Wetterelemente und ihre Messung

Als **Wetterelemente** bezeichnet man verschiedene in der Atmosphäre vorhandene Einflüsse wie z.B.

- Lufttemperatur,
- Luftdruck,
- Wind,
- Luftfeuchtigkeit,
- Niederschlag.

Zusammen genommen »machen« sie das Wetter. Um das Wetter verstehen und vorhersagen zu können, betrachtet und misst man die Wetterelemente einzeln. Auf der Grundlage der Gesamtheit dieser Messdaten kann man die Wetterlage zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort beschreiben.

Wetterhütte
Frettie, CC BY 3.0

Wetterbeobachtungen an Land werden von einem ganzen Netz von sogenannten **Wetterstationen** durchgeführt. Sie messen und registrieren den Zustand und die Veränderungen der wichtigsten Wetterelemente. Für die Aufstellung einer solchen Station und die Art der einzelnen Messgeräte

gelten ganz bestimmte Regeln, die überall auf der Welt ähnlich sind.

Automatische Wetterstation
Christianjhart1, public domain

In Deutschland und vielen anderen Ländern werden zunehmen **automatische Wetterstationen** eingesetzt. Sie messen die verschiedenen Wetterelemente selbständig und senden die Daten automatisch an eine Zentrale, welche sie auswertet.

Daneben gibt es aber auch noch Wetterstationen, die nicht automatisch funktionieren: in einer solchen **Wetterhütte** sind typischerweise Thermometer und auch Messgeräte für Luftdruck und Luftfeuchtigkeit untergebracht. Die Messinstrumente stehen zwei Meter über dem Boden, so dass immer in der gleichen Höhe gemessen wird. Eine Wetterhütte hat Wände, die wie Fensterläden aussehen, so dass immer genügend Luft aber keine direkte Sonne in das Innere gelangen kann. Direkte Sonneneinstrahlung würde z.B. die Messung der Temperatur verfälschen. Um eine solche Wetterhütte herum können dann im Freien auch noch andere Messgeräte aufgestellt sein: z.B. Niederschlagsmesser oder Messgeräte für die Sonnenscheindauer.

Hier werden nun einige wichtige **Wetterelemente** vorgestellt. Außerdem wird erklärt, wie man sie misst.

Lufttemperatur

Temperatur ist das, was wir mit Adjektiven wie »warm«, »kalt«, »heiß« etc. beschreiben. Die Temperatur der Luft wird im Wesentlichen von der Einstrahlung der Sonne beeinflusst. Die Strahlen der Sonnen wärmen aber hauptsächlich **indirekt**: sie durchdringen die Atmosphäre und wärmen das Land und das Meer auf. Land und Meer erwärmen dann die Luft der Atmosphäre von unten.

Das heißt, auf dem Weg *von der Sonne zur Erde* erwärmen die Sonnenstrahlen die Luft nur wenig. Die Strahlen der erwärmten Erde (man nennt sie Infrarotstrahlen, sie sind für unsere Augen nicht

sichtbar) erwärmen auf dem Weg *von der Erde nach draußen* die Atmosphäre stark.

Dieses Wechselspiel aus »hereinkommenden Strahlen« von der Sonne und »hinausgehenden Strahlen« von der Erde nennt man den **Strahlungshaushalt der Erde**.

Die Temperatur der Luft ist am Boden am höchsten und nimmt mit zunehmender Höhe ab. Das liegt zum einen daran, dass die Atmosphäre »von unten« beheizt wird (durch die Meeres- und Erdoberfläche). Zum anderen nimmt der Luftdruck nach oben hin ab – und geringerer Luftdruck bewirkt ebenfalls niedrigere Temperaturen. (In höheren Atmosphärenschichten wird es zum Teil wieder wärmer.)

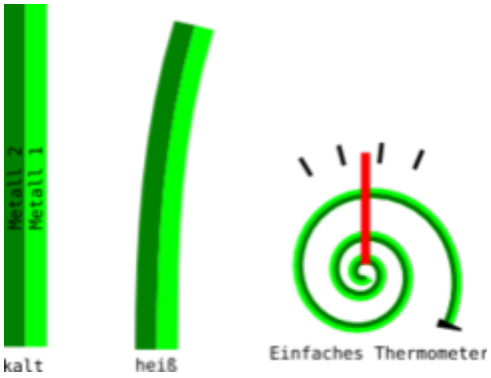
Messung der Temperatur

Man misst die Temperatur mit einem **Thermometer** in der Maßeinheit Grad Celsius (°C, z.B. »20°C«) oder Kelvin (ohne »Grad« gesprochen, z.B. »293 K«); in den USA auch in Grad Fahrenheit (°F).

Flüssigkeitsthermometer

Im Haushalt gebräuchliches Flüssigkeitsthermometer. In dem Gehäuse befindet sich ein Glasrohr, in dem eine gefärbte Flüssigkeit aufsteigen kann.
Muns, CC BY-SA

Die meisten im Alltag gebräuchlichen Thermometer sind so genannte **Flüssigkeitsthermometer**. Sie enthalten eine Flüssigkeit, die sich bei Erwärmen ausdehnt und dann in einem Steigrohr nach oben steigt. Beim Abkühlen der Umgebungsluft zieht sich die Flüssigkeit wieder zusammen und fällt im Steigrohr. Wenn man am Steigrohr eine Skala anbringt, kann man am Stand der Flüssigkeit die jeweilige Temperatur ablegen.



Messprinzip eines Bimetall-Thermometers. Das dunkelgrün dargestellte Metall auf der linken Seite dehnt sich bei Temperaturänderung stärker aus als das hellgrün darstellte rechts. Dadurch verbiegt sich bei einer Temperaturänderung der Bimetall-Streifen
Stefan Schröder, CC BY-SA

Eine typische Thermometerflüssigkeit ist Quecksilber. Da es aber ein sehr giftiges Metall ist, benutzt man heute meist Alkohol für die Thermometer, die wir im Alltag benutzen.

Bimetallthermometer

Ein weiteres Messprinzip nutzt ebenfalls die Ausdehnung von Stoffen bei der Änderung der Temperatur. So genannte **Bimetallthermometer** bestehen aus zwei Plättchen aus unterschiedlichen Metallen (»bimetall« bedeutet »aus zwei Metallen«). Diese Metalle dehnen sich bei Erwärmung oder Abkühlung unterschiedlich stark aus. Im Thermometer sind sie aber fest miteinander verbunden. Dadurch entsteht bei einer Temperaturänderung eine Spannung in dem Metallplättchen, so dass es sich leicht biegt. Die Biegung ist umso stärker, je größer die Erwärmung oder Abkühlung ist. Mit einem Zeiger oder einer ähnlichen Vorrichtung kann man das Ausmaß der Biegung sichtbar machen und auf einer Skala anzeigen.

Luftdruck

Der Luftdruck entsteht durch das Gewicht der Luft, die aufgrund der Erdanziehung auf die Erdoberfläche drückt.

Der Luftdruck hat großen Einfluss auf das Wetter, z.B. weil Druckunterschiede in der Atmosphäre zu Ausgleichsströmungen führen (diese nennen wir »Wind„) und weil große Druckgebilde mit tieferem oder höherem Druck als in der Umgebung (Tief- und Hochdruckgebiete) bestimmte Wettererscheinungen verursachen.

Messung

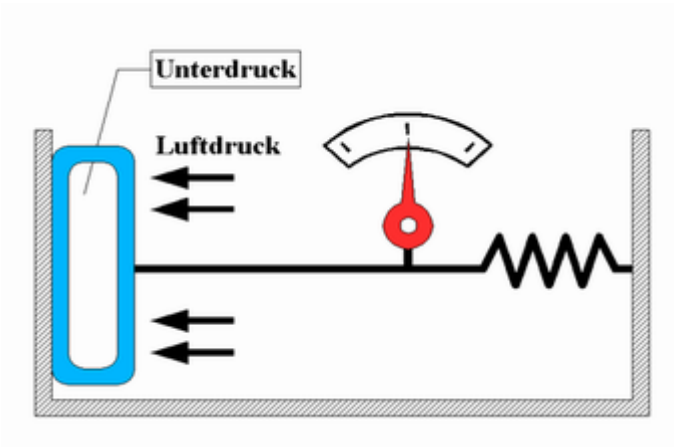
Der Luftdruck wird mit einem **Barometer** gemessen. Häufig verwendete Barometertypen sind das Dosenbarometer und das Flüssigkeitsbarometer. Die gängige **Maßeinheit für den Luftdruck** ist **Hektopascal** (hPa) (früher war auch die Einheit Bar (bar) gebräuchlich).

Eine ältere Maßeinheit ist »Millimeter Quecksilbersäule« (mmHg) – diese Maßeinheit beruht auf dem ersten entwickelten Barometer, das ein Flüssigkeitsbarometer mit Quecksilber als Steigflüssigkeit war

und dessen Steighöhe in Millimeter angegeben wurde (s.u.).

Der Normaldruck auf Meereshöhe beträgt 1013 Hektopascal (hPa). Da der Luftdruck das Gewicht der Luft ist, das auf eine bestimmte Fläche wirkt, kann man die Maßeinheit aus der physikalischen Definition für »Druck« herleiten: in der Physik ist Druck = Kraft pro Fläche (p = K/f). Durch die Masse der ganzen Atmosphäre lastet auf einem Quadratmeter Erdboden eine Gewichtskraft von ca. 100.000 Newton. 100.000 Newton pro Quadratmeter entspricht 1.000 hPa. (Diese Zahlen sind leicht gerundet. Wenn man die exakten Werte benutzt, kommt man auf den oben genannten Druck von **1013** hPa.)

Dosenbarometer

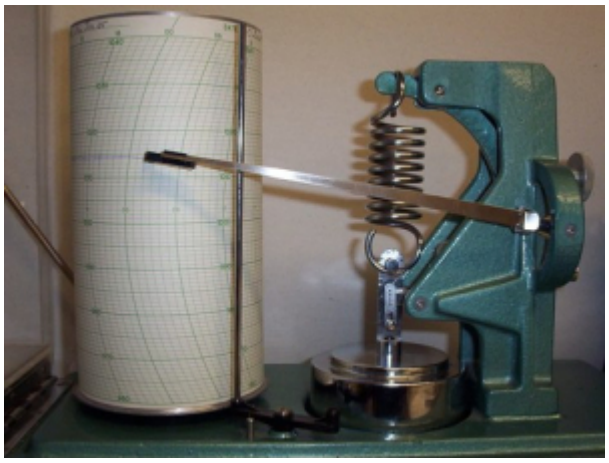


Funktionsprinzip eines Dosenbarometers
Alex.sch.th, CC BY-SA

Das Funktionsprinzip von Dosenbarometern beruht darauf, dass eine hohle Dose (meist aus Metall) vom Luftdruck verformt wird. Über einen Anzeigemechanismus, der an der Dose befestig ist, wird die Verformung auf einer Skala ablesbar.

In der Dose herrscht ein Unterdruck, aber kein Vakuum. Diese Restluft in der Dose dient dazu, den Einfluss der Temperatur auf den Luftdruck auszugleichen. Der Luftdruck in einem geschlossenen Behälter steigt, wenn die Temperatur der Luft darin steigt. Dies gilt im Prinzip auch für die Atmosphäre, auch wenn hier andere Einflüsse dazu kommen.

Barograph



Barograph
A. Schierwagen, CC BY-SA

Barographen werden eingesetzt, wenn man die Veränderung des Luftdrucks über einen längeren Zeitraum aufzeichnen möchte. Ein Barograph ist oft ein Dosenbarometer, an dessen Zeiger ein Stift befestigt ist, der auf eine sich drehende Papierrolle schreibt (s. Abb.).

Flüssigkeitsbarometer

Bei einem Flüssigkeitsbaromter wirkt der Luftdruck auf eine bestimmte Menge Flüssigkeit, die dadurch in einem Steigrohr steigt oder sinkt und damit den Luftdruck anzeigt.

Wind

Wind ist eine Luftbewegung mit einer bestimmten Richtung. Wind entsteht meist dadurch, dass der Luftdruck in zwei Gebieten unterschiedlich ist, das heißt, dass in einem Gebiet höherer Luftdruck (Hochdruckgebiet) als in einem anderen Gebiet (Tiefdruckgebiet) herrscht.

Messung der Windgeschwindigkeit

Anemometer, ein Messgerät für die Windgeschwindigkeit
Bundesarchiv, CC BY-SA

Die **Windgeschwindigkeit**, also die Geschwindigkeit, mit der sich die Luftteilchen bewegen, kann unterschiedlich sein. Sie hängt unter anderem davon ab, wie groß der Druckunterschied zwischen den beiden Druckgebieten ist. Ein großer Druckunterschied führt zu starkem Wind (das heißt zu einer schnellen Luftbewegung), ein kleiner Druckunterschied zu schwachem Wind (einer langsameren Luftbewegung).

Man kann die Windgeschwindigkeit in Kilometer pro Stunde (km/h) oder Meter pro Sekunde (m/s) angeben. Ein anderes Mess-System ist die so genannte Beaufort-Skala der Windstärken. Sie basiert

auf der Beobachtung von Alltagsobjekten wie z.B. Bäumen und wie stark diese vom Wind bewegt werden. Aus diesen Beobachtungen wird dann ein Maß für die Windgeschwindigkeit abgeleitet.

Die Windgeschwindigkeit misst man mit einem Anemometer. Ein typisches Anemometer besteht aus einer Achse und einem drehbar aufgehängten Rotor. Am Rotor sind meist Halbkugeln befestigt, die den Wind »auffangen«, was den Rotor in Bewegung versetzt. Die Drehgeschwindigkeit des Rotors wird gemessen, sie entspricht grob der Windgeschwindigkeit.

Messung der Windrichtung

Windfahne (= Windrichtungsgeber)
Stefan Kühn, CC BY-SA

Die **Windrichtung** ist ebenfalls eine wichtige Eigenschaft des Windes. Hier gibt man die Himmelsrichtung an, *aus der der Wind kommt*. Ein Nordwind weht also von Nord nach Süd. Ein Süd-Ost-Wind weht von Süd-Osten nach Nord-Westen.

Die Windrichtung kann man zum Beispiel mit einer Windfahne messen (sie wird auch »Windrichtungsgeber« genannt).

Luftfeuchtigkeit

Die Luft enthält immer Wasserdampf (das heißt: gasförmiges Wasser). Wasserdampf ist unsichtbar und **nicht** das Selbe wie der »Dampf« über dem heißen Kochtopf. Was wir im Alltag »Dampf« nennen, sind winzig kleine Tröpfchen von flüssigem Wasser, die leicht genug sind, in der Luftströmung nach oben getragen zu werden. Wenn wir in der Wetterkunde (Meteorologie) von Wasserdampf sprechen, meinen wir gasförmiges Wasser, das wir **nicht** sehen können.

Die Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs schwankt. Mal ist die Luft feuchter (das heißt: sie enthält mehr Wasserdampf), mal ist sie trockener. Bei jeder Temperatur kann die Luft eine bestimme Höchstmenge von Wasserdampf enthalten.

Wird diese Höchstmenge überschritten, wird ein Teil des Wasserdampfes flüssig und es bilden sich Wolken (hoch in der Atmosphäre) oder Nebel (am Boden). Diese bestehen aus winzigen Tröpfen von *flüssigem* Wasser.

Messung

Die Luftfeuchtigkeit ist nicht ganz leicht zu messen, da sie von verschiedenen Einflüssen abhängt. Es gibt daher **unterschiedliche Beschreibungen der Luftfeuchtigkeit** und verschiedene Messmethoden.

Absolute Luftfeuchtigkeit und spezifisches Feuchtigkeit

Im Zusammenhang mit der Luftfeuchtigkeit können wir zunächst fragen, wie viel Wasserdampf in der Luft überhaupt enthalten ist und die Menge in Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft (g/m³) angeben. Dieser Wert ist die **absolute Luftfeuchtigkeit**.

Absolute Luftfeuchtigkeit (g/m³):
Wasserdampfgehalt der Luft gemessen in Gramm Wasserdampf pro Kubikmeter Luft.

Dabei besteht das Problem, dass wir die Menge Wasserdampf auf ein **Luftvolumen** bezogen angeben. Das Volumen der Luft ändert sich aber leicht, wenn die Luftmasse sich ausdehnt oder zusammen gedrückt wird (was beides häufig passiert).

> **Beispiel:**
> Eine Luftmenge mit einem Volumen von 1 Kubikmeter enthält 30 g Wasserdampf. Ihre Absolute Feuchte beträgt daher 30g/m³. Wenn sich der Luftdruck der *Umgebungsluft* erhöht, wird diese Luftmenge zusammen gedrückt. Im Beispiel soll sich auf die Hälfte ihres Volumens – also 0,5 Kubikmeter – zusammengedrückt werden. Die Wasserdampfmenge ist gleich geblieben (30 g). Nun haben wir also 30 g Wasserdampf pro 0,5 Kubikmeter Luft was 60 g pro 1 Kubikmeter entspricht. Die Absolute Feuchtigkeit ist also doppelt so groß wie vorher obwohl sich die Wasserdampfmenge nicht geändert hat.

In diesem Zusammenhang ist die so genannte **Spezifische Luftfeuchtigkeit** ein besseres Maß. Sie gibt die Wasserdampfmenge in Gramm Wasserdampf **pro Kilogramm** Luft an. Da sich die Masse der Luft (gemessen in Kilogramm) beim Ausdehnen oder Zusammendrücken nicht verändert, wäre die spezifische Feuchtige im obigen Beispiel gleich geblieben.

Spezifische Feuchtigkeit (g/kg):
Wasserdampfgehalt der Luft gemessen in Gramm Wasserdampf pro Kilogramm Luft.

Sättigungsfeuchte

Die Luft kann nur eine begrenzte Menge Wasserdampf aufnehmen. Wenn diese Kapazität erreicht ist, nennt man die Luft »gesättigt«. Die Menge Wasserdampf (ebenfalls gemessen in Gramm pro Kubikmeter: g/m³), welche die Luft maximal aufnehmen kann, nennt man **Sättigungsfeuchte**.

Die Sättigungsfeuchte ist abhängig von der Temperatur der Luft: warme Luft hat eine größere Sättigungsfeuchte als kalte.

Sättigungsfeuchte (g/kg):
Die Wasserdampfmenge, die die Luft bei einer bestimmten Temperatur maximal aufnehmen kann.

Relative Luftfeuchtigkeit

Für den Alltag ist die **Relative Luftfeuchtigkeit** eine wichtige Größe. Sie ist ein gutes Maß dafür, ob wir die Luft als trocken oder feucht *empfinden*.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist die Menge des vorhandenen Wasserdampfes *im Verhältnis* zum maximal möglichen Wasserdampf, das heißt: die spezifische Feuchtigkeit geteilt durch die Sättigungsfeuchte. Das Ergebnis gibt man in Prozent an und sagt zum Beispiel: »Die relative Feuchtigkeit beträgt 70 %«.

Die relative Luftfeuchtigkeit kann maximal 100 % erreichen, dann ist die Luft gesättigt (das heißt, die spezifische Feuchtigkeit ist gleich der Sättigungsfeuchte).

Relative Luftfeuchtigkeit (%):
Die in der Luft enthaltene Wasserdampfmenge im Verhältnis zur Sättigungsfeuchte.

Niederschlag

Niederschlagsmesser
Bocholter, public domain

Wird Wasser aus der Atmosphäre ausgeschieden, spricht man von **Niederschlag**. Dieser kann verschiedene Formen haben: er kann z.B. flüssig oder fest sein. Flüssigen Niederschlag nennen wir Regen. Fester Niederschlag fällt z.B. als Schnee, Graupel oder Hagel. Außerdem kann Niederschlag sich »absetzen«, ohne sichtbar zu fallen: das ist z.B. bei Tau (flüssig) oder Reif (fest) der Fall.

Messung

Man kann den Niederschlag auf relativ einfache Art messen, indem man ihn in einem Gefäß auffängt und dann den Wasserstand abliest. Bei einem Gefäß mit geraden Wänden, bei dem die Öffnung genauso groß ist wie die Grundfläche, entspricht der Wasserstand in Millimetern der gefallenen Niederschlagsmenge in Liter pro Quadratmeter.

Aufgaben

1. Lege eine Tabelle nach dem Muster unten an. Notiere jeweils das Wetterelement, die zur Messung verwendeten Maßeinheiten sowie den/die Namen der verwendeten Messgeräte.

Wetterelement	**Maßeinheit(en)**	**Messgerät(e)**
Lufttemperatur	Grad Celsius (°C), Kelvin (K), Grad Fahrenheidt (°F)	Flüssigkeitsthermometer, Bimetallthermometer
…	…	…

geographie, atmosphaere, wetter, messgeraete