
	GdHM - Wetterschule - <i>Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche</i>		
	Lektion	21	Wolken I

Wolken I

Kurzbeschreibung

Der erste Beitrag zum Themenkomplex „Wolken“ konzentriert sich auf die Frage, was Wolken sind und woraus sie bestehen. Die wichtigsten Entstehungsmechanismen werden vorgestellt.

Autor:	Jasmine Kaptur
Erstellungsdatum:	21.05.2005

	GdHM - Wetterschule - Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche		
	Lektion	21	Wolken I

Auch ohne professionelle Instrumente ist ein aufmerksamer Beobachter in der Lage, zumindest kurzfristig und lokal, das zu erwartende Wetter einzuschätzen.

Das offensichtlichste Hilfsmittel dazu sind Wolken. Weil aber ein einziger Blick zum Himmel nicht für haltbare Vorhersagen genügt, sondern darüber hinaus ein Grundverständnis der Wolkenarten und ihrer Entstehung wichtig ist, widmet sich der folgende Themenkomplex (bestehend aus 3 Lektionen) den Wolken.

Während sich in der ersten Lektion alles um die Entstehungsprozesse und Entstehungsbedingungen von Wolken dreht, werden in den nächsten Lektionen die gängigen Wolkenklassifikationen vorgestellt und zum Schluss die damit häufig verbundenen Witterungserscheinungen erläutert.

Wasser in der Atmosphäre

Eine Wolke ist nichts Weiteres als eine Ansammlung von Wassertröpfchen und/oder Eiskristallen, an denen das Sonnenlicht gestreut wird, so dass sie sichtbar werden (Wolken, die zum Boden reichen, bezeichnet man als Nebel).

Sättigung der Luft

Je nach Temperatur und Luftdruck kann Luft immer eine ganz bestimmte Menge an Wasserdampf aufnehmen. Dabei gilt: wärmere Luft kann mehr Wasserdampf halten als kältere. Das Verhältnis von aktuell vorhandenem Wasserdampf zum maximal möglichen Wasserdampf heißt **relative Luftfeuchte** und wird in % angegeben (siehe auch Lektion 9). Ist eine Luftfeuchtigkeit von 100 % erreicht (Lufttemperatur ist dann gleich der Taupunkttemperatur), kann kein weiterer Wasserdampf mehr aufgenommen werden, der überschüssige Wasserdampf kondensiert zu Wassertröpfchen. Dieser Moment kann über zwei Mechanismen herbeigeführt werden. Entweder die Luft kühlt sich soweit ab, bis sie den Taupunkt erreicht oder aber der Luft wird solange Wasserdampf hinzugeführt, bis die Sättigung erreicht ist.


Die Aggregatzustände

In der Atmosphäre findet sich Wasser in allen 3 Aggregatzuständen wieder. Eis repräsentiert dabei den festen, Wasser den flüssigen und Wasserdampf den gasförmigen Zustand. Die Prozesse, die die Übergänge zwischen den einzelnen Zuständen (auch Phasen genannt) herbeiführen, benötigen entweder Energie oder sie setzen Energie frei.

Die folgende Grafik soll das ein wenig anschaulicher machen.

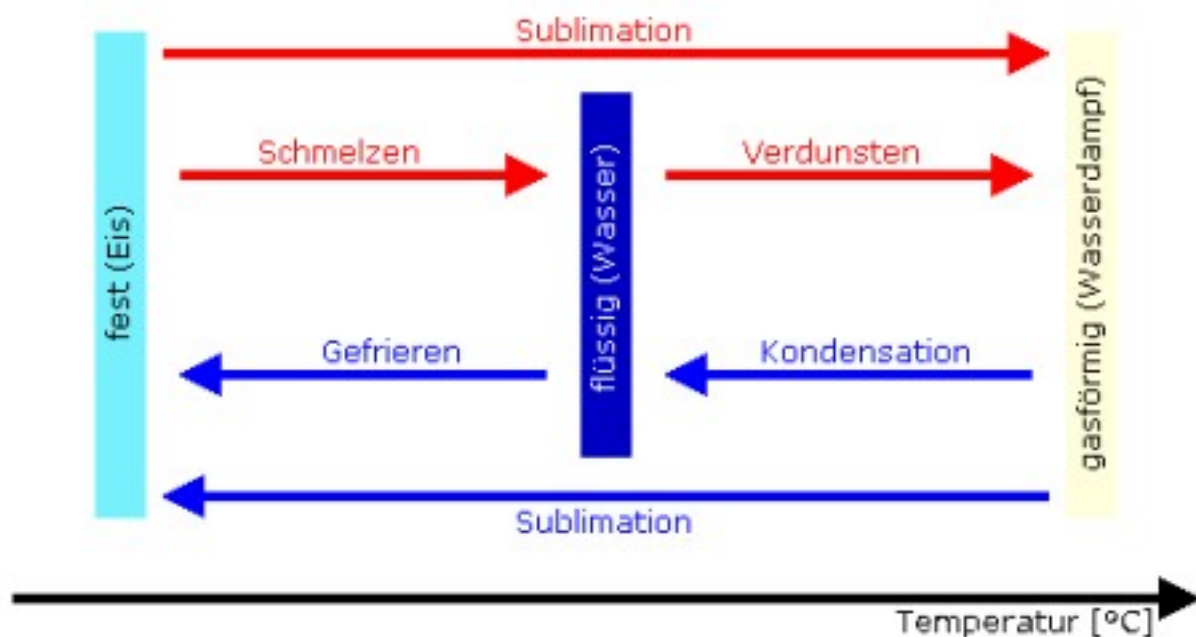
Von links nach rechts nimmt die Temperatur zu. Die vertikalen Balken stehen für die einzelnen **Zustände**. Bei tiefen Temperaturen finden wir somit Eis, nach dem Erreichen des Gefrierpunktes Wasser und nach dem Siedepunkt Wasserdampf.

Die **Zustandsänderungen** sind hier mit Pfeilen gekennzeichnet. Dabei sind die direkten Übergänge (kleineren Pfeile) aus dem Alltag hinreichend bekannt. Zum Schmelzen von Eis und zum Verdunsten von Wasser wird Energie benötigt (**rot**), die entweder von außen zugeführt oder aber der Umgebung entzogen wird. Die Schneeschmelze im Frühjahr kann nur mit ausreichend Wärme von der Sonne stattfinden.

	GdHM - Wetterschule - Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche		
	Lektion	21	Wolken I


Hier wird also von außen Energie zugeführt. Gibt man hingegen einen Eiswürfel in ein Wasserglas, so wird er schmelzen und dabei dem umgebenden Wasser Wärme entziehen. Das Wasser kühlt sich ab und genau dieser Energiebetrag wird benötigt, um das Eis schmelzen zu lassen. Für die Verdunstung gilt Ähnliches: Bei genügend hoher Wärmezufuhr, z.B. bei einem Wasserkocher, wird das Wasser bis zum Siedepunkt erwärmt und kann dann verdunsten. Beim Vorgang des Schwitzens oder der Transpiration hingegen, wird der Effekt des „Energieentzugs“ ausgenutzt, um dem Körper eine Abkühlung zu schaffen. Der Flüssigkeitsfilm verdunstet und wird von der umgebenden Luft aufgenommen. Dabei ist wieder Energie erforderlich, die als Verdunstungswärme dem Körper entzogen wird.

Die Aggregatzustände und Phasenübergänge von Wasser



Nach dem Gesetz der Energieerhaltung (in einem System kann keine Energie verloren gehen) muss die bei Schmelz- oder Verdunstungsprozessen benötigte Energie irgendwo bleiben. Und tatsächlich spricht man in der Meteorologie von „**latenter Wärme**“, die im Wasserdampf gespeichert ist. Als latent („verborgen“) wird dieser Energieanteil deshalb bezeichnet, weil er keine unmittelbare Änderung der Temperatur zur Folge hat. Im Wasserhaushalt der Erde unterscheidet man 2 Verdunstungsarten: die Verdunstung an lebenden Objekten wie Pflanzen, Tiere und Menschen nennt man **Transpiration**, die an Oberflächen (Sand, Meere, Seen) **Evaporation**.

Mit den Prozessen, bei denen die Temperatur abnimmt (**blaue Pfeile**), verhält es sich andersrum. Hier wird Energie frei.

	GdHM - Wetterschule - <i>Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche</i>		
	Lektion	21	Wolken I


Wasser kann zudem noch direkt vom festen in den gasförmigen Zustand und andersherum übergehen. Dann spricht man von **Sublimation**. So wird beispielsweise feucht aufgehängte Wäsche auch bei Frost trocken; das zuerst gefrorene Wasser „verdunstet“ oder sublimiert (auch Schneeverdunstung genannt). Der umgekehrte Fall (wird auch Resublimation genannt) ist im Winter zu beobachten, wenn der in der Luft vorhandene Wasserdampf sich direkt als Eiskristalle an festen Gegenständen wie Fensterscheiben oder Bäumen niederschlägt.

Soweit also die Grundlagen zu den einzelnen Zuständen, in denen Wasser hier auf der Erde zu finden ist.

Wann entstehen Wolkentropfen?

Wolken bestehen aus Wassertröpfchen, Eiskristallen oder einem Gemisch aus beidem. Somit entstehen Wolken immer dann, wenn der gasförmige Wasserdampf soweit abgekühlt wird, dass ein Phasenübergang stattfindet (Genau genommen spielt bei diesen Vorgängen nicht nur die Temperatur, sondern auch der Druck, der Dampfdruck und die Luftfeuchtigkeit eine Rolle, worauf hier aber nicht näher eingegangen wird.).

Reines Wasser kondensiert bei Normalbedingungen ab 100 °C und gefriert ab 0 °C. Allerdings sind für die Entstehung von Wolkenpartikeln noch eine Reihe anderer Voraussetzungen nötig: Tröpfchen bzw. Eiskristalle entstehen immer an so genannten **Kondensationskernen**. Diese sind feste oder flüssige Bestandteile der Luft, wie zum Beispiel Meersalzpartikel, Staub, Ruß, Vulkanasche usw. Diese Kondensationskerne wirken oft hygroskopisch, das heißt „Wasser anziehend“. So können sich bei einer hohen Konzentration von Kondensationskernen auch dann Wolken bilden, wenn die Luft noch nicht vollständig mit Wasser gesättigt ist. Ein Beispiel hierfür ist der Smog in industriell stark verschmutzten Großstädten. Der hohe Anteil an Rußpartikeln und andern Kondensationskernen führt zu übermäßiger Nebelbildung. Auch nach einem Vulkanausbruch, wenn plötzlich viele Aerosole (feste Bestandteile der Luft) zur Verfügung stehen, wird die Wolkenbildung angeregt. Im Fall von Eiskristallen spricht man übrigens von **Kristallationskernen**, die entsprechend eine Sublimation auslösen können. Das Fehlen von Kondensationskernen kann Wolkenbildung sogar verzögern. In der Natur findet man sehr häufig Wasser, das auch unterhalb des Gefrierpunktes noch flüssig ist, man spricht dann von **unterkühltem Wasser**. Unter Laborbedingungen ist es schon gelungen, sehr reines Wasser auf unter -70 °C abzukühlen. Das Salzwasser in den Polarmeeren ist durchschnittlich -4 °C kalt. Und in Wolken finden sich Wassertröpfchen bis zu -15 °C. Erst wenn genügend Kristallationskerne (in diesem Temperaturbereich spielt Sublimation die größte Rolle) vorhanden sind, können sich auch Eiskristalle bilden. In einer Wolke überwiegt bei Temperaturen von 0 °C bis -12 °C der Anteil an unterkühlten Wassertröpfchen, während sich Wassertröpfchen und Eiskristalle bei -20 °C etwa die Waage halten. Bei noch tieferen Temperaturen nimmt der Anteil der Eiskristalle zu. Ob eine Wolke aus Eis oder Wassertröpfchen besteht kann man oft schon mit bloßem Auge erkennen:

	GdHM - Wetterschule - Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche		
	Lektion	21	Wolken I

scharfe und klare Ränder deuten auf Wassertröpfchen hin, während faserige Ränder Eiskristalle bezeugen.

Wolkenentstehung in der Troposphäre


Es gibt zwar auch Wolken oberhalb der Troposphäre, wie zum Beispiel die Polaren Stratosphärischen Wolken (PSCs), die maßgeblich an der Bildung des polaren Ozonlochs beteiligt sind. Aber wir beschränken uns auf die Wolken innerhalb der Troposphäre, dort wo das Wetter „stattfindet“.

Wie schon gesagt wurde, spielen bei der Wolkenbildung hauptsächlich Abkühlungsprozesse eine Rolle.

Dabei unterscheidet man:

1. **Luft bewegt sich über eine kältere Oberfläche hinweg**; dies kann beispielsweise dann auftreten, wenn milde, feuchte Meeresluft über kühles Festland (v.a. im Winter, evtl. mit geschlossener Schneedecke) geführt wird. Dann wird der Luftmasse Wärme entzogen und der Wasserdampf kann auskondensieren oder gar sublimieren, es bildet sich eine zusammenhängende Wolkendecke (Schichtwolken) oder Nebel.
2. **Ruhende Luft liegt über einer sich abkühlenden Oberfläche**; dieser Effekt hat hauptsächlich bodennahen Nebel zur Folge, dann wenn in einer klaren Nacht der Boden stark auskühlen kann und die direkt darüber liegenden Luftschichten soweit abkühlt, dass Nebel entsteht).
3. **Luft steigt auf, dehnt sich aus und kühlt ab**; dies ist der häufigste Grund für Wolkenentstehung. Der Prozess wurde in einem früheren Kapitel in Zusammenhang mit Föhn genauer erklärt. Hierzu zählen auch **orographisch bedingte Aufstiege** (Luft wird durch ein Gebirge zum Aufsteigen gezwungen), **Thermik** (Über erwärmtem Boden wird Luft erwärmt, dehnt sich aus, wird leichter als die umgebende Luft, steigt auf und kühlt sich ab), **Konvergenz** (Zwei Luftmassen werden strömen gegeneinander und sind gezwungen, aufzusteigen) und die **Kaltfront** (kältere und schwerere Luft schiebt sich unter Warmluft, welche somit angehoben wird).

Nach so viel Theorie, wird's im nächsten Kapitel praktischer und anschaulicher, versprochen!

	GdHM - Wetterschule - <i>Deutschlands "erste Schule" für angehende Wetterfrösche</i>		
	Lektion	21	Wolken I

Hier noch einige praktische Regeln zu Wolkenentstehung:

- wenn die Taupunktdifferenz (Unterschied zwischen Lufttemperatur und Taupunkt) 5 K oder weniger beträgt, kann man mit der Bildung von Nebel rechnen.
- Entsprechend kann sich bodennahe Bewölkung bei zunehmender Taupunktdifferenz auslösen.
- Bei einem Taupunkt unter 0 °C oder bei stetig abnehmender Taupunktdifferenz (ab 5 K) kann in klaren Nächten Reif entstehen.
- Weht bei kühlem Wetter (klare Nächte oder kalte Jahreszeiten) der Wind längere Zeit vom (wärmeren) Wasser her, so muss mit Nebelbildung oder gar Schauern gerechnet werden.
- Je dicker die Wolkenschichten desto stärker der zu erwartende Niederschlag; ab einer Wolkendicke von etwa 1200 m können starke Niederschläge auftreten.
- Nebelauflösung ist nur durch eine genügend hohe Sonneneinstrahlung oder durch Wind möglich, der den Nebel „wegfegt“.