

Dieser Text ist im Rahmen des Dissertationsprojekts mit dem Titel
Perspektivenübernahme im Physikunterricht von Stephanie Neppl an der Universität Regensburg entstanden.
(Veröffentlichung in Vorbereitung).

Ihm liegt die am Textende angegebene Literatur zugrunde. Wenn du mehr zum Thema wissen möchtest, dann kannst du dort nachlesen.

Stephanie Neppl, Katharina Flieser, Nico Marx

Wolkenphysik

Man muss an den meisten Tagen nur in den Himmel blicken und entdeckt sie: Wolken. Fast schon majestätisch schweben sie über unseren Köpfen und bilden die verschiedensten Formen. Aber wie entstehen Wolken eigentlich?

Um das zu verstehen, sehen wir uns zuerst an, was Wolken sind und welchen Nutzen sie für uns und unseren Planeten haben. Anschließend betrachten wir die physikalischen Voraussetzungen für die Entstehung von Wolken. Dazu ist zunächst Wasser nötig. Wie das überhaupt in die Luft kommt und was dort damit geschieht, wird ein erstes Thema dieses Texts sein. Wir werden dabei den Begriffen Verdampfung, Verdunstung und Kondensation begegnen. Wie es dann tatsächlich zu Wolken kommt, wird dir der zweite Teil des Texts erklären. Und zum Abschluss sehen wir uns noch den Stand der Forschung an und du bekommst einen Ausblick auf die Wichtigkeit von Wolken.

Was sind Wolken und welchen Nutzen haben sie?

Wolken stellen den Hauptregler für die Temperatur auf der Erde dar. Sie reflektieren einen Teil der Sonnenstrahlen zurück ins All und fungieren an anderer Stelle als eine Art Decke, indem sie die Energie der Wärmestrahlung an der Erdoberfläche verharren lassen und verteilen. Sie tragen demnach einen äußerst wichtigen Teil zum Klima der Erde bei.

Wolken sind Ansammlungen von in der Luft schwebenden, winzigen Wassertröpfchen und Partikelchen (Eiskristalle, Staub und viele mehr, allgemein sogenannte *Aerosole*). Die Durchmesser der Teilchen belaufen sich meist auf 10 – 20 μm und erreichen selten bis zu 200 μm . Sie sind also so klein, dass du sie mit bloßem Auge gar nicht erkennen kannst. Wie auch bei flüssigem Wasser kann Licht das Luft-Tröpfchengemisch durchdringen. Dabei wird es sowohl gestreut als auch reflektiert. Zur Erinnerung: Die diffuse Streuung und die Reflexion in alle Richtungen machen Wolken für das menschliche Auge sichtbar, obwohl flüssiges Wasser eigentlich lichtdurchlässig und damit „durchsichtig“ ist.

Doch wie kommt es zu diesen Tröpfchen- und Partikelansammlungen, die wir am Himmel sehen und Wolken nennen? Wie entstehen Wolken?

Welche Bedingungen müssen für die Entstehung von Wolken erfüllt sein?

Damit sich Wolken bilden können, müssen mehrere Randbedingungen günstig zusammenspielen: Wasser muss zwischen seinem flüssigen und seinem gasförmigen Zustand hin- und herwechseln, es müssen ein geeigneter Luftdruck und eine geeignete Luftfeuchtigkeit herrschen und die Umgebungstemperatur muss passend sein. Welche Rolle den einzelnen Randbedingungen jeweils zukommt, wird im Folgenden Schritt für Schritt erläutert.

Eine erste Grundvoraussetzung für die Entstehung von Wolken ist, dass Wasser in der Luft vorhanden ist. Damit ist gemeint, dass Atemluft und Wasserdampf nebeneinander bestehen. Das ist auch so gut wie immer der Fall, selbst wenn du das nicht sehen kannst. Bei deiner Atemluft fällt oftmals auf, dass sie viel Wasserdampf enthält. Du kannst beobachten, wie sich kleine Tröpfchen bilden, wenn deine warme Atemluft auf kühle Umgebungsluft trifft. Vielleicht hast du auch schon einmal beim Einatmen eine hohe Luftfeuchtigkeit bemerkt, wenn du an einem Sommertag nach einem Regenschauer nach draußen gegangen bist. Eine weitere Beobachtung kannst du an kalten Wintertagen machen, wenn sich an der Innenseite einer kalten Glasscheibe Tröpfchen bilden.

Wie kommt Wasser in die Luft?

Damit sich Wasser mit dem Gasgemisch Luft verbindet, muss das Wasser selbst auch gasförmig sein. Dafür gibt es zwei bekannte Übergänge: verdampfen und verdunsten. Allerdings weißt du ja bestimmt, dass flüssiges Wasser erst bei ca. 100°C verdampft. Du kannst dir sicher denken, dass das auf der Erde unter natürlichen Bedingungen nicht vorkommt. Verdunstung hingegen tritt bereits bei Temperaturen unter dem Siedepunkt auf. Nämlich wenn die Bewegungsenergie einzelner Moleküle größer wird als die Bindungsenergie von flüssigem Wasser. Die Moleküle im flüssigem Wasser besitzen eine Bindungsenergie, welche die Flüssigkeit zusammenhält. Bei höheren Temperaturen sind allerdings auch Teilchen mit höheren Geschwindigkeiten vorhanden. Somit ist die Bewegungsenergie einzelner Teilchen größer als die Bindungsenergie. Diese lösen sich aus der flüssigen Phase und vermischen sich als gasförmiges Wasser mit der Luft.

Was geschieht mit dem Wasser in der Luft?

Zuvor haben wir schon von den Wassertröpfchen an Glasscheiben im Winter gesprochen. Du hast bestimmt schon einmal zuhause gehört, dass diese Kondenswasser genannt werden. Der Name kommt von der Aggregatzustandsänderung von gasförmig zu flüssig, der Kondensation. In der Luft finden gleichzeitig Verdampfungsprozesse/Verdunstungsprozesse und Kondensationsprozesse statt, d.h. flüssiges Wasser wird gasförmig und Wasserdampf wird zu Wassertröpfchen. Das „Bestreben“ des Wasserdampfs zu kondensieren, nennt man „Wasserdampfpartialdruck“. Wenn genauso viel flüssiges Wasser verdampft/verdunstet, wie Wasserdampf kondensiert, dann ist das System im Gleichgewicht. Das System erreicht dann den sogenannten Sättigungsdampfdruck. Das Verhältnis zwischen herrschendem Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck heißt Sättigung. Wenn die Sättigung mehr als 100% beträgt, also der Dampfdruck größer ist als der Sättigungsdampfdruck, sprechen wir von einer Übersättigung. Eine Sättigung unter 100% heißt dementsprechend Untersättigung.

Wie kommt es zu Kondensation in der Luft?

Damit die Wassermoleküle aus der gasförmigen Phase kondensieren, muss Übersättigung herrschen. Um besser nachvollziehen zu können, wie es zu einer übersättigten Umgebung kommt, betrachten wir ein bodennahes Luftpaket, dessen Temperatur höher als die der umgebenden Luft ist. Das Luftpaket hat damit eine geringere Dichte als seine Umgebung und steigt auf. Beim Steigen dehnt sich das Luftpaket aus, weil in immer größeren Höhen ein immer geringerer Luftdruck herrscht. Für die Ausdehnung benötigt das Luftpaket Energie und die nimmt es sich aus der Bewegungsenergie seiner Luftteilchen. Die Teilchen werden also im Schnitt langsamer. Das heißt, die Temperatur des Luftpakets ist gesunken. Durch die Abkühlung kann Kondensation einsetzen: Besonders langsame Teilchen haben eine besonders niedrige Bewegungsenergie und vereinzelt kleiner als die Bindungsenergie von flüssigem Wasser. Dadurch gehen sie in den flüssigen Zustand über.

Allerdings geschieht die Kondensation von reinem Wasserdampf nicht so einfach wie man annehmen könnte. Erst bei einer Übersättigung von etwa 300% beginnt die Kondensation. Diese Übersättigungswerte sind in der Atmosphäre kaum möglich.

Übrigens, das Luftpaket steigt so lange auf, bis das Luftpaket die gleiche Temperatur und Dichte wie die Umgebung hat. Es befindet sich dann im sogenannten „Zustand des thermischen Gleichgewichts“. Das ist die Höhe, auf die Wolken maximal steigen.

Wie bilden sich denn nun Wassertröpfchen in der Luft?

Hier spielen Aerosole eine entscheidende Rolle. Aerosole sind 10 nm – 10 µm große Teilchen. Sie bestehen oft aus Schwefelverbindungen oder auch aus Staub, Salzkristallen, Ruß oder organischen, pflanzlichen Molekülen. Die Konzentration von Aerosolen in der Luft ist von Stadt zu Land unterschiedlich und nimmt mit der Höhe ab. Aerosole begünstigen die Kondensation von Wasser, indem sie Wassermoleküle binden. Dadurch werden sie größer und größer und sind irgendwann so groß, dass sie selbst Tröpfchen bilden. Sie setzen somit den Sättigungsdampfdruck herab. Allerdings ist noch nicht abschließend geklärt, wie groß ihr Einfluss auf die Wolkenbildung tatsächlich ist.

Welche aktuellen Forschungen zu Wolken gibt es?

Man weiß mittlerweile, dass es ohne Aerosole keine Wolken gäbe und unser Planet für uns unbewohnbar wäre. Allerdings wird unter anderem noch untersucht, woher genau all die lebensbewahrenden Aerosole kommen. 2014 wurde bei einem Experiment des CLOUD-Projekts im CERN das erste Mal entdeckt, welchen wichtigen Einfluss Aerosole auf die Bildung von Wolken haben. Mit CLOUD ist es möglich unter vollkommen kontrollierbaren Randbedingungen Wolken entstehen zu lassen. Außerdem können die Forscher*innen dort untersuchen wie wolkeig („cloudy“) unsere Erde vor der Industrialisierung war und lassen uns damit noch besser den menschengemachten Klimawandel verstehen. Denn man hat herausgefunden, dass Pflanzen organische Moleküle (Aerosole, in diesem Fall sog. HOMs – „highly oxygenated molecules“) in die Luft befördern. Damit wurde ein

weiterer wichtiger Einfluss von Pflanzen als „Erhalter des Klimas“ entdeckt. Denn wie bereits zu Beginn des Textes erklärt wurde, sind Wolken zu großen Teilen für die Regulierung der Erdtemperatur verantwortlich.

Literaturverzeichnis

Die Informationen im Text stammen aus den folgenden Büchern und Veröffentlichungen. Wenn du mehr über das Thema wissen möchtest, kannst du dort nachlesen:

CERN (o.D.). *CLOUD*. About the CLOUD-experiment at CERN. URL: <https://home.cern/science/experiments/cloud> (besucht am 17.06.2022).

Häckel, Hans (2012). *Meteorologie*. 7., korr. Aufl. Stuttgart: Eugen Ulmer Verlag.

Kraus, Helmut (2004). *Die Atmosphäre der Erde: eine Einführung in die Meteorologie*. 3., erw. und aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Neppl, Stephanie (in Vorb.). „Perspektivenübernahme im Physikunterricht. Explorative Interviewstudie zu einer Seminarkonzeption mit dem Schwerpunkt Perspektivenübernahme bei der Planung von Physikunterricht“. Regensburg: Universität Regensburg.

Roedel, Walter (2000). *Physik unserer Umwelt: die Atmosphäre*. 3., überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Yau, M. K. and R. R. Rogers (1996). *A Short Course in Cloud Physics*. Vol. 113. International Series in Natural Philosophy. Butterworth-Heinemann, imprint of Elsevier.