

# Wolken

## Ihre Entstehung und ihr Einfluss auf den Strahlungshaushalt in der Atmosphäre

von Thorsten Kroker

Wolken sind in der Luft schwebende Ansammlungen von Wassertöpfchen und/oder Eiskristallen. In der irdischen Atmosphäre kommen Wolken hauptsächlich in der Troposphäre vor, da in dieser der Großteil (über 99%) des atmosphärischen Wassers gefangen ist. Entstehung und Eigenschaften von Wolken hängen von vielen Faktoren ab, z. B. Temperatur und Wasserdampfgehalt der Atmosphäre. Wolken sind ein leicht zu beobachtender Teil des gesamten Wettergeschehens. Die richtige Deutung ihrer Form und Höhenlage diente schon vor Hunderten von Jahren den Menschen zur Wettervorhersage. Neben ihrer Bedeutung für das Wetter, spielen Wolken aufgrund unterschiedlicher Prozesse eine wichtige Rolle im Strahlungshaushalt der Atmosphäre.

### Der Wasserkreislauf<sup>[1]</sup>



Abb. 1: Schematische Darstellung des Wasserkreislaufs

Wolken sind Teil des globalen und regionalen Wasserkreislaufs (s. Abb. 4). Wasser, das durch die solare Einstrahlung in die Atmosphäre verdunstet, kondensiert in Wolkentröpfchen aus und fällt als Niederschlag (z. B. Regen, Schnee) wieder aus der Atmosphäre aus.

### Entstehung und Auflösung von Wolken<sup>[1,3,4]</sup>

Wolken entstehen durch heterogener Keimbildung (Kondensation bzw. Resublimation) von atmosphärischem Wasserdampf an Kondensationskernen wie z. B. feinen Staubpartikel oder Meersalz-Aerosolen. Erst oberhalb des Taupunkts bzw. Sättigungsdampfdrucks (s. Abb. 1) können sich an diesen Partikeln aus einer mit Wasserdampf gesättigten Atmosphäre, d. h. bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100%, Wassertöpfchen oder Eiskristalle bilden. An der Tröpfchen- bzw. Eiskristalloberfläche findet ein steter Austausch zwischen den Wassermolekülen mit der Umgebungsluft statt (Verdampfung und Kondensation). Begünstigt ist die Wolkenbildung im wesentlichen durch zwei Dinge:

1. Die Konzentration der Wassermoleküle in der Umgebung eines Tropfens: Je größer die Anzahl der Wassermoleküle in der nächsten Umgebung des Wassertöpfchens ist, desto wahrscheinlicher ist ein haften bleiben an dessen Oberfläche.
2. Der Temperatur des Wassertropfens: Je wärmer ein Wassertropfen ist, desto mehr Wassermoleküle können sich von der Oberfläche lösen.

Bei der Wolkenbildung, d. h. bei relativ niedriger Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit, liegt das Gleichgewicht zwischen Kondensieren und Verdampfen auf der Seite der Kondensation.

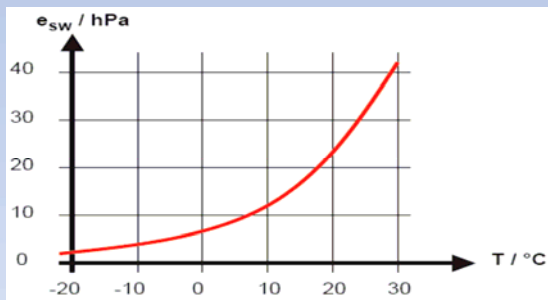


Abb. 2: Sättigungsdampfdruck für Wasser als Funktion der Temperatur.

### Albedo und der Treibhauseffekt<sup>[3,4]</sup>

Wolken in der Atmosphäre haben einen sehr großen Einfluss auf den Strahlungshaushalt der Erde: Einerseits können sie einfallendes Sonnenlicht in den Weltraum zurück reflektieren (Albedo, lat. albidus: weißlich), zum anderen verhindern sie, dass langwellige terrestrische Wärmestrahlung in den Weltraum abgestrahlt wird (Treibhauseffekt).

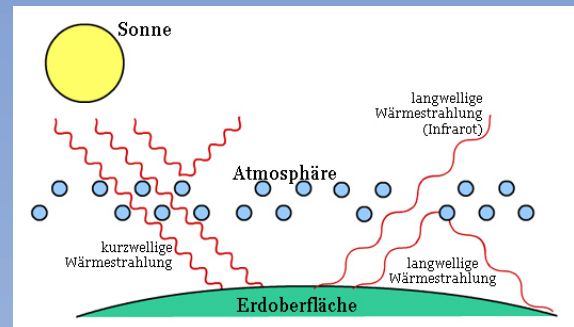


Abb. 3: Treibhauseffekt und Albedo

Während das kurzwellige Sonnenlicht von den Wolken reflektiert wird, bleibt die langwellige infrarote Strahlung quasi zwischen Wolkendecke und Erdboden eingeschlossen. Das Albedo von Wolken liegt zwischen 45 und 80%.

### Rayleigh-Streuung<sup>[2,3]</sup>



Abb. 4: Sonnenuntergang am Stannenberger See

Die Rayleigh-Streuung, benannt nach Lord John William Rayleigh (1842-1919), beschreibt den Zusammenhang der Streuung von elektromagnetischer Strahlung an Teilchen, deren Durchmesser (wesentlich) kleiner als die Wellenlänge  $\lambda$  ist. Der (absolute) Streuquerschnitt der Rayleigh-Streuung ist proportional zur vierten Potenz der Frequenz. Blaues Licht ( $\lambda \approx 400$  nm) wird stärker gestreut als rotes ( $\lambda \approx 700$  nm). Dieser Effekt ist sowohl für den blauen Himmel verantwortlich (die Sonne steht hoch über dem Erdboden) als auch für das Abend- und Morgenrot. Die Rayleigh-Streuung kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$\alpha_{R\lambda} = \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{8\pi^3(n_2^2 - 1)^2}{3\lambda^2 N}$$

### Weißer Wolken<sup>[2]</sup>

Wenn die Teilchengröße der Wassertöpfchen und Eiskristallen im Bereich (oder größer) der Wellenlänge der elektromagnetischen Strahlung ist, so tritt Mie-Streuung auf, benannt nach Gustav Mie (1868-1957). Auf diesem Effekt beruht das Weiß der Wolken:

$$I_\varphi = \frac{1 - g^2}{\sqrt{[1 + g^2 - 2g \cdot \cos(\varphi)]}}$$

Die Mie-Streuung unterscheidet sich von der Rayleigh-Streuung durch zwei grundsätzliche Punkte:

1. Die Streuintensität ist unabhängig von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes
2. Die Richtungsverteilung der gestreuten Strahlung ist viel asymmetrischer

### Literatur

[1] [http://de.wikipedia.org/wiki/Wolke#Physik\\_und\\_Chemie\\_der\\_Wolken](http://de.wikipedia.org/wiki/Wolke#Physik_und_Chemie_der_Wolken) (17.12.2005)

[2] [http://www.gup.uni-linz.ac.at/thesis/diploma/paul\\_heinzreiter/html/node11.html](http://www.gup.uni-linz.ac.at/thesis/diploma/paul_heinzreiter/html/node11.html) (17.12.2005)

[3] Rudolf Tuckermann, Skript und Vorlesung: PC V – Atmosphärenchemie

[4] Peter W. Atkins, Physikalische Chemie, WILEY-VCH Verlag 2001, 3. Auflage