschweiz.ch
- www.greenfacts.org/fr/
- www.planete-sciences.org/meteo
- <http://drinking-water.org/html/fr/Sources/Variability-Reliability.html>
- <http://www.wsl.ch/land/products/klimaanimation/>
- <http://www.climate-change.ch/>
- <http://www.myclimate.org/index.php>
- <http://www.wetternetz.ch/>
- <http://www.lehrer-online.de/klimawandel.php?sid=47480013910331578440385918591710>

Anhang 1: Beschreibung des Messstandortes

Allgemeines

Name der Schule: _____ Name der Klasse oder der Gruppe

Name der Schülerinnen und Schüler, die das Blatt über die Standortbestimmung ausgefüllt haben

Datum: _____ Ankreuzen: neuer Standort Aktualisierung

Name des Standorts (gebt eurem Standort einen einmaligen Namen)

Lokalisation: Breitengrad: _____ ° N oder S Längengrad: _____ ° O oder W

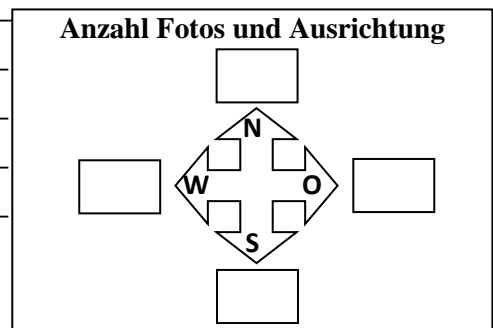
Höhe über Meer: _____ Meter

Quelle der Lokalisierungsdaten (ankreuzen): GPS andere Quelle _____

Hindernisse (ankreuzen): Keine Hindernisse Hindernisse (bitte beschreiben)

(Hindernisse sind Bäume oder Gebäude im Umkreis von 10 m)

Beschreibung: _____



Wetterhäuschen

Höhe der oberen Öffnung des Regenmessers über dem Boden: _____ cm

Höhe des Sensors oder des Maximum-Minimum-Thermometers über dem Boden: _____ cm

Oberflächenbeschaffenheit unter dem Wetterhäuschen (nur eine Antwort ankreuzen): Trottoir/Teer

nackter Boden

kurzes Gras (< 10 cm) hohes Gras (> 10cm) Sand Dach (bitte beschreiben)

Andere (bitte beschreiben)

Beschreibung:

Weitere Anmerkungen zum Standort _____

Anhang 2: Wann sollte gemessen werden? Ortszeit oder Weltzeit?

Zweck

Den Zeitpunkt der Temperaturmessungen im GLOBE-Programm kennen.

Die Schweizerzeit in Weltzeit umrechnen.

Wann sollte die Temperatur gemessen werden? Ortszeit

Die Messungen im Rahmen des GLOBE-Programms zum Thema Atmosphäre werden gemacht, wenn die Sonne den höchsten Stand ihrer täglichen Bahn erreicht hat. Diesen Zeitpunkt bezeichnet man als Sonnenhöchststand. Das GLOBE-Programm akzeptiert eine Toleranz von ungefähr einer Stunde.

Den Sonnenhöchststand ermittelt man, indem man den halben Weg zwischen dem Sonnenaufgang und dem Sonnenuntergang berechnet. Diese Information findet man entweder in einer Lokalzeitung oder auf Internetseiten (Beispiel: <http://www.web-calendar.org/de/sun>). Die nachstehende Tabelle zeigt diese Berechnung für Sitten und Zürich.

15. August 2013.	Sitten	Zürich
Sonnenaufgang	6h28	6h21
Sonnenuntergang	20h41	20h38
Sonnenhöchststand	$(6h28+20h41)/2=13h34$	$(6h21+20h38)/2=13h29$
GLOBE-Messung möglich zwischen	12h34 und 14h34	12h39 und 14h39
Weltzeit (GMT) bei Sonnenhöchststand	13h34 - 2h=11h34	13h29 - 2h=11h29

Weltzeit

Die mittlere Greenwich-Zeit oder Greenwich Mean Time (GMT) ist die mittlere Ortszeit des durch das Königliche Observatorium von Greenwich, London, führenden [Nullmeridians](#). Seit 1972 wird diese Zeit auch als koordinierte Weltzeit (UTC) bezeichnet. Dieses Zeitsystem hat weltweit bei der Festlegung der Zeitzonen als Referenzzeit gedient.

Greenwich liegt in der Zeitzone «Westeuropäische Zeit (WEZ)». Die Schweiz liegt hingegen in der Zone der Mitteleuropäischen Zeit (MEZ). Dies bedeutet, dass wir im Sommer einen Zeitunterschied von zwei Stunden und im Winter von einer Stunde haben. Ein Beispiel: Während ich diese Zeile verfasse, ist es in der Schweiz am 15. August 2013 11.15 Uhr. In GMT umgerechnet ist das 9.15 Uhr.

Anhang 3: Einrichten der Wetterstation

Zweck

Es sollte ein optimaler Standort für die Wetterstation gewählt werden.

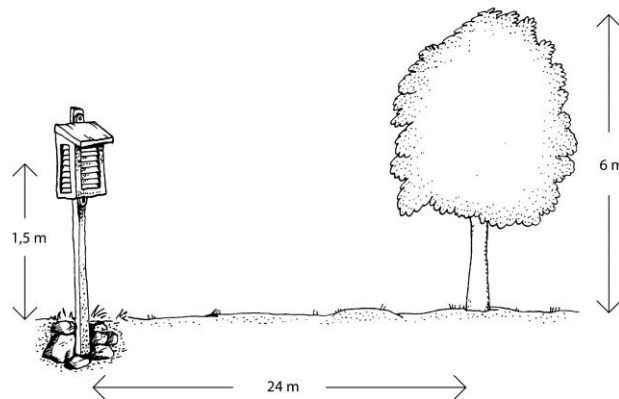
Benötigtes Material

- Wetterhäuschen zum Schutz der Messinstrumente
- Maximum-Minimum-Thermometer
- Eichthermometer (Referenzthermometer)
- Regenmesser

Standort des Wetterhäuschens

Das Wetterhäuschen darf sich nicht in der Nähe von Gebäuden und Bäumen befinden. Es sollte weit weg von Gebäuden und Bäumen und auf ebenem Gelände mit natürlicher Oberfläche (kein Beton) aufgestellt werden.

Normalerweise misst man die Höhe des nächstgelegenen Hindernisses und stellt dann das Wetterhäuschen viermal so weit entfernt auf. Damit will man den Einfluss solcher Hindernisse auf das Messergebnis verringern.



Das Türchen des Wetterhäuschens öffnet sich nach Norden. Der Thermometer muss 1,5 m über dem Erdboden aufgehängt werden. Die Öffnungen im Türchen des Wetterhäuschens ermöglichen einen ungehinderten Luftfluss und sorgen somit für ideale Verhältnisse für die Instrumente. Der Magnet, mit dessen Hilfe die Zeiger des Maximum-Minimum-Thermometers herunter gezogen werden, sollte an einer Schnur im Innern des Wetterhäuschens befestigt werden.

Stelle zusammen mit deiner Lehrerin oder deinem Lehrer sicher, dass die Thermometer kalibriert wurden, also kontrolliert und somit genau sind.

Der Regenmesser sollte so weit über Boden montiert werden, dass man die Regenmenge leicht ablesen kann. Zudem muss er so angeordnet werden, dass nichts die Sammlung von Regenwasser beeinträchtigt. Achte auch darauf, dass du den Regenmesser nicht an einem sehr windigen Standort aufstellst.

Anhang 4: Protokoll der maximalen, minimalen und aktuellen Temperatur

Zweck

Die Messung der Lufttemperatur (und allenfalls der Bodentemperatur) innerhalb +/- einer Stunde ab Sonnenhöchststand sowie der maximalen und der minimalen Lufttemperatur in den 24 Stunden seit dem letzten Ablesen.

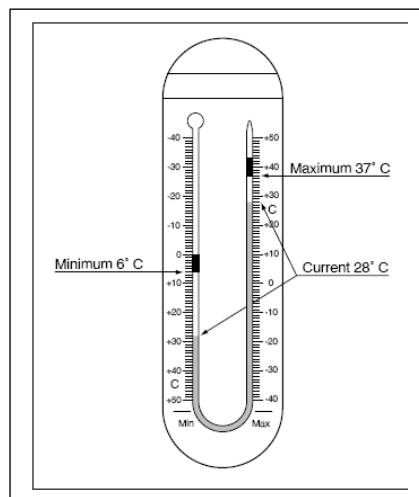
Nachdem die maximale und die minimalen Temperaturen abgelesen wurden, müssen die beiden entsprechenden Zeiger zurückgesetzt werden, damit die nächste Messperiode von 24 Stunden beginnen kann.

Benötigtes Material

- gut platziertes Wetterhäuschen
- korrekt kalibriertes und montiertes Maximum-Minimum-Thermometer
- Atmosphärendaten-Protokollblätter
- Kugelschreiber oder Bleistift

Vorgehen

1. Notiere auf dem Datenblatt das Datum und die Zeit in Lokalzeit und in Weltzeit (UT). **Hinweis:** Auf der GLOBE-Website muss die Zeit in Weltzeit eingegeben werden.
2. Öffne die Tür des Wetterhäuschens, ohne dabei das Thermometer zu berühren; achte auch darauf, dass es nicht mit Atemluft in Berührung kommt.
3. Stell dich so hin, dass deine Augen auf der Höhe der Quecksilbersäule sind.
4. Lies die Höhe der Quecksilbersäule auf der Maximumseite des Thermometers ab und runde diesen Wert auf die nächsten 0,5° C auf oder ab. Überprüfe, ob dieser Wert mit der Temperatur auf der Minimumseite übereinstimmt.
5. Trage diese Temperatur als aktuelle Temperatur ein.
6. Lies nun die maximale Temperatur am oberen Ende des Zeigers auf der Maximumseite ab und runde diesen Wert auf die nächsten 0,5° C auf oder ab.
7. Trage diese Temperatur als Maximaltemperatur ein.
8. Lies nun die Temperatur am oberen Ende des kleinen Zeigers auf der Minimumseite ab und runde diesen Wert auf die nächsten 0,5° C auf oder ab.
9. Trage diese Temperatur als Minimaltemperatur ein.
10. Nimm nun den Magnet und führe damit den Minimum- und den Maximum-Zeiger sorgfältig zur langen Quecksilbersäule zurück.
11. Schliess die Tür des Wetterhäuschens.



Anhang 5: Eichung des Thermometers

Zweck

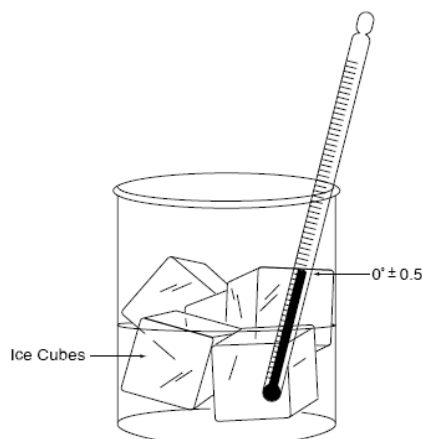
Eichung des Thermometers überprüfen.

Benötigtes Material

- Eichthermometer
- Sauberes Gefäss mit einem Fassungsvermögen von 250 ml oder mehr
- Eiswürfel
- Wasser (vorzugsweise destilliertes Wasser, absolut kein Salzwasser)

Im Klassenzimmer

1. Stell ein Gemisch aus Wasser und Eiswürfeln her, wobei der Eiswürfelanteil grösser sein sollte.
2. Tauche das Eichthermometer ins Eiswasserbad. Das Röhrchen des Thermometers muss vollständig mit Wasser bedeckt sein.
3. Lass dieses Eiswasserbad etwa 10–15 Minuten stehen.
4. Bewege das Thermometer vorsichtig hin und her, damit es gleichmässig abkühlt.
5. Lies den angezeigten Wert ab. Liegt dieser Wert zwischen $-0,5^{\circ}\text{C}$ und $+0,5^{\circ}\text{C}$, ist das Thermometer richtig kalibriert.
6. Zeigt das Thermometer mehr als $+0,5^{\circ}\text{C}$ an, solltest du dafür sorgen, dass es mehr Eis als Wasser im Behälter hat.
7. Zeigt das Thermometer weniger als $-0,5^{\circ}\text{C}$ an, solltest du sicherstellen, dass das Eiswasserbad kein Salz enthält.
8. Sollte dein Thermometer weiterhin keinen Wert innerhalb der Bandbreite von $-0,5^{\circ}\text{C}$ und $+0,5^{\circ}\text{C}$ anzeigen, muss ein anderes Thermometer verwendet werden. Falls du dieses Thermometer für Messungen verwendet hast, musst du das GLOBE melden.



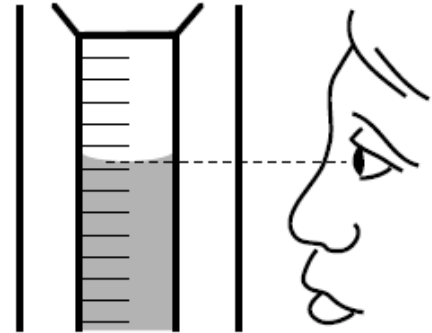
Anhang 6: Niederschlagsprotokoll

Zweck

Messung der Regenmenge im Regenschirm
 innerhalb einer Stunde um den lokalen Sonnenhöchststand.
 Regenschirm für die Aufnahme von Regenwasser vorbereiten.

Benötigtes Material

- Richtig aufgestellter und montierter Regenschirm
- Datenblatt für die Messung der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftdrucks
- Kugelschreiber oder Bleistift



Vorgehen

1. Lies den Wasserstand im Regenschirm ab; vergewissere dich, dass sich deine Augen auf der Höhe des Wassers im Messrohr befinden. Lies die tiefste Stelle der nach unten gewölbten Wasseroberfläche ab.
2. Erfasse die Messungen auf einen Zehntelmillimeter genau.
 - Falls der Regenschirm leer ist, notiere 0,0 mm.
 - Falls es weniger als 0,5 mm sind, notiere «T» (englisch Traces = Spuren).
 - Falls Sie vor dem Messen der Regenmenge das Wasser ausgeschüttet haben, notiere unter Menge «M» (englisch Missing = fehlt). (Falls du nur ein bisschen Wasser ausgeschüttet hast, notiere in den Metadaten die übrig gebliebene Menge).
3. Schütte das Wasser in einen Probenbehälter und verschliese diesen für die pH-Messungen.
4. Falls sich im äusseren Rohr Wasser befinden sollte:
 - a. Hebe das Messrohr aus dem äusseren Rohr.
 - b. Lies den Wasserstand des Messrohrs so ab, dass sich deine Augen auf der Höhe des Wassers im Messrohr befinden.
 - c. Erfasse die Messungen auf einen Zehntelmillimeter genau.
 - d. Schütte das Wasser im Messrohr in den Probenbehälter für die pH-Messungen.
 - e. Wiederhole die Schritte b. bis e. solange, bis das äussere Rohr leer ist.
 - f. Zähle alle Messmengen zusammen.
5. Halte die Anzahl Tage fest, in denen sich das Regenwasser angesammelt hat. (Das heisst, die seit der letzten Überprüfung und Leerung des Regenschirms verstrichenen Tage.)
7. Trockne den Regenschirm und setze ihn wieder ein.

Anhang 7: Protokoll für die Messung der relativen Luftfeuchtigkeit

Zweck

Bestimmen der relativen Luftfeuchtigkeit mit einem digitalen Hygrometer einmal täglich innerhalb einer Stunde um den lokalen Sonnenhöchststand.

Benötigtes Material

- Digitales Hygrometer
- Uhr oder Timer
- Datenblatt für die Messungen der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes
- Korrekt im Wetterhäuschen installiertes Thermometer.

Im Labor:

1. Platziere das Hygrometer im Wetterhäuschen. (LASS das Hygrometer NIE über Nacht im Wetterhäuschen, ausser bei sehr trockenem Wetter).
2. Warte mindestens 30 Minuten, bevor du die relative Feuchtigkeit abliest und das verwendete Messinstrument notierst.
3. Lies gleichzeitig die Temperatur ab (wenn die Tageszeit beim Ablesen nicht mit dem Zeitpunkt der höchsten oder tiefsten Temperatur übereinstimmt oder wenn sie bereits erfasst worden ist).
4. Bring das Hygrometer ins Schulzimmer zurück und bewahre es an einem trockenen Ort auf.

Anhang 8: Protokoll für die Messung des Luftdruckes

Zweck

Messen des Luftdrucks einmal täglich innerhalb einer Stunde um den lokalen Sonnenhöchststand. Alle GLOBE-Messungen sollten in Millibar (mbar) oder Hektopascal (hPa) vorgenommen werden (1 hPa entspricht 1 mbar).

Setzen der Markiernadel auf die Stelle des aktuellen Luftdrucks.

Benötigtes Material

- Aneroidbarometer oder ein korrekt auf die Meereshöhe geeichtes Höhenmeter. Es empfiehlt sich, das Instrument im Klassenzimmer aufzubewahren, denn Feuchtigkeit der Aussenluft könnte zu falschen Werten führen.
- Datenblatt
- Kugelschreiber oder Bleistift

Im Klassenzimmer

1. Halte das Datum und die Zeit auf dem Datenblatt für die Messung der Temperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Luftdruckes fest.
2. Klopfle leicht auf das Glas des Aneroidbarometers, um die Nadel zu stabilisieren.
3. Lies den Luftdruck auf 0,1 Millibar (oder Hektopascal) genau ab.
4. Notiere diesen Wert als aktuellen Luftdruck.
5. Setze die Markiernadel des Barometers auf die Stelle des aktuellen Luftdrucks.

Für GLOBE-Eingaben müssen die Messwerte auf die Meereshöhe bezogen werden. Stelle sicher, dass sich die abgelesenen Werte auf die Meereshöhe beziehen. Die GLOBE-Datenbank wird den Luftdruck automatisch auf die Meereshöhe Ihrer Messstation umrechnen. Falls es sich bei den Messeinheiten weder um Millibar noch um Hektopascal handelt, musst du die gemessenen Werte umrechnen.

Zur Information: Die Beziehung zwischen dem Luftdruck auf Meereshöhe und auf der Höhe der Messstation ist wie folgt:

$$\text{Luftdruck}_{\text{der Station}} = \text{Luftdruck}_{\text{auf Meereshöhe}} \times e^{-\text{Höhe} / (\text{Temperatur} \times 29.263)}$$

wobei:

Luftdruck der Station = Barometerdruck auf deiner Höhe in Millibar (Hektopascal)

Luftdruck auf Meereshöhe = äquivalenter Luftdruck auf Meereshöhe in Millibar (Hektopascal).

Höhe = die Höhe deiner Station in Meter

Temperatur = die Temperatur in Grad Kelvin (°K) (Temperatur (°K) = Temperatur (°C) + 273.15)

Die Konstante 29.263 bezieht sich auf Meter pro Grad Kelvin (m/°K)

Kalibrierung des Barometers auf Meereshöhe, Referenzwerte auf [MeteoSchweiz](#)

Anhang 9: Datenblatt GLOBE-Atmosphäre, 1 Tag

Name der Schule: _____ Namen der Beobachter: _____

Datum: Tag ____ Monat ____ Jahr ____ Untersuchungsstandort: - _____

Lokalzeit (Std:Min): _____ Weltzeit (Std:Min): _____

Luftdruck

Luftdruck (mbar): _____ Luftdruck auf Meereshöhe Luftdruck der Station

Lokalzeit (Std:Min): _____ Weltzeit (Std:Min): _____

Relative Luftfeuchtigkeit

Temperatur des Trockenthermometers* (°C): _____

Temperatur des Feuchttthermometers* (°C): _____

Relative Luftfeuchtigkeit (%): _____

Niederschlag

Anzahl Tage, über die sich Regenwasser angesammelt hat: _____

Wasserstand im Regenmesser (mm): _____

* Nicht vergessen: Notiere 0,0, wenn kein Regen gefallen ist.

Notiere "M" (missing), wenn die Messung fehlt, verloren gegangen ist oder am betreffenden Tag nicht durchgeführt werden konnte.

Notiere "T" (traces), wenn der Wasserstand im Regenmesser weniger als 0,5 mm hoch ist.

Schneefall

Täglich: Anzahl Tage, über die sich der Schnee auf dem Schneebrett angesammelt hat:

Tiefe des Neuschnees auf dem Schneebrett:

Messung 1: _____ Messung 2: _____ Messung 3: _____

* Nicht vergessen: Notiere 0,0, wenn kein Schnee gefallen ist.

Notiere "M" (missing), wenn die Messung fehlt, verloren gegangen ist oder am betreffenden Tag nicht durchgeführt werden konnte.

Notiere "T" (traces), wenn nicht genug Schnee für eine Messung gefallen ist.

Aktuelle, maximale und minimale Lufttemperatur

Aktuelle Lufttemperatur: (°C) _____

Maximale Lufttemperatur des Tages: (°C) _____

Minimale Lufttemperatur des Tages: (°C) _____

Bemerkungen (aussergewöhnliche Bedingungen):

Anhang 10: Datenblatt GLOBE-Atmosphäre, 7 Tage

Name der Schule: _____ Untersuchungsstandort: _____

Wochentag							
Datum							
Lokalzeit							
Weltzeit							
Namen der Beobachter							

Luftdruck

Luftdruck auf Meereshöhe Luftdruck der Station

Luftdruck (mbar)							
Lokalzeit							
Weltzeit							

Relative Luftfeuchtigkeit

Temperatur des Trockenthermometers* (°C)							
Temperatur des Feuchtthermometers* (°C)							
Relative Luftfeuchtigkeit (%)							

* Schlingen-Psychrometer

Niederschlag

Anzahl Tage, über die sich Regenwasser angesammelt hat							
Wasserstand im Regenmesser (mm)*							

* Nicht vergessen: Notiere 0,0, wenn kein Regen gefallen ist.

Notiere "M" (missing), wenn die Messung fehlt, verloren gegangen ist oder am betreffenden Tag nicht durchgeführt werden konnte.

Notiere "T" (traces), wenn der Wasserstand im Regenmesser weniger als 0,5 mm hoch ist.

Schneefall

Gesamttiefe der Schneedecke (mm):

Messung 1 (mm)							
Messung 2 (mm)							
Messung 3 (mm)							

Aktuelle, maximale und minimale Lufttemperatur

Lufttemperatur: (°C)							
Maximale Lufttemperatur des Tages: (°C)							
Minimale Lufttemperatur des Tages: (°C)							

* Hinweis: Verwende für die täglichen Messungen der Bodentemperatur ein Maximum-Minimum-Thermometer mit einer Erdsonde.

Bemerkungen (aussergewöhnliche Bedingungen – bitte datieren)

Anhang 11 Wolkenbeobachtungen Datenblatt – 1 Tag

Name der Schule: _____ Namen der Beobachter: _____

Datum: Tag ____ Monat ____ Jahr ____ Untersuchungsstandort: ATM- _____

Lokalzeit: _____ Weltzeit: _____

Wolkentypen

Hohe Wolken

(alle beobachteten Typen ankreuzen)



Cirrus



Cirrocumulus



Cirrostratus

Mittelhohe Wolken

(alle beobachteten Typen ankreuzen)



Altostratus



Altocumulus

Tiefe Wolken

(alle beobachteten Typen ankreuzen)



Stratus



Stratocumulus



Cumulus

Regen- oder Schneewolken

(alle beobachteten Typen ankreuzen)



Nimbostratus

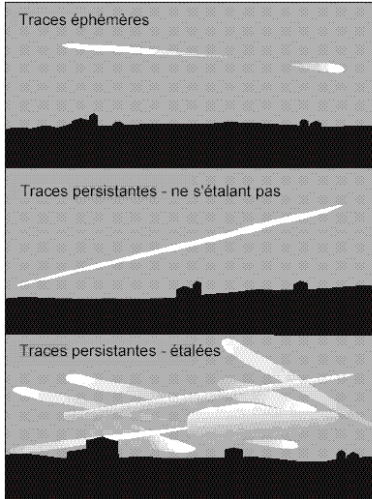


Cumulonimbus

Kondensstreifen (von Flugzeugen)

Schätzung des Bedeckungsgrads durch Kondensstreifen

- 0 % (keine Kondensstreifen) 0–10 % 10–25 % 25–50 % > 50 %



traces éphémères

(air sec en haute altitude)

Wie viele sehen Sie? _____

traces persistantes, non étalées

(vents d'altitude nuls)

Wie viele siehst du? _____

traces persistantes, étalées

(vents d'altitude)

Schätzung des Bedeckungsgrads durch Kondensstreifen

- 0 % (keine Kondensstreifen) 0–10 % 10–25 % 25–50 % > 50 %

Bedeckungsgrad (nur eine Möglichkeit pro Tag ankreuzen)



wolkenlos



klar



vereinzelte Wolken



aufgelockerte Bewölkung



aufgebrochene Bewölkung



geschlossene Wolkendecke

0 %

< 10 %

10–25 %

25–50 %

50–90 %

> 90 %

Wie viele siehst du? _____

Ursachen für verfinsterten Himmel



Schneesturm



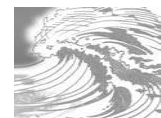
Schneefall



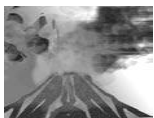
heftiger Regen



Nebel



Nieselregen/Gischt



vulkanische Asche



Rauch



Staub



Sand



Dunst

Kommentare: _____

Anhang 12 Wolkenbeobachtungen Datenblatt für 7 Tage

Name der Schule: _____

Untersuchungsstandort: ATM-

Wochentag							
Datum							
Lokalzeit							
Weltzeit							
Namen der Beobachter							

Wolkenarten (alle beobachteten Arten ankreuzen)

Cirrus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cirrocumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cirrostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alto cumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nimbostratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stratus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Stratocumulus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cumulonimbus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Art der Kondensstreifen (Anzahl der beobachteten Arten festhalten)

kurzlebig							
ausdauernd, nicht verwischt							
ausdauernd, verwischt							

Bedeckungsgrad (ankreuzen, falls der Himmel nicht verfinstert ist)

wolkenlos (0 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
klar (0 %–10 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vereinzelte Wolken (10 %–25 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aufgelockerte Bewölkung (25 %– 50 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
aufgebrochene Bewölkung (50 %– 90 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
geschlossene Wolkendecke (> 90 %)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Himmel verfinstert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bedeckungsgrad durch Kondensstreifen bedeckt (ankreuzen, falls der Himmel nicht verfinstert ist)

keine Kondensstreifen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
0–10 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10–25%	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
25–50 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 50 %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bei verfinstertem Himmel

Nebel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rauch	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dunst	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vulkanische Asche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Staub	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sand	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nieselregen/Gischt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
heftiger Regen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schneefall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schneesturm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Kommentare:
