

Was ist der Unterschied zwischen Klima und Wetter ?

Die Wetterkunde oder Meteorologie ist die Studie der Phänomene in der Atmosphäre (Temperatur, Niederschlag, Wind, Sonnenstrahlung, ...) die es möglich machen das Wetter auf kurze Zeit vorher zu sagen (in der Regel für die Dauer von einigen Tage). Wenn sich die Wetterkunde mit dem Wetter zu einem präzisen Zeitpunkt an einem bestimmten Ort beschäftigt, interessiert sich die Klimatologie hingegen für die selben atmosphärischen Bedingungen, aber für eine bestimmte Region und auf lange Sicht hinaus. Die Bestimmung des Klimas beruht auf monatlichen oder wöchentlichen Mittelwerten die während mindestens 30 Jahren gesammelt wurden. Folglich, wenn von Wetterkunde die Rede ist, handelt es sich um momentane und lokale Werte. Diese unterscheiden sich von den Mittelwerten die über Jahrzehnte und für grössere geografische Zonen ermittelt wurden. Die Schweiz ist ein ausgezeichnetes Beispiel für ein Bergland. Sie hat ein Halbkontinentales Klima das unter ozeanischen Einflüssen und manchmal unter mediterranem Einfluss steht.

Wozu messen ?

Welches Wetter war heute vor einem Jahr ? War es gestern wärmer in Zürich oder in Zug ? Wie warm war es im Sommer 2003 ? Im Winter ? Jan hat das Gefühl heute sei es warm, aber Julian empfindet das nicht so, wer hat recht ? Es ist schwierig auf diese Fragen aus blossem Erinnerungsvermögen, und ohne Vergleichswerte, zu antworten.

Messen, das heisst objektiv beobachten und erlaubt Vergleiche und Analysen im Verlauf der Zeit und an verschiedenen Orten. Ohne Messungen ist es sehr schwierig ein Phänomen zu verstehen. Um beispielsweise eine Klimaentwicklung festzustellen braucht es Daten von einer langen Messperiode (im generellen über 50 Jahre, wenn das Jahrhundert als Referenzperiode genommen wird). In Paris werden die Niederschläge seit 1688 wöchentlich gemessen. Hingegen hat es bis zum Ende des 19. Jahrhunderts gedauert bis die meisten europäischen Länder ein brauchbares Messnetz installiert hatten.

Als Konsequenz verfügen wir heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, über genügend Daten die eine Erkennung eines Klimatrends im 20. Jahrhundert ermöglichen.

Dank Messungen können wir auch verstehen und vorhersagen. Die Analyse der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Vergangenheit und von Heute sind die Grundlage für jede Vorhersage. Alle Vorhersage-Modelle wie die Wettervorhersage in den Nachrichten, die Hochwasser-Gefahrenkarte und die verschiedenen Szenarios der Klimaveränderung basieren auf Messungen. Die Messungen sind in diesem Sinn ein unverzichtbares Instrument wenn es darum geht unsere Umwelt zu verstehen.

Wenn man von Messungen spricht muss man vorsichtig sein bezüglich der Unsicherheiten und Ungenauigkeiten die damit verbunden sind. Zwei Typen können dabei unterschieden werden : Instrumentenfehler (Beispiel : Fehlfunktion des Instruments) und Beobachtungsfehler (Beispiel : Fehler beim Ablesen eines Messwerts).

Definitionen 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 welcher von der Bewegung der Atome und Moleküle hervorgerufen wird. In diesem Sinne bedeutet eine hohe Temperatur eine starke Bewegung der Atome.

Es existieren zwei internationale Temperatureinheiten : Grad Celsius (°C) und Kelvin (K). 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 $^{\circ}\text{C} = 0,55 \times (^{\circ}\text{F} - 32)$, $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$, $^{\circ}\text{F} = 32 + (1,8 \times ^{\circ}\text{C})$.

Unterschied Temperatur – 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, mit der Einheit Watt, welche dem System zugefügt oder davon abgeführt werden muss um die Temperatur (oder den Zustand) des Systems zu ändern. Um beispielsweise die Temperatur T von Wasser in einer Pfanne zu erhöhen, muss eine gewisse Menge Wärme Q (also eine Energie) zugeführt werden. Die Wärme existiert nur wenn zwei Systeme unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Die Wärme fließt immer vom warmen System zum Kalten.

Temperatur : Schlüsselzahlen, zeitliche und räumliche Entwicklung

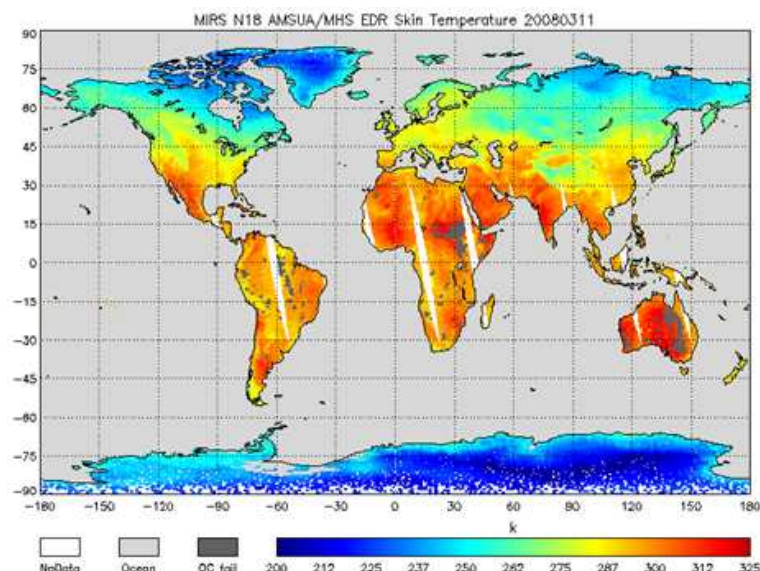


Abbildung 4 : Verteilung der Erdtemperatur am 3. März 2008 (<http://projects.osd.noaa.gov/NDE/index.htm/>)

Die Temperatur variiert mit der Zeit (Beispiel : die Jahreszeiten) und im Raum. Die Höhe, die geographische Breite und die Sonneneinstrahlung beeinflussen die Temperatur. Die Grafik von oben zeigt ein Beispiel der Verteilung der Erdtemperatur an einem bestimmten Tag in K.

Da die Jahresdurchschnittstemperaturen von einem bestimmten Ort nur wenig ändern von einem Jahr auf das Nächste ist es interessanter die Monats- oder Jahreszeitenmittel zu beobachten. Diese sind auch wichtiger wenn es darum geht das Klima zu verstehen und zu analysieren. In Basel sind die Durchschnittswerte in den Monaten Juni bis August am höchsten (Abbildung 5), während es auf der Südhalbkugel gerade umgekehrt ist.

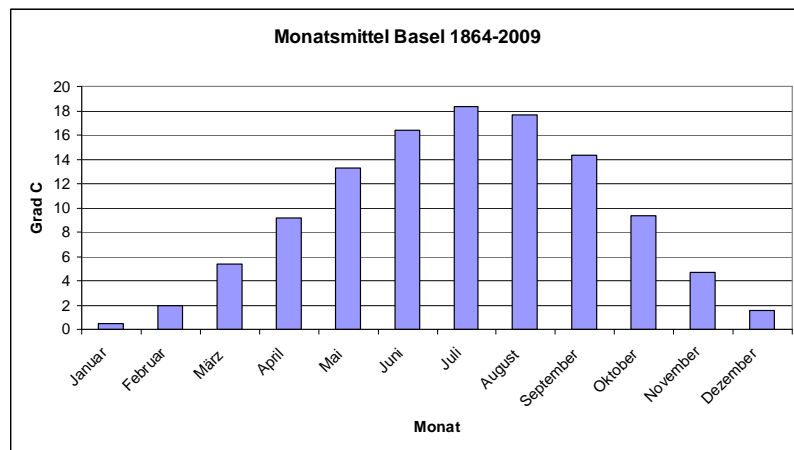


Abbildung 5 : Monatstemperaturen in Basel (Quelle : MeteoSchweiz)

Temperatur : Tendenz

Laut dem IPCC ist die Erdtemperatur im Verlaufe des 20. Jahrhunderts um ca. 0.6 °C gestiegen. Die untenstehende Grafik zeigt die lokalen Temperaturveränderungen im Verlaufe des vergangenen Jahrhunderts.

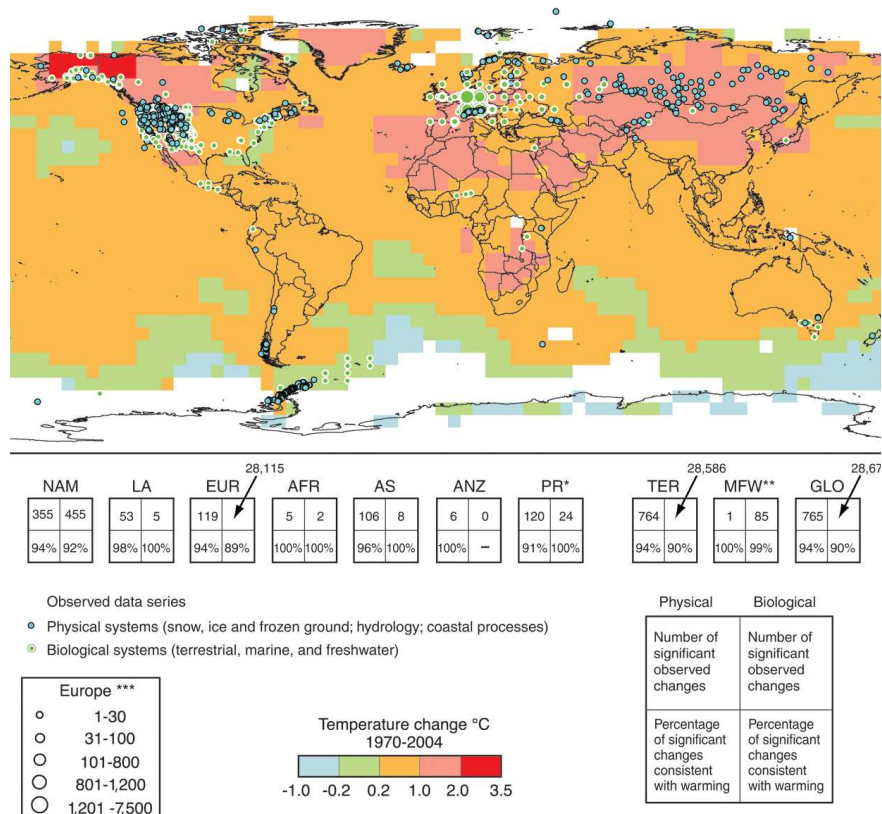


Abbildung 6 : Entwicklung der Temperatur im Verlaufe des 20. Jahrhunderts (www.ipcc.ch/)

In der Schweiz verwaltet MeteoSchweiz Temperaturmessungen von über 100 Wetterstationen die über das ganze Land verteilt sind. Dank diesem Messnetz konnte aufgezeigt werden dass ein verstärkter Temperaturanstieg im Verlauf des letzten Jahrhunderts stattgefunden hat. Im Norden der Alpen war die Erwärmung ausgeprägter, zwischen 1.3°C (in der Deutschschweiz) und 1.6°C (in der welschen Schweiz), während im Süden der Alpen ein Anstieg von 1°C gemessen wurde. Seit dem Beginn der Achtzigerjahre hat sich die Erwärmung in der ganzen Schweiz deutlich verstärkt.

Abbildung 7 (auf französisch) zeigt den Temperaturverlauf in den letzten 400'000 Jahren (jährliche Durchschnittstemperatur der ganzen Erde, gemessen bezüglich der Durchschnittstemperatur im Jahr 1950). Die Erwärmung in den letzten 50 Jahren scheint aussergewöhnlich stark zu sein, gemessen am Verlauf der letzten 1300 Jahre. Als die Temperaturen in den Polarregionen zum letzten mal beträchtlich höher waren als heute (das war vor ungehähr 125'000 Jahren), lag der Meeresspiegel 4 bis 6 meter höher als jetzt (« Ere glaciaire » heisst Eiszeit, « seuil critique des hausses de température » heisst kritischer Wert der Temperaturerhöhung). Bei Betrachtung der letzten 400'000 Jahre wird klar dass schon ähnliche Temperaturen wie die heute gemessenen Werte auftraten (allerdings waren da die CO₂-Werte tiefer).

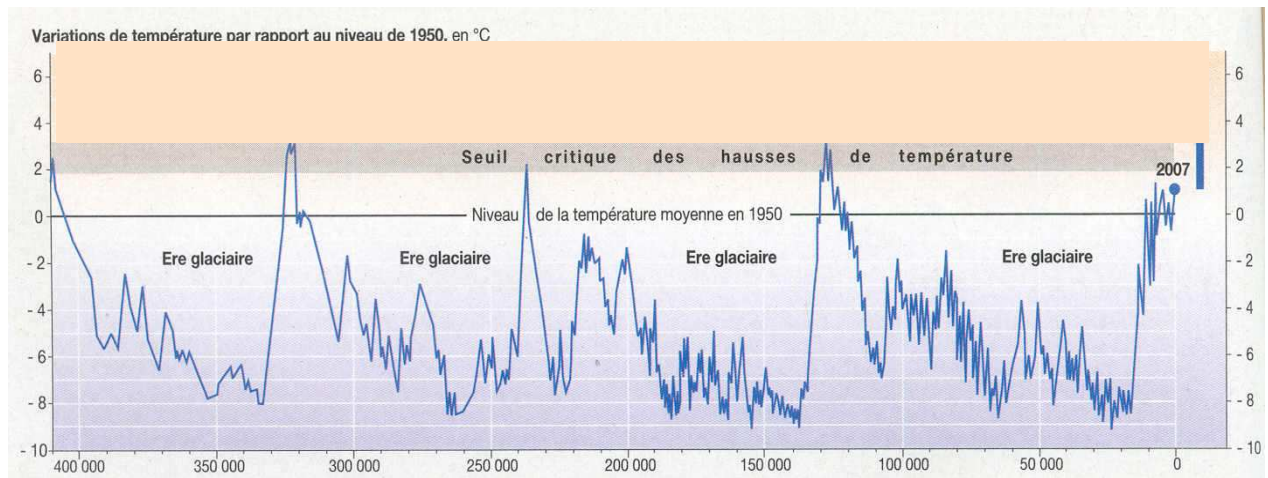


Abbildung 7 : Verlauf der Jahresdurchschnittstemperatur in den letzten 400'000 Jahren. Temperaturangabe bezüglich der Durchschnittstemperatur im Jahr 1950, welche durch die schwarze Linie dargestellt wird (www.ipcc.ch/)

Laut den Wissenschaftlern des 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, ebenso wie von Emissionsszenarien welche die möglichen Entwicklungen der Bevölkerung, der Wirtschaft und der Technologie in Betracht ziehen. Das Szenario « Schweiz 2050 » sieht eine Erwärmung von 2 Grad im Herbst, Winter und Frühling vor. Im Sommer soll die Durchschnittstemperatur sogar 3 Grad höher liegen. Wenn die Unsicherheiten der Modelle miteinbezogen werden, muss mit einem Temperaturanstieg von 1 bis 4 Grad gerechnet werden.

Temperatur : wie wird sie gemessen ?

Alle Geräte welche die Temperatur messen funktionieren nach dem selben Prinzip. Ein Referenzelement besitzt gewisse, bekannte Eigenschaften welche von der Temperatur abhängig sind. Dies kann anhand des Quecksilberthermometers illustriert werden. In diesem Fall ist die Eigenschaft, mit der die Temperatur gemessen werden kann, die Wärmausdehnung des Quecksilbers (dieses Phänomen zeigt sich in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen). Es können aber auch ganz andere Eigenschaften genutzt werden um die Temperatur zu messen, so z.B. die elektrische Veränderung im Falle des Thermoelements oder die Identifizierung der Lichtemissionsfarbe beim Infrarotsensor. Die Wahl des angewandten Prinzips wird in Abhängigkeit der Bedürfnisse getroffen (die Spannweite der gemessenen Temperaturen, die erforderte Genauigkeit, die Art des Materials/Elements von welchem die Temperatur gemessen werden soll, ect.).

Die ersten Temperaturmessungen auf der Erdoberfläche wurden im Jahr 1856 durch die britische meteorologische Institution durchgeführt. Sie hat Messdaten von verschiedensten Orten der Erde gesammelt. Wissenschaftler haben sogenannte « indirekte » Methoden entwickelt welche mit Hilfe von Parametern der natürlichen Umgebung funktionieren (Bäume, Korallen, Eis) und es ermöglichen die Temperaturen herauszufinden welche früher geherrscht haben. Als Beispiel kann der Baum genommen werden, welcher einen Jahresring produziert dessen Dicke unter anderem von der Temperatur abhängt. Als generelle Regel gilt, je wärmer die Temperatur, desto dicker der Jahresring. Wenn die Grösse, die Dichte, die isotopische Zusammensetzung des Wasserstoffs und des Sauerstoffs des Holzes, beziehungsweise des Jahresrings, bestimmt worden sind, kann die Temperatur geschätzt werden die während der Bildung des Jahresrings geherrscht hatte. Dem gleichen Prinzip folgend kann die Temperatur der Vergangenheit durch die Jahresringe der

Korallen bestimmt werden (welche aus Kalziumkarbonat, CaCO_3 , bestehen). Das Gletschereis der Gebirge und das Polareis¹ bestehen aus Wasserstoff und Sauerstoff. Deuterium ist ein Isotop² des Wasserstoffs. Da eine Verknüpfung zwischen der Lokaltemperatur und der Deuteriumkonzentration besteht, ist es möglich das Klima von früher zu rekonstruieren. Diese « indirekten » Methoden erlauben eine Rekonstruktion des Klimas bis 400'000 Jahre von unserer Zeit. Es darf nicht vergessen werden dass diese Methoden mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

Wie misst die SensorScope Wetterstation die Temperatur?

Die SensorScope Station misst die Temperatur der Luft und der Bodenoberfläche. Die Umgebungstemperatur wird durch einen Sensor festgehalten welcher die Variation des elektrischen Widerstands misst (b). Diese Art von Sensor kan ausgesprochen klein hergestellt werden und die Temperatur sehr genau messen. Die Temperatur der Bodenoberfläche wird durch einen Infrarotsensor gemessen (Photo c) welcher gegen den Boden gerichtet ist. Schematisch beschrieben misst der Infrarotsensor die Lichtmenge die vom Boden ausgestrahlt wird (welche proportional zur Bodentemperatur ist) und wandelt diese in ein elektrisches Signal um, welches wiederum von einem Sensor gemessen wird. Die SensorScope Station misst die aktuelle Luft- und Bodentemperatur im Abstand von 2 Minuten.

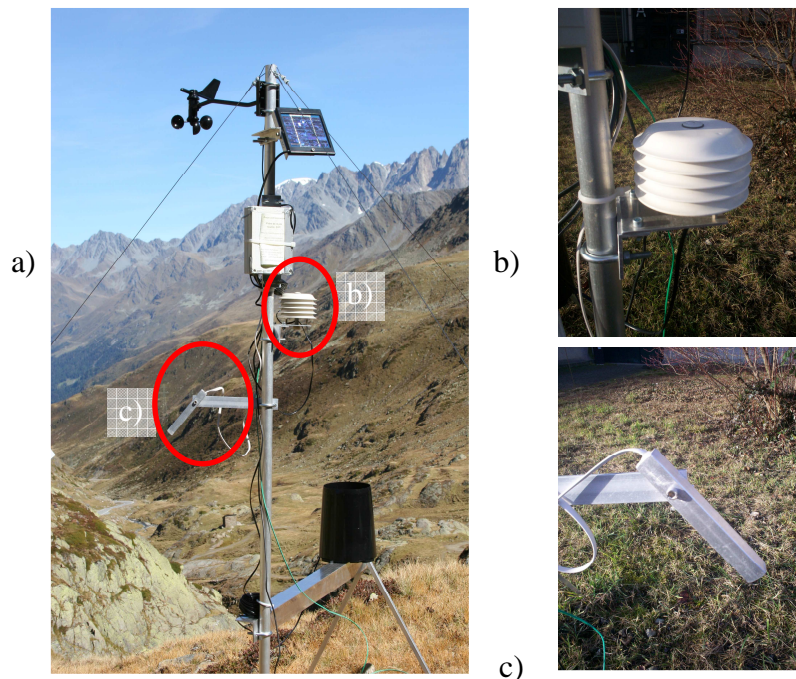


Abbildung 8 : (a) SensorScope Station, (b) Umgebungstemperaturmesser und (c) Bodentemperaturmesser

¹ Eine Bohrung in Vostok in der Antarktis hat einen 2083 Meter langen Eiskern zu Tage gefördert. Der unterste Teil des Eiskerns hat sich vor fast 500'000 Jahren gebildet und erlaubt damit Schlussfolgerungen über das Klima bis nahe an diesen Zeitpunkt.

² Zwei Atome werden als Isotope bezeichnet wenn sie die gleiche Anzahl Protonen haben, aber eine unterschiedliche Anzahl Neutronen.

Wissenswertes

- Die höchste je gemessene Lufttemperatur der Erde : 57.3°C, am 13.9.1922 in Al Aziziyah in Libyen. Die tiefste Temperatur : -89,2°C, am 21.7.1983 in Vostok in der Antarktis.
- In der Schweiz wurden folgende Rekordwerte gemessen : die Höchsttemperatur am 11.8.2003 in Grono (GR) mit 41.5 °C und die kälteste Temperatur mit -41.8 °C in Brévine (NE) am 12.1.1987.
- Ohne Atmosphäre würden die Tagestemperaturen auf der Erdoberfläche auf 100 °C klettern und in der Nacht auf – 150 °C sinken!

Weitere Informationen

- www.meteoschweiz.ch
- www.futura-sciences.com/fr/comprendre (französisch)
- www.meteofrance.fr (französisch)
- www.greenfacts.org/de/
- www.defipourlaterre.org (französisch)
- <http://sensorscope.epfl.ch>

Was ist die Atmosphäre ?

Die Atmosphäre ist eine Gashölle welche die Erde umgibt. Ihre chemische Zusammensetzung besteht hauptsächlich aus Stickstoff (78%), Sauerstoff (21%), Edelgasen (Argon, Ozon (O_3 , 0,000001 %)) und in den niederen Schichten aus Wasserdampf und Kohlendioxid (CO_2). Die Erdatmosphäre hat die Entstehung und das Bestehen des Lebens erst ermöglicht. Die Präsenz der lebenden Organismen hat jedoch die Zusammensetzung der Atmosphäre verändert. Als glänzendes Beispiel dient die menschliche Aktivität, die durch Emissionen die Konzentration einiger Substanzen (z.B. Kohlendioxid) erhöht oder gar neue Substanzen freisetzt (beispielsweise die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, abgekürzt FCKW). Die Gase aus der die Atmosphäre besteht sind ungleichförmig in den vier Hauptschichten der Atmosphäre verteilt. Vom Boden her aufwärts gehend sind dies : die Troposphäre, die Stratosphäre, die Mesosphäre und die Thermosphäre. Diese Aufteilung in Schichten basiert auf den Höhen auf denen der Temperaturverlauf sich ändert (siehe Abbildung 1). Beinahe die gesamte Atmosphärenmasse befindet sich in der Troposphäre und der Stratosphäre. 99% der Masse befindet sich unterhalb der Höhe von 30 km. Die Ozonschicht befindet sich in der Stratosphäre auf einer Höhe von ungefähr 25 km.

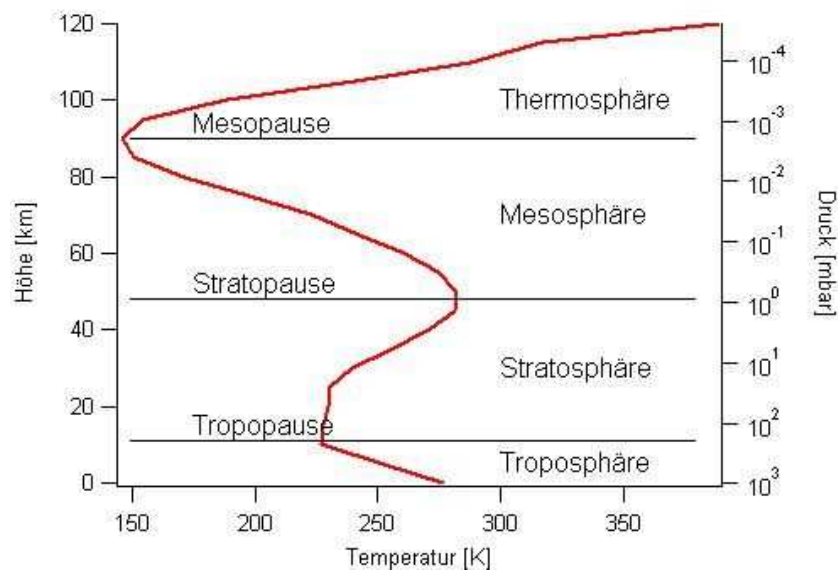


Abbildung 1 : Vertikalstruktur der Atmosphäre (www.steffi-micha.de)

Was versteht man unter den Begriffen Treibhauseffekt und Klimawandel ?

Die Erde erhält Energie von der Sonne (ungefähr 340 W/m^2) unter der Form von elektromagnetischer Strahlung. Bloss ein Bruchteil dieser Strahlung wird in das Weltall reflektiert, zum einen durch die Wolken (65 W/m^2) und zum anderen durch die Substanzen der Atmosphäre (15 W/m^2). Der Rest wird aufgenommen (« absorbiert »), zu einem Drittel durch die Atmosphäre und ihre Treibhausgase (Wasserdampf, Methan, Kohlendioxid) und zu zwei Dritteln durch die Erdoberfläche. Die durchschnittlich Albedo¹ der Erdoberfläche reflektiert ungefähr 50 W/m^2 , wovon 20 W/m^2 effektiv in den Weltraum gesendet werden und 30 W/m^2 auf die Erdoberfläche zurückfallen durch die Absorption und Rediffusion der Strahlung, hervorgerufen durch die Treibhausgase. Es ist jene Erwärmung die man als Treibhauseffekt bezeichnet. Es handelt sich bei dem Treibhauseffekt also um ein natürliches Phenomen das unverzichtbar für das Leben auf der Erde ist. Ohne Treibhauseffekt wäre die mittlere Temperatur der Erde gerade mal bei -18°C !

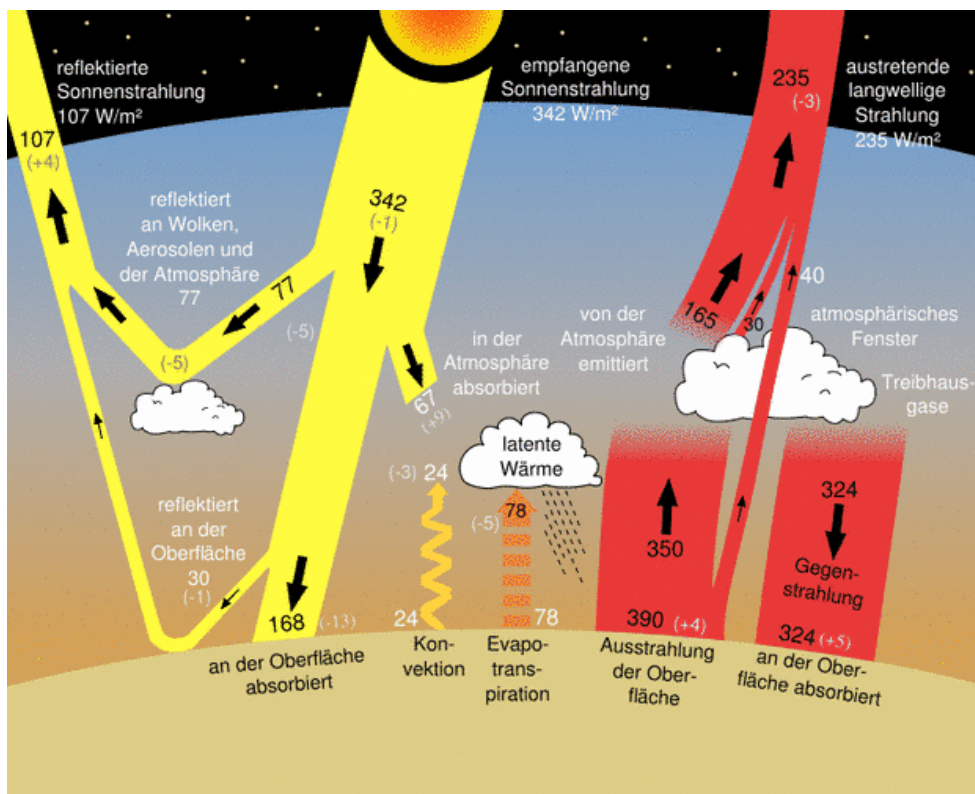


Abbildung 2 : Strahlungsbilanz der Erde (www.wetter24.de)

Daraus folgt dass eine direkte Beziehung zwischen Treibhauseffekt (CO_2 , Methan, ...) und dem Klimawandel besteht. Im Detail heisst dies, wenn die Konzentration der Treibhausgase steigt, werden sie mehr Energie zurückhalten und die Temperatur steigt, was zu einer Klimaerwärmung führt.

¹ Die Albedo ist das Verhältnis der reflektierten Sonnenenergie zur einfallenden Sonnenenergie. Man verwendet eine durchgehende Skala zwischen 0 und 1, wobei keine Reflektion 0 ist und die totale Spiegelung bei 1 liegt.

Die Klimaveränderungen ?

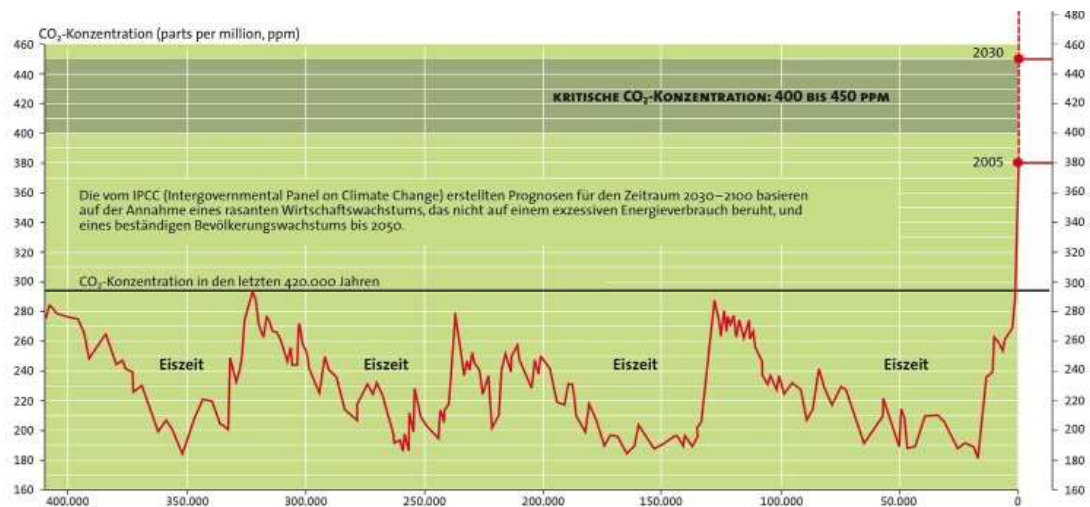


Abbildung 3 : Entwicklung der CO₂ Konzentration in den letzten 400'000 Jahren (Datenquelle : www.ipcc.ch/)

Seit Beginn des Industriezeitalters (1850) führen die Verbrennung von fossilen Ressourcen (Erdöl, Kohle, Gas), die Waldrodungen und die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmethoden zu einer Erhöhung der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Zusätzlich zu diesen « menschlichen » Ausstößen kommen die natürlichen (Atmung und Zerfall von lebenden Organismen, Vulkaneruptionen, ...). Auf der anderen Seite wird ein grosser Teil dieser Treibhausgase, insbesondere das CO₂ der Atmosphäre, auf natürliche Weise durch die pflanzliche Photosynthese und die Weltmeere aufgenommen. Die Wissenschaftler sind heute beunruhigt weil durch die menschlichen Aktivitäten dieses Gleichgewicht zwischen produziertem Treibhausgas und aufgenommenem Treibhausgas verändert wird. Die Menge an CO₂ in der Atmosphäre erhöht sich zu schnell als dass jene natürlichen Aufnahmereservoirs (Photosynthese und Ozeane) alles zusätzliche CO₂ aufnehmen könnten. Laut den Szenarien des IPCC (Internationale Kommission für Klimaveränderungen) erreicht die Kohlendioxidkonzentration einen kritischen Wert welcher zu katastrophalen Konsequenzen in den Jahren um 2030 führt (siehe Abbildung 3). Es ist deshalb dringend notwendig unseren Treibhausgasausstoss zu reduzieren !

Das Kyoto-Protokoll hat die Stabilisierung der Treibhausgase zum Ziel, dies auf einem Niveau die jede gefährliche menschliche Störung des Klimasystems ausschliesst. Laut dem Kyoto-Protokoll sollen die Treibhausgasemissionen von 38 Industriestaaten im Jahr 2012 um 5.2 % reduziert werden, verglichen mit den Emissionen von 1990.

Welches sind die voraussichtlichen Konsequenzen der Klimaerwärmung ?

Gestützt auf die Voraussage-Modelle hat die IPCC die hauptsächlichsten Beziehungen zwischen den Klimaveränderungen und den Ökosystemen bestimmt. Daraus folgt dass die angekündigten Veränderungen zu zahlreichen Bedrohungen für den Menschen führen, unter anderem :

- die Gletscherschmelzungen führen zu einem Anstieg des Meeresspiegels, was Massenmigrationen und Flutrisiko mit sich führt
- eine Erhöhung der Anzahl und Intensität an extremen Klimaphänomenen wie Hitzewellen, sintflutartige Regen und Trockenheit
- die Erhöhung von Naturrisiken wie Überschwemmungen und Erdbeben, aufgrund der Entwicklung des Wasserkreislaufs und dem Auftauen der gefrorenen Böden (Permafrost)
- die Verschiebung von gewissen Vegetationstypen. Es wird zum Beispiel im alpinen Raum mit einer Erhöhung der Waldgrenze in der Grössenordnung von 100 Metern alle 10 Jahre gerechnet
- Das Verschwinden von gewissen Tier- und Pflanzenarten. Beispielsweise der Wohnraum des Polarbärs wird stark bedroht durch die Gletscherschmelze
- die Abnahme der Schneehöhe der Wintersportorte bringt eine touristische und ökonomische Veränderung mit sich
- eine Verringerung der Wasserversorgungs-Sicherheit aufgrund vermehrter Trockenheit und des veränderten Wasserkreislaufs

Angesichts dieser befürchteten Konsequenzen werden einige natürliche Systeme mehr von der globalen Erwärmung betroffen sein als andere. Die sensibelsten Systeme werden die Gletscher, die Korallenriffe, die borealen und tropischen Wälder so wie die polaren und alpinen Ökosysteme sein.

Wie wird die Schweiz im Jahr 2050 aussehen ?

Der Bericht «Klimaänderung und die Schweiz 2050 »² beschreibt den zukünftigen Klimawandel und dessen Konsequenzen für die Schweiz bis 2050. In all diesen hier verfassten Informationsdokumenten die für die Unterrichtspersonen bestimmt sind, beziehen wir uns auf diesen Bericht. Es folgt daraus dass die Schmelze des Permafrosts (Dauerfrostboden) und die Verringerung der Schneedecke sehr ausgeprägte Auswirkungen auf den inländischen Tourismus und Wirtschaft haben werden. Auf der anderen Seite muss aber festgehalten werden dass die Erhöhung der Temperatur von 2 bis 3 °C negative (z.B. Verschiebung von einigen Vegetationstypen) und positive Effekte (z.B. Förderung des Artenreichtums) haben könnte.

² <http://www.uvek.admin.ch/dokumentation/00474/00492/index.html?lang=de&msg-id=11454>

Wussten Sie ?

- Wenn unser Planet die Grösse einer Orange hätte wäre die Atmosphäre etwa gleich dick wie ein Blatt Papier.
- Die Aufenthaltszeit einiger Treibhausgase in der Atmosphäre kann mehrere tausend Jahre betragen.
- Um eine Stabilisierung des Klimas zu erreichen müsste der globale CO₂-Ausstoss um einen Faktor 2 verringert werden und derjenige der Industrieländer um einen Faktor 4 in der Zeit von Heute bis 2050.

Für weitere Information

- www.globe-swiss.ch
- http://proclimweb.scnat.ch/Products/CH2050/CH2050-bericht_d.html
- http://www.mrcc.uqam.ca/index.php?page=accueil_-ang.html&sm=none

Quellen auf französisch:

- L'Atlas environnement, analyses et solutions. Hors-série du monde diplomatique
- La Suisse se réchauffe, Effet de serre et changement climatique, Martine Rebetez
- www.defipourlaterre.org
- www.ladocumentationfrancaise.fr
- www.fondation-nicolas-hulot.org

Einführung, Allgemeines über das Wasser

Das Wasser kommt in 3 Zuständen vor (fest, flüssig und gasförmig). Der Hauptteil des Wassers auf der Erde (ungefähr 96 %) ist salzhaltig und bildet die Weltmeere. Das Süss- oder Trinkwasser macht gerade mal 3 % aus. Etwa die Hälfte des Süsswassers befindet sich unter gefrorener Form in Gletschern. Die zweitgrösste Süsswasserreserve ist das Grundwasser mit einem Anteil von 1.7 % des ganzen Wassers auf der Erde, weit grösser als die Oberflächengewässer, deren Anteil unter 0.01 % der gesamten Wassermenge liegt.

Mechanismus der Niederschlagsbildung : der Wasserkreislauf

Das Wasser der Erde ist ständig in Zirkulation. Es transformiert sich im Verlaufe des sogenannten Wasserkreislaufs. Dabei bleibt die Gesamtmenge, ca. 1.4 milliarden km^3 , im Verlaufe der Zeit unverändert. Unter dem Sonneneinfluss verdampft das Wasser von der Oberfläche (Meere, Seen, Flüsse) und ebenso ein Teil des Wassers der Pflanzen. Tritt der so gebildete Wasserdampf mit kalter Luft in Kontakt wird er abgekühlt, worauf sich Wolken bilden, welche zu Niederschlag führen (entweder flüssig oder als Schnee). Ein Teil des Niederschlags versickert (« infiltriert ») im Boden und wird so zur Grundwasserreserve, ein anderer Teil wird als Oberflächenwasser gespeichert (See, Gletscher, ...). Der Rest fliesst ins Meer. Zusammenfassend gesagt besteht der Wasserkreislauf aus Verdampfung, Niederschlag, Versickerung und Abfluss, dargestellt in Abbildung 9 (Begriffe auf englisch).

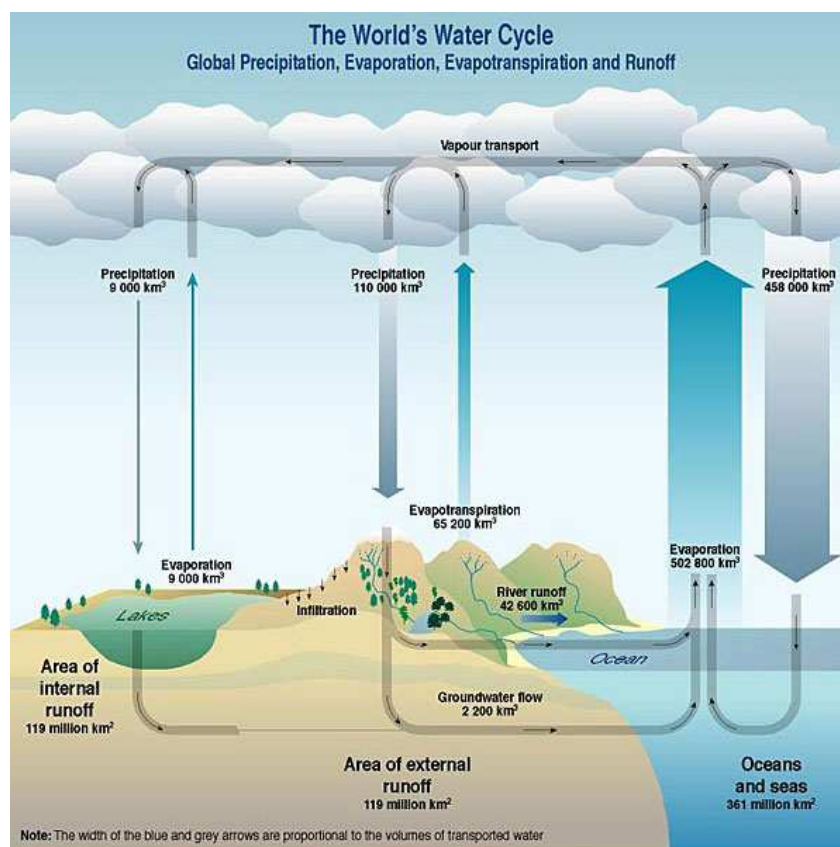


Abbildung 9 : Wasserkreislauf (Quelle : www.unep.org)

Definitionen, Einheiten und Grössen

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

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/m^2) ausgedrückt. 1 mm Niederschlag entspricht dabei 1 l Wasser pro m^2 . Die Intensität des Regens ist die Wasserhöhe des gefallenen Wassers pro Zeiteinheit (normalerweise in mm/h ausgedrückt).

Die Niederschläge und im speziellen die extremen Regenfälle sind der Grund für Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Erdbeben und Wildbachüberschwemmungen.

Niederschläge : Schlüsselzahlen, zeitliche und geographische Abhängigkeit

Die Niederschläge sind zeit- und ortsabhängig. Die totale, zusammengezählte Niederschlags-Wassermenge ist ein interessanter Indikator beim Vergleich von verschiedenen Ortschaften. Die jährliche Niederschlagsmenge in der Schweiz liegt bei durchschnittlich 1000 mm. Wie die Abbildung 10 zeigt gibt es aber beachtliche Unterschiede. In Lugano regnet es überdurchschnittlich viel, während Davos vergleichsweise wenig Niederschlag verzeichnet. Auf globaler Ebene herrschen sehr grosse Unterschiede. In den Wüstenregionen regnet es teilweise weniger als 100 mm pro Jahre, in tropischen Regenwäldern können hingegen mehrere tausend millimeter pro Jahr gemessen werden.

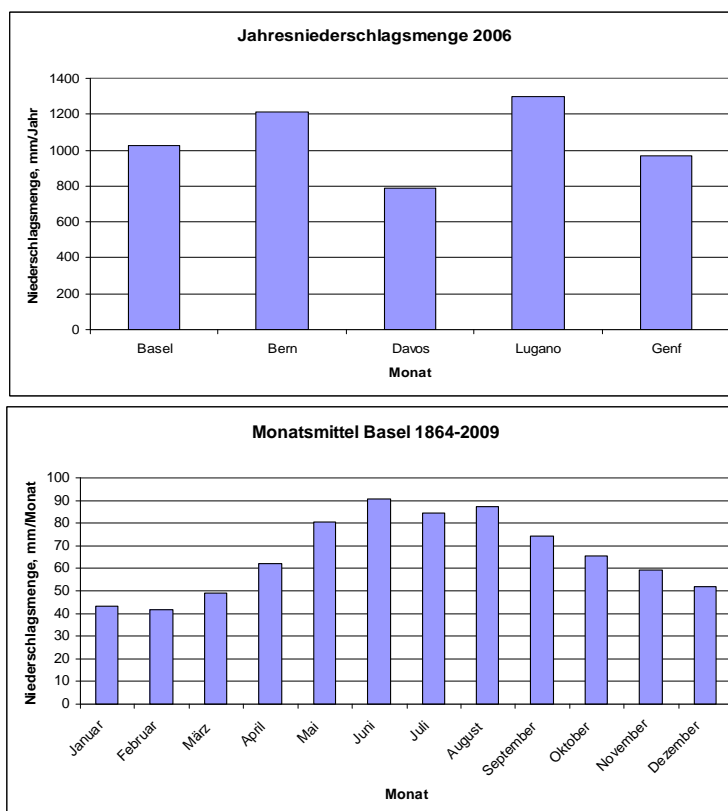


Abbildung 10 : Regionale Unterschied in der Regenmenge an verschiedenen Orten in der Schweiz im Jahr 2006 (oben), jährliche Verteilung der Niederschlagsmenge in Basel (unten) (Datengrundlage : MeteoSchweiz)

Gestützt auf die monatliche Verteilung der Niederschläge und die jährliche Regenmenge kann die Niederschlagscharakteristik eines Orts beschrieben werden und des weiteren einer der globalen Klimaregionen zugeordnet werden. In Sion und Brüssel (franz. Brusselle), sind die Niederschläge auf das ganze Jahr verteilt, in Windhoek in Namibien und Brasilia in Brasilien gibt es eine Trockensaison (Juli und August) und eine Regenperiode. In Sion beispielsweise regnet es im März und August am meisten.

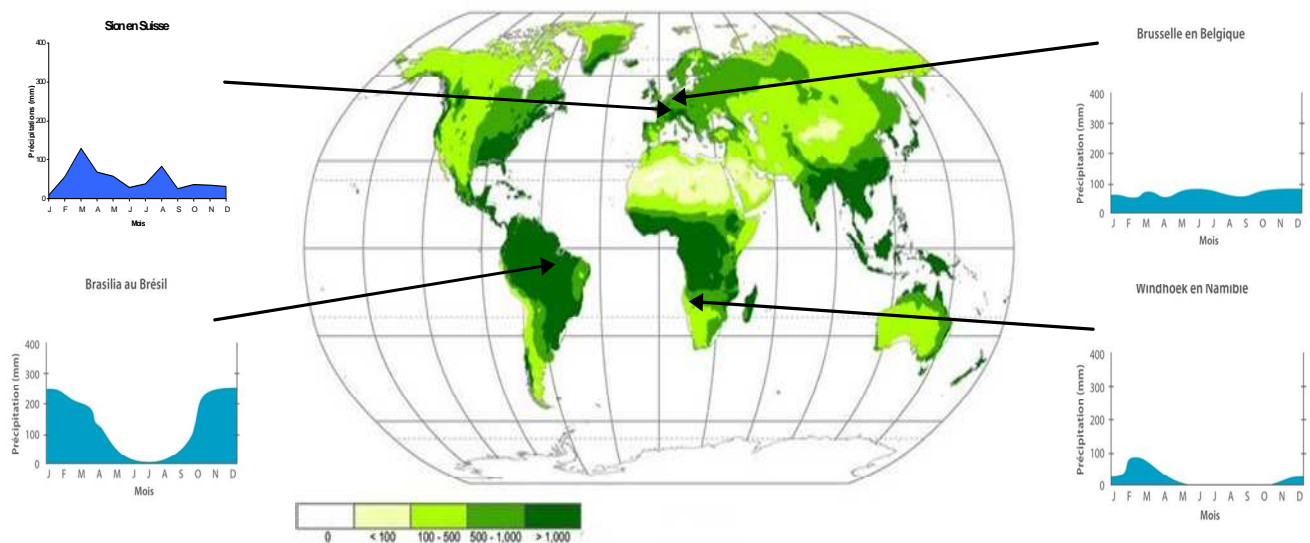


Abbildung 11 : Verteilung der jährlichen Niederschlagsmengen auf der Erde (in mm) und die monatliche Verteilung in 4 Städten.

Tendenz der Schweiz

Laut MeteoSchweiz haben Niederschläge im Winter und extreme Wetterphänomene (Stürme, etc.) während dem 20. Jahrhundert zugenommen. Die Sommerniederschläge sind hingegen unverändert geblieben. Gestützt auf die Vorhersagemodelle des IPCC hat die Schweiz ihr Szenario für das Jahr 2050 ausgearbeitet. Laut diesem werden die Niederschläge im Winter um 10 % zunehmen, diejenigen im Sommer 20 % abnehmen. Es muss ebenfalls mit einer Zunahme von extremen Wetterereignissen, wie sehr intensiver Regen, gerechnet werden. Die aktuellen Modelle können keine Auskunft über den Standort der zukünftigen Niederschläge geben und beinhalten grosse Unsicherheiten bei der Vorhersage der Niederschläge im Frühling und Herbst.

Niederschläge : wie werden sie gemessen ?

Gegenwärtig gibt es zwei unterschiedliche Operationssysteme zur Niederschlagsmessung. Die erste Methode ist der mechanische Regenmesser. Dieser sammelt die gesamte Wassermenge welche in einen kalibrierten Behälter fällt, während des Zeitintervalls zwischen zwei Messungen. Eine zweite Komponente misst die Höhe des gefallenen Regens und die Verteilung in der Zeit, das heisst die Intensität des Niederschlags. MeteoSchweiz verwaltet die Daten von mehr als 400 Stationen welche über den ganzen helvetischen Raum verteilt sind.

Die zweite Methode ist auf elektronischer Fernerkundung basiert. Der Wetter-RADAR (Radio Detection And Ranging) sendet Radiowellen welche vom Regen in der Atmosphäre reflektiert

werden. Das « Echo » ermöglicht die Lokalisierung des momentanen Niederschlags und dessen Intensität in einer Entfernung bis 200 km. Das Signal ist proportional zur Intensität des Regens. In der Schweiz befinden sich drei Radarsysteme (Dôle, Albis, Monte Lema).

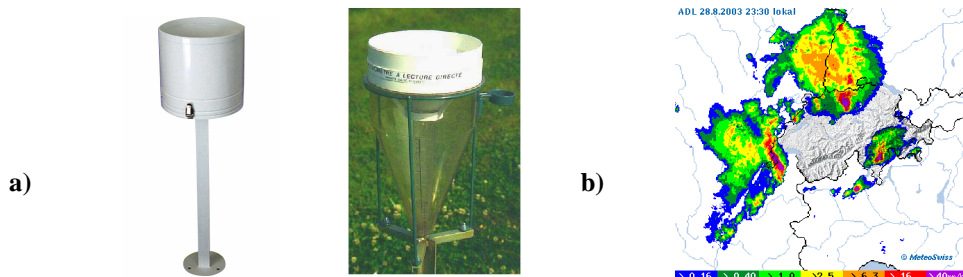


Abbildung 12 : Beispiele von Regenmessern (a) und eines Radarbilds (b)

Beide dieser Systeme (Regenmesser und Radar) besitzen ihre spezifischen Eigenschaften (Preis, Art der Information, räumliche Auflösung, ...). Der Regenmesser gibt Informationen zu punktuellen Niederschlag, während der Radar Auskunft über die räumlich Verteilung des Niederschlags gibt. Er produziert eine Art Regenfläche. Daher können diese zwei Systeme als komplementär bezeichnet werden.

Wie misst die SensorScope Wetterstation den Niederschlag?

Die Messstation SensorScope verwendet ein System mit Kippbehälter. Dieses besteht aus einem Trichter und einem zweiteiligen Kippbehälter, von welchem die beiden Kammern abwechselungsweise gefüllt werden. Wenn sich das Gewicht einer bestimmten Wassermenge (das 0.2 mm Regen entspricht) im Behälter befindet ändert der Behälter die Stellung. Dadurch wird der volle Behälter entleert und der Leere fängt den weiteren Regen ein. Die Station zählt die Anzahl der Entleerungen während einer bestimmten Zeit. Wenn eine Entleerung 0.2 mm entspricht ist es möglich die akkumulierte Wasserhöhe und die Intensität einer Schauer zu messen.

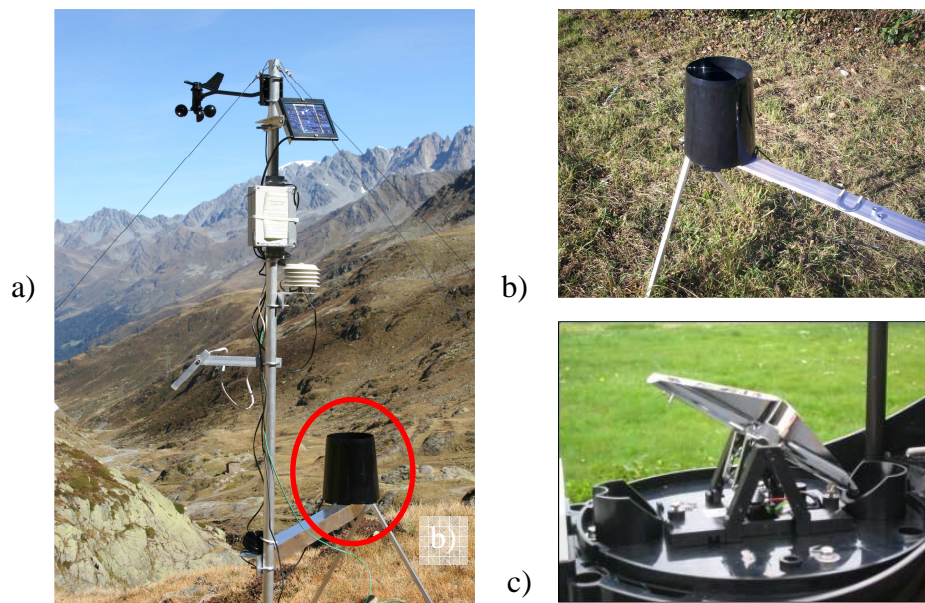


Abbildung 13 : SensorScope Station (a), Regenmesser (b) und Innenausstattung eines Regenmessers (Kippbehälter) (c).

Wissenswertes

- In der Atacama-Wüste von Chile sind im Verlauf der letzten 100 Jahre lediglich einige mm Regen gefallen !
- Die 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 welche sich in der Luft befinden. Wenn die Luft genügend kalt ist schmelzen diese Kristalle nicht beim Runterfallen, sondern vergrössern sich und bilden schlussendlich das was als Schneeflocke bezeichnet wird.
- Im Jahr 1864 wurden in der Schweiz zum ersten Mal Regenmessungen durchgeführt.

Für weitere Informationen

- www.meteoschweiz.ch
- www.planete-sciences.org/meteo (auf französisch)
- www.educnet.education.fr (französisch oder englisch)
- <http://sensorscope.epfl.ch> (englisch)
- <http://www.greenfacts.org/de>
- <http://drinking-water.org/html/fr/Sources/Variability-Reliability.html> (französisch oder englisch)

Definitionen, Einheiten und Bedeutung

Der Wind ist der physikalische Parameter der die Verschiebung der Luftmasse charakterisiert. Er entsteht durch den Druckunterschied. Der Wind geht vom Hochdruckgebiet zum Tiefdruckgebiet.

Die Windrichtung und die –geschwindigkeit sind messbare Werte, welche benötigt werden um die Dynamik der Luftmassen zu studieren. Die Richtung gibt an von wo der Wind weht. 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). 1 m/s entspricht 3.6 km/h oder ungefähr 2 Knoten. Normalerweise werden die mittlere, die minimale so wie die maximale Wingerschwindigkeit in einem bestimmten Zeitintervall gemessen. Die Beaufort-Skala, welche hauptsächlich in der Seefahrts-Meteorologie benutzt wird, klassiert die Winde nach der Geschwindigkeit und dem Effekt den sie auf den Meereszustand ausüben. In dieser Skala hat ein Wind der Klasse 3 eine Geschwindigkeit zwischen 12 und 19 km/h.

Der Wind ist eine Energiequelle. Er wird seit Jahrhunderten für diverse Zwecke benutzt wie z.B. zur Energiegewinnung (Windmühlen, Bewässerung, Windenergie) oder in der Navigation.

Entstehung des Windes

Wer vom Wind spricht, spricht unumgänglich auch vom Druck. 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 Ozeane. Tagsüber ist das Festland tendenziell wärmer als das Meer. Die Luft über dem Festland erwärmt sich, dehnt sich aus, wird daher leichter und steigt in die Höhe. Dies erzeugt eine Art Vakuumeffekt welcher die kalte und schwerere Luft ansaugt. Die warme Luft kommt so über der Kalten zu liegen. Je grösser der Druckunterschied, desto stärker der erzeugte Wind.

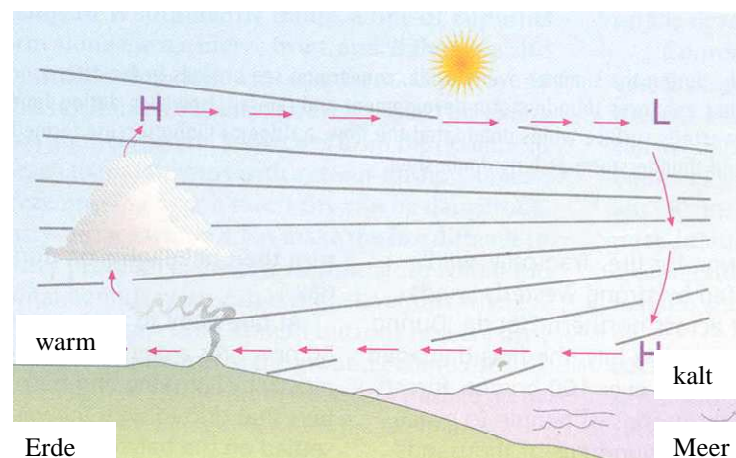


Abbildung 14 : Beispiel eines Winnbildungsmechanismus (in einer Küstenregion am Tag)

Wenn sich die Erde nicht um ihre eigene Achse drehen würde, würde die Luftzirkulation gradlinig (gerade) zwischen den Zentren der Hochdruckgebiete (mit H beschriftet, dies bedeutet der Druck ist höher als 1013^1 hPa) und den Tiefdruckgebieten (mit L beschriftet, dies bedeutet der Druck ist niedriger als 1013 hPa) verlaufen. Die Erdrotation lenkt die Luft jedoch nach rechts ab in der nördlichen Hemisphäre (und nach links auf der südlichen Hemisphäre). Diese Ablenkung wird durch die Korioliskraft hervorgerufen. Sie ist proportional zur Distanz zwischen dem Hoch und dem Tief, zur geographische Breite und zur Rotationsgeschwindigkeit der Erde. Auf lokaler Ebene sind die Distanzen zwischen den Hochs und Tiefs klein und somit spielt die Korioliskraft lediglich eine untergeordnete Rolle. Sie ist inexistent am Äquator und maximal am Nord- und Südpol. Um die reelle Windrichtung zu verstehen muss zusätzlich der Reibungseffekt, welcher von der Erdoberfläche ausgeht, miteinbezogen werden.

Eine letzte Regel welche hilft die Windrichtung zu verstehen besagt dass der Wind welcher zu einem Tiefdruckgebiet fließt im Gegenuhrzeigersinn gegen das Zentrum des Tiefs konvergiert, in der nördlichen Hemisphäre. Der Bodenwind tritt ins Tiefdruckgebiet ein, steigt spiralförmig in die Höhe (mit kleiner werdendem Radius) und entweicht schlussendlich in die Höhe. Umgekehrt divergiert die Luft in einem Hochdruckgebiet. Die Luft sinkt langsam und spiralförmig im Uhrzeigersinn ab (bei grösser werdendem Radius) in der nördlichen Hemisphäre. Die Luft breitet sich also auf dem Boden aus.



Abbildung 15 : Entstehung des Windes, Divergenz und Konvergenz
(<http://members.aon.at/chic/Haus/Energieanlage/Weltklima/HochTief2.jpg>)

Generell sind die Hochdruckgebiete durch einen blauen Himmel gekennzeichnet. Die absinkende Luft hat einen auflösenden Effekt auf die Wolken. Daher ist ein Hoch häufig Synonym für schönes Wetter. Im Gegensatz dazu wird in unseren Breitengraden ein Tief gewöhnlich mit schlechtem Wetter, sprich Wolken, Regen oder Schneefall, gleichgesetzt.

¹ Der normale Atmosphärendruck welcher auf der mittleren Meereshöhe gemessen werden kann entspricht dem Druck einer Quecksilbersäule von 760 mm Höhe (gemessen bei 0°C und auf mittlerer Meereshöhe). Der numerische Wert entspricht 1 013,25 hPa.

Verteilung des Windes und einige bekannte Winde

Die zahlreichen, gesammelten meteorologischen Daten bestätigen dass die Luftzirkulation rund um den Globus sehr variabel ist und von der Natur der Erdoberfläche (vor allem Kontinentalfläche, Ozean, Bergketten) abhängt. Trotzdem ist es möglich gewisse charakteristische Situationen auszumachen, wie die Abbildung 16 zeigt. Zwischen dem subtropischen Hochdruckgürtel und dem Äquator zum Beispiel werden die Winde der beiden Hemisphären nach Westen abgelenkt, wodurch der bekannte Nordost- bzw. Südost-Passat entsteht. In dieser Zone bilden sich die tropischen Tiefdruckgebiete. Zwischen 20° und 60° wird der Bodenwind verstärkt gegen Osten abgelenkt, welcher im Zusammenhang mit dem sehr kräftigen Jet-Strom steht, der in der Höhe aber nach Westen abgelenkt wird.

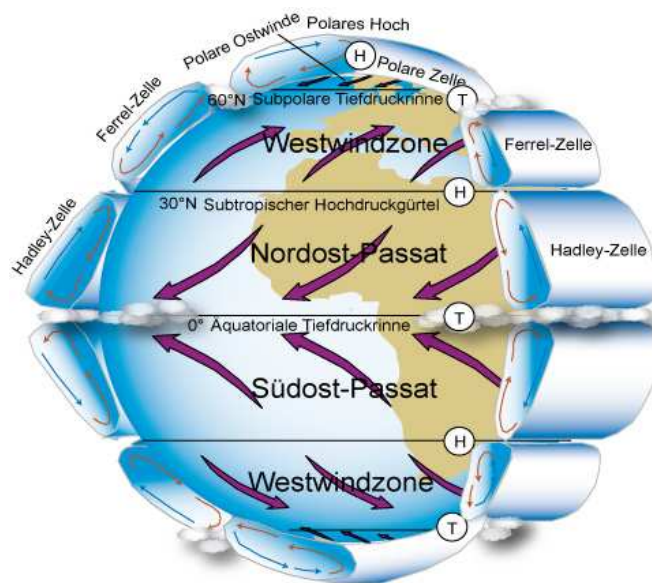


Abbildung 16 : Globale Hauptwinde (Wikipedia)

Auf der Erde gibt es mehrere Regionen mit sehr charakteristischen Lokalwinden, welche in der dortigen Bevölkerung spezielle Namen haben, wie :

- **Bise** : In der Schweiz, kalter Nord- oder Nordostwind
- **Bora** : Kalter Nordostwind der von Osteuropa nach Italien weht. Weht vor allem im Winter über der Adria oder dem schwarzen Meer
- **Chinook** : Westwind aus dem Gebirge, gleicher Ursprung wie der Föhn
- **Föhn** : Trockener und warmer Gebirgswind, vom Mittelmeer zu den Alpen hin, weht vor allem im Frühling in der Schweiz und im Tirol
- **Harmattan** : Sehr trockener Nordostwind, weht im Winter und im Frühling im westlichen Afrika
- **Joran** : Nordwind mit thermischem Ursprung, weht an Sommerabenden von dem Chaumont-Gebirge über den Neuenburgersee (Schweiz)
- **Meltemi** oder **Meltem** : Kalter Nordwind, weht in der Türkei und in Griechenland in der Ägäis, vor allem während dem Winter
- **Mistral** : Heftiger Nordwind, ganzjährig, im Rohnetal, der Provence und auf den Balearen
- **Monsun** : Südasiatischer Wind, weht im Winter in Richtung Meer und im Sommer gegen das Landesinnere

- **Samum** : Trockener, warmer Sandsturm in Nordafrika der in diverse Richtungen weht
- **Scirocco oder Schirokko** : Trockener und warmer Südwind im Sommer in Nordafrika ; feucht und warm im Sommer in Italien
- **Tramontane** : Kalter Nordwest- und Nordwind
- **Vaudaire** : Südostwind in der Schweiz
- **Zephyr** : Schwacher, warmer Ostwind

Tendenz

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 der Extremphänomene wie z.B. der Sturm Vivian (1990).

Wind : wie wird er gemessen ?

Um die Windgeschwindigkeit zu messen wird ein Anemometer aufgestellt. Dieses Instrument besteht aus 3 Halbkugel-Schalen welche an Metallstangen angebracht sind, im Winkelabstand von je 120°. Ein Zähler der mit der Achse verbunden ist erlaubt das Messen und Festhalten der Windgeschwindigkeiten.

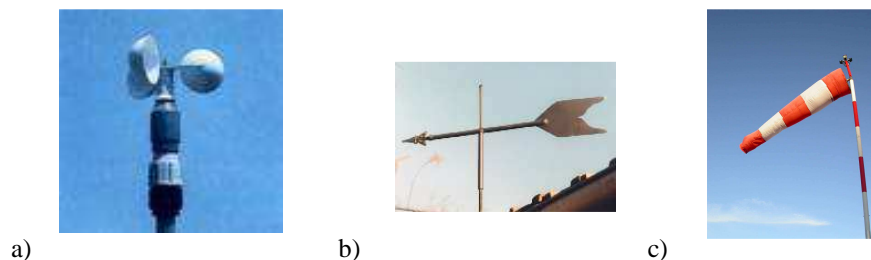


Abbildung 17 : Beispiel eines Anemometers (a), Windfahne (b) und eines Windsacks (c) (www.meteole.net)

Die Windrichtung wird gewöhnlich als Himmelsrichtung ausgedrückt, von der Richtung aus der er weht. Luft die sich von Südwesten nach Nordosten bewegt wird als Südwestwind bezeichnet. Er kann ebenfalls in Winkelgrad angegeben werden (für einen Wind aus Südwest : 225°). Um die Windrichtung festzustellen wird eine Windfahne oder ein Windsack benutzt, häufig in Kombination mit einem Anemometer.

Wie misst die SensorScope Station den Wind ?

Die SensorScope Wetterstation misst die mittlere Windgeschwindigkeit (jeweils während zwei Minuten) und die momentane Windrichtung (eine Messung alle zwei Minuten) anhand einer Windfahne und einem Anemometer. Die verwendeten Einheiten sind Winkelgrad und Meter pro Sekunde. Es ist sehr wichtig die Windfahne nach Norden auszurichten respektive zu « kalibrieren », so dass der Nordwind, etc. auch tatsächlich als solcher aufgezeichnet wird.

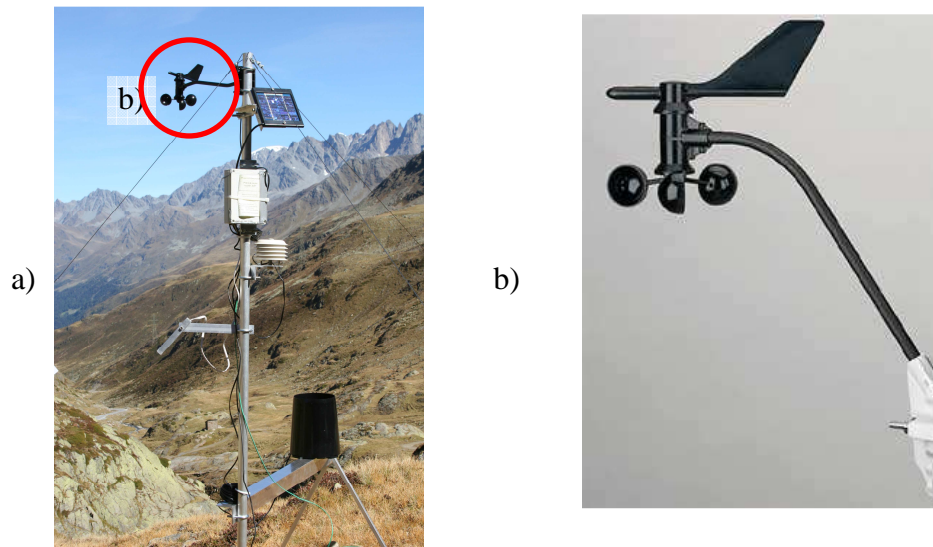


Abbildung 18 : SensorScope Wetterstation (a), Windgeschwindigkeits- und Richtungsensor (b)

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 gezogen sind 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).
- Der Jet Stream ist ein starker Luftzug (300 bis 400 km/h) auf über 10 000 Meter Höhe welcher rund um die Erde geht von Westen nach Osten. Der Jet Stream wurde im Jahr 1926 entdeckt und verursachte zahlreiche Flugunglücke.
- Die Windfahne ist eines der ältesten meteorologischen Instrumente. Sie wurde in Europa im Verlauf des Mittelalters eingeführt.
- Ein Wirbelsturm ist ein sehr starkes Tief welches in der innertropischen Zone über dem warmen Ozean entsteht. Das Tief ruft sehr heftigen Wind und Regenfälle hervor. Er wird als Orkan/Hurrikan bezeichnet wenn er sich ausserhalb der innertropischen Zone bildet und als Taifun wenn er den Ostpazifik oder das chinesische Meer überquert.

Für weitere Informationen

- www.meteoschweiz.ch
- www.meteofrance.fr (auf französisch)
- <http://eolemag.free.fr/> (auf französisch)
- www.meteolafleche.com (auf französisch)
- www.meteo.org/phenomen/vent.htm (auf französisch)
- <http://sensorscope.epfl.ch>

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, von welcher uns auf der Erde ein Bruchteil unter Form der elektromagnetischen Strahlung zukommt. Diese trifft die Erde einige Minuten nach ihrer Entstehung, nachdem sie die Distanz von der Sonne zur Erde zurückgelegt hat (die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt 300'00 km/s). Diese Wellen, welche auch Sonnenstrahlung genannt werden, bestehen aus einer Bandbreite von verschiedenen Wellenlängen, angegeben in Nanometer (ein Nanometer (nm) entspricht einem milliardstel Meter), was den Wellen verschiedene Eigenschaften verschafft. Sie können in drei grosse Gruppen eingeordnet werden.

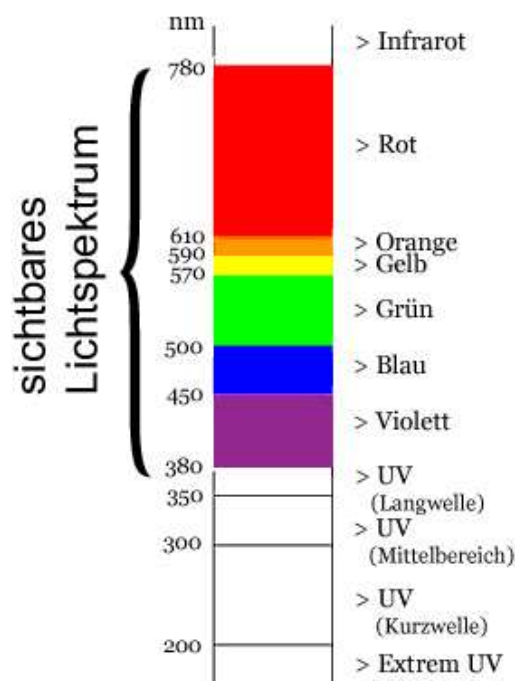


Abbildung 19 : Wellenspektrum mit Wellenlängen und -namen (<http://www.geoberg.de>)

- Die kurzwellige Strahlung ist unsichtbar für uns Menschen und besteht aus der Gammastrahlung (Wellenlänge zwischen 0.001 und 0.01 nm), den X-Strahlen welche für die Röntgenuntersuchung benutzt werden (zwischen 0.1 und 10 nm) und den ultravioletten Strahlen¹ (UV, zwischen 10 und 400 nm), verantwortlich für die Sonnenbräunung. Diese Strahlengruppe repräsentiert lediglich 6 % der totalen Energie welche 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.

¹ Das UV-Spektrum wird häufig unterteilt in UV-A (400-315 nm), UV-B (315-280 nm) et UV-C (280-10 nm).

- Das sichtbare Licht repräsentiert zirka 46 % der Gesamtenergie welche von der Sonne ausgestrahlt wird, mit Wellenlängen von 380 bis 780 nm. 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 repräsentieren ungefähr 48 % der gesamten Sonnenenergie.

Definiton, Einheiten und Bedeutung

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

Die Sonnenstrahlung ermöglicht die Produktion der Sonnenenergie, entweder als Wärme (« thermische Solarenergie ») oder Elektrizität (« Photovoltaik »).

Diese erneuerbare Energie besitzt ein grosses Ausbaupotential, da die Sonne das 40'000 fache an Energie liefert welche von den Menschen konsumiert wird.

Zuviel UV-Strahlung oder zu geringe Schutzmassnahmen gegen diese Strahlung schadet der menschlichen Gesundheit. Sie kann zu Hautkrebs, vorzeitiger Hautalterung (Falten), Verbrennungen (Sonnenbrand) und grauem Star führen. Sie beeinflusst ebenfalls in beträchtlichem Mass die Vegetation. So wird zum Beispiel das Wachstum und die Photosynthese von einigen Arten wie dem Reis und dem Mais durch zuviel UV-Licht gehemmt. Die UV-Strahlen dringen in Wasstertiefen bis zu 20 m ein. Sie schädigen die mikroskopischen Lebensformen wie das Plankton, die Fischleichen, die Garnelen, die Krabben und die Algen

Mit steigender Höhe nimmt die schützende Atmosphärenschiicht 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 geographischen Breite ab.

Jahreszeiten, räumliche Verteilung und Schlüsselzahlen

Die Erdumlaufbahn beschreibt eine leicht abgeflachte Ellipse rund um die Sonne. Neben der jährlichen Umrundung der Sonne dreht sich die Erde in 24 Stunden einmal um die eigene Pol-Achse. Diese Nord-Süd-Achse steht geneigt auf der Umlaufsbahnebene, mit einem Neigungswinkel von $23^{\circ}27'$ bezüglich der Senkrechten der Umlaufsbahnebene. Dieser Winkel entspricht übrigens dem Breitengrad der Wendekreise. Als Konsequenz dessen ändert sich der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlen für einen bestimmten Breitengrad auf der Erde mit der fortschreitenden Position auf dem Orbit (=Erdumlaufbahn), ebenso wie die Photoperiode². Die Jahreszeiten der Erde sind also der Schräglage der Erde zu verdanken.

² Die Photoperiode ist die sich täglich ändernde Tageslänge, aus biologischer Sicht betrachtet.

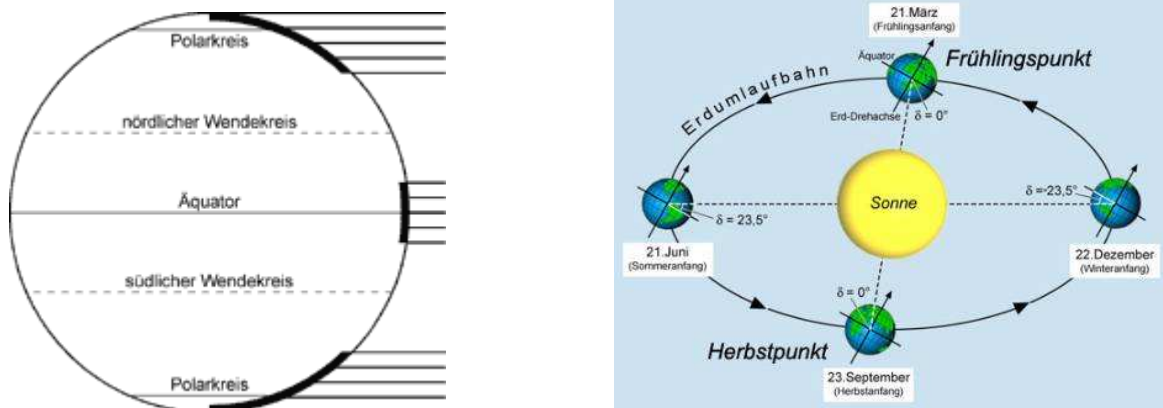


Abbildung 20 : Unterschiedliche Einstrahlwinkel und Erklärung der Jahreszeiten (<http://www.hoelzel.at>, <http://www.goruma.de>)

Diese Neigung bleibt unverändert während eines jährlichen Umlaufs der Erde um die Sonne. 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°27' N). Somit zeigt die nördliche Hemisphäre während unserem Sommer gegen die Sonne. Dabei sind die Tage länger als die Nächte. Während dieser Jahreszeit geht die Sonne in den Zonen nördlich vom arktischen Polarkreis nicht unter. Bei Wintersonnenwende (22. Dezember) scheint die Sonne senkrecht auf den südlichen Wendekreis (geographische Breite 23°27' S).

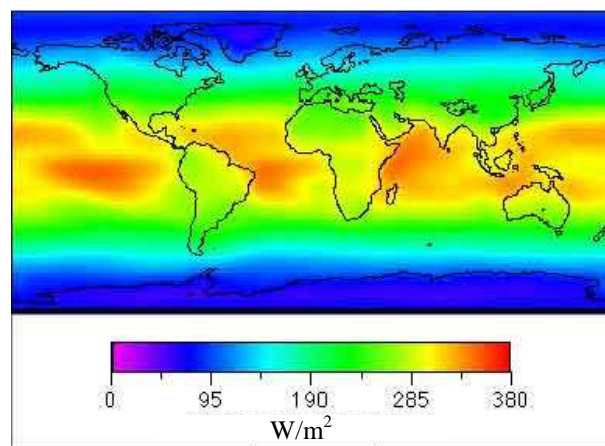


Abbildung 21 : Jahresdurchschnitt der einfallenden Sonnenstrahlung (www.eisgrouppltd.com)

Die Farben des Himmels

Die zwei wichtigsten Faktoren welche die Himmelsfarbe mitbestimmen sind die Höhe der Atmosphäre welche die Sonnenstrahlung durchdringen muss um zur Erde durchzudringen und der Einfallswinkel, welcher von der geographischen Breite abhängt. Die Atmosphäre absorbiert und streut umso mehr des sichtbaren Lichts als sie hoch und dicht ist. Das blaue Licht resultiert aus der Streuung des Sonnenlichts durch die Atmosphäre, welche 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; die langwelligeren Strahlen wie die Roten bleiben praktisch unbeeinflusst von diesen Molekülen. Es ist die Mischung aus Violett, Indigo, Blau, Grün und einem kleinen Anteil von anderen Farben welche den Himmel blau erscheinen lassen.

Das blaue Licht wird stark gestreut durch die Atmosphäre, verglichen mit dem Roten. Bei Sonnenuntergang steht die Sonne am Horizont und das Sonnenlicht muss eine dicke Atmosphärenschicht durchqueren um zu uns durchzudringen. Die Strahlung mit der blauen Wellenlänge wird so praktisch restlos durch die Atmosphäre rausgefiltert. Das Rot hingegen dominiert, und der Abendhimmel färbt sich ebenfalls rötlich.

Tendenzen

Zwei Aspekte sollen hier behandelt werden: Die Entwicklung der Intensität der Sonnenstrahlung und das Spektrum des einfallenden Lichts. Die Raumsonden zeigen dass die Strahlungsintensität seit 1980 relativ stabil geblieben ist. Die Intensität fluktuiert lediglich um 0.15%, einen Zyklus von 11 Jahren folgend.

Jedoch, wie schon im 1. Kapitel erwähnt, wird die Erhöhung der Treibhausgase (wie CO_2 , N_2O , ...) zu einer Erhöhung der Bodentemperaturen führen, da mehr Infrarotstrahlung der Erde zurückgehalten wird. Es existiert also eine Verbindung zwischen der Strahlung und der Temperatur.

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 (siehe Kapitel 1.4). Seit 1980 wird eine Abnahme der Ozonschicht beobachtet, zurückzuführen auf die Anwendung gewisser chemischer Produkte. In unseren Breitengraden hat dies zu einer Erhöhung der UV-B Strahlung geführt. Diese energiereiche Strahlung kann die menschliche Gesundheit beeinträchtigen (Sonnenbrand, Hautkrebs, Sehvermögenbeeinträchtigung). Das Protokoll von Montreal ist ein internationales Abkommen mit dem Ziel den Gebrauch der chemischen Substanzen, welche zur Abnahme der Ozonschicht führen, zu reduzieren. 191 Staaten haben das Protokoll von Montreal unterschrieben.

Wie wird die Sonnenstrahlung gemessen ?

In Abhängigkeit der Wellenlänge welche gemessen werden soll und dem Beobachtungspunkt (Erde oder Weltraum) können verschieden Geräte eingesetzt werden. Hier wird der Akzent auf das sichtbare Licht (Längenwelle zwischen 380 und 780 nm) gesetzt.

Der Heliograph ist eine Glaskugel welche eine konvergente Linse darstellt und die Sonnenstrahlen auf das Messband konzentriert (Kartonscheibe oder Solarzelle) das die Sonnenscheindauer misst. Der Pyranometer ist ein Gerät zur Messung der globalen Himmelsstrahlung (in W/m^2). Er besteht aus zwei Glasschalen, einer Serie von Thermoelementen und einem Aufzeichnungssystem. Dieses Instrument liefert ein elektrisches Signal (eine Spannung) welches proportional zur Intensität der direkten Sonnenstrahlung ist.

Wie misst die SensorScope Station die Sonnenstrahlung?

Die SensorScope Station benützt einen Pyranometer welcher die Wellenlängen zwischen 400 und 1000 nm unterscheiden kann. Alle zwei Minuten wird die augenblickliche Sonnenstrahlung in W/m^2 gemessen.

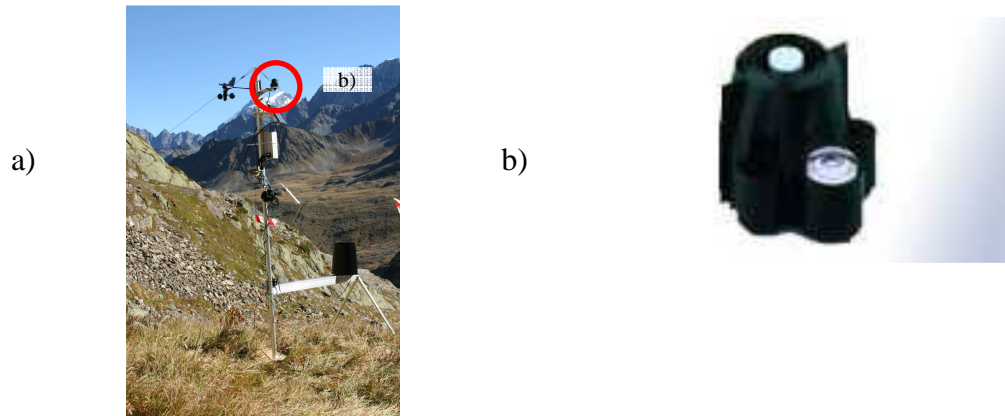


Abbildung 22 : SensorScope Station (a), Pyranometer (b)

Wissenswertes

- Warum sind die Wolken weiss ? Sie sind weiss weil alle Farben des Lichts durch die Wassertropfen der Wolken gestreut werden. Die Mischung von all diesen Farben ergibt das weisse Licht.

Für weitere Informationen

- www.meteoschweiz.ch
- www-energie2.arch.ucl.ac.be (auf französisch)
- www.educnet.education.fr (auf französisch/englisch)
- la.climatologie.free.fr (französisch)
- <http://sensorscope.epfl.ch>
- <http://www.goruma.de/Wissen/Naturwissenschaft/Astronomie>
- http://www.hoelzel.at/thema/archiv/klima_jan2002/thema.htm