

Effekte von Bioaerosolen auf die Atmosphäre

L. Hommes, E. Neulen

Wie bilden sich Wolken und welche Arten von Eispartikeln gibt es?

Atmosphäre ist ein Gasgemisch. **Aerosole** sind Gemische aus Gasen mit festen oder flüssigen Bestandteilen, die Partikel bilden und somit das Wetter und Klima sehr stark beeinflussen. **Partikel** können in **atmosphärische Aerosolpartikel** < **Wolkenpartikel** < **Hydrometeore** eingeteilt werden. **Aerosolepartikel** bezeichnen den festen Anteil eines Aerosols. **Wolkenbildung** findet in steigender Luft statt, da diese mit zunehmender Höhe expandiert und abkühlt. Bei reinem Wasserdampf führt dies zur Sättigung → Übersättigung. Partikel dienen hier als Kondensationskeime und führen so zur Bildung von Tropfen und Eiskristallen. Bei niedrigen Temperaturen sind v.a. Bioaerosole von Bedeutung.

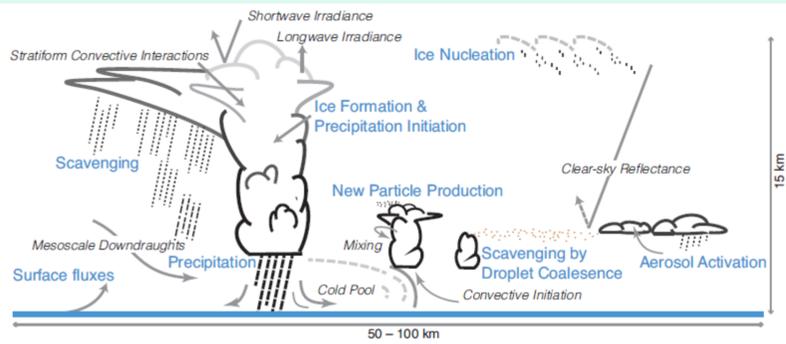


Abb. 1: Aerosol-Wolken-Niederschlag-Prozess als Teil eines interaktiven Systems

Atmosphärischer Niederschlag ist ein klimarelevanter Prozess, der durch Feuchtigkeit, Bewölkung und Konzentration und Eigenschaften von Aerosolpartikeln beeinflusst wird. Aerosolpartikel können als Wolkenkondensationskerne dienen. Biopartikel sind effiziente Eiskeime. Dies wird durch die Simulationsstudien gezeigt. Die Menge an Wolken und Aerosolen und ihre Eigenschaften sind in Raum und Zeit variabel.

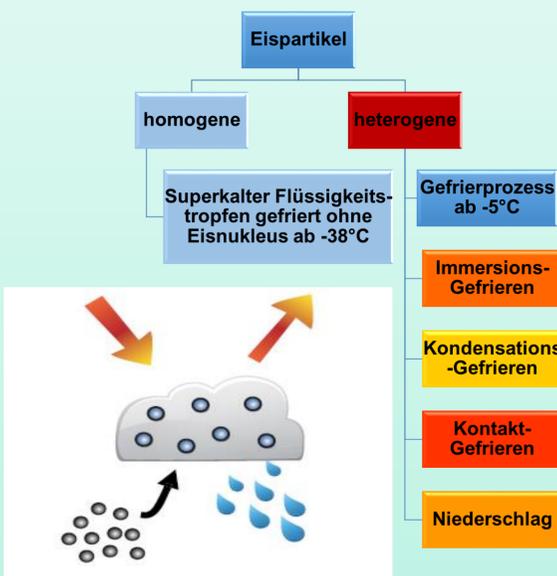


Abb. 2: Bildung von Wolkenpartikeln

Beim **Immersions-/ Kondensations-Gefrieren** wird der Gefrierprozess ausgelöst durch einen Eiskeim im unterkühlten Tropfen. Kondensation: Eiskeim im Tropfen
Immersion: Eiskeim + Partikel im Tropfen

Beim **Kontakt-Gefrieren** kollidiert ein Eis-Nukleus mit einem superkalten Tropfen, der unterhalb einer kritischen Temperatur T_C gefriert.

Der **Bergeron-Findeisen-Prozess** beschreibt den Effekt, dass verschiedene Gleichgewichtsdampfdruckkurven für die Bildung von Eis bzw. flüssigem Wasser aus der Gasphase verantwortlich sind. Für die Eisphase ist der Dampfdruck niedriger → bei gemischtphasigen Wolken reichert sich die flüssige Phase ab; die Eiskristalle wachsen.

Überblick über die durchgeführten Modellrechnungen

| Drop radius | ~ 50 μm | ~ 250 μm | ~ 350 μm |
|-----------------------------|--|----------------------------------|-------------------------------------|
| Pure Water | -35 °C | -34 °C | -33 °C |
| Soot particles | | | |
| From acetylene | For a < 15 μm < -34 °C (DeMott 1990) | | |
| From kerosene | | | -28 °C (Diehl and Mitra 1998) |
| Mineral particles | | | |
| Kaolinite | -32,5 °C (Hoffer 1961) | | -23 °C (Pitter and Pruppacher 1973) |
| Montmorillonite | -24,0 °C (Hoffer 1961) | | -19 °C (Pitter and Pruppacher 1973) |
| Illite | -23,5 °C (Hoffer 1961) | | |
| Biological particles | | | |
| Pollen | | -14 °C (Diehl et al. 2002) | |
| Leaf litter | | | -9 °C (Diehl et al. 2001) |
| bacteria | | -7 °C (Levin and Yankofski 1983) | |

Tabelle 1: Mittlere Gefrierpunkte für verschiedene Tropfengrößen mit unterschiedlichen Bestandteilen an unlöslichen Partikeln. Die Partikel führen dazu, dass sich Eispartikel bei höheren Temperaturen bilden, als es bei reinem Wasser der Fall ist.

Löslichen und unlöslichen Partikel in der Atmosphäre beeinflussen das Gefrieren der Wassertropfen. Der mittlere Gefrierpunkt ist die Temperatur, bei der 50% einer monodispersen Tropfenverteilung gefriert.

- Einfluss unlöslicher Partikel** (Tab. 1) Kleinere Tropfen haben niedrigere Gefrierpunkte. Für reines Wasser kommt der Kelvineffekt zum tragen.
- Einfluss löslicher Partikel** Lösliche Partikel führen zu einer Gefrierpunktserniedrigung.
- 2-dimensionale Beschreibung** (Abb. 3)

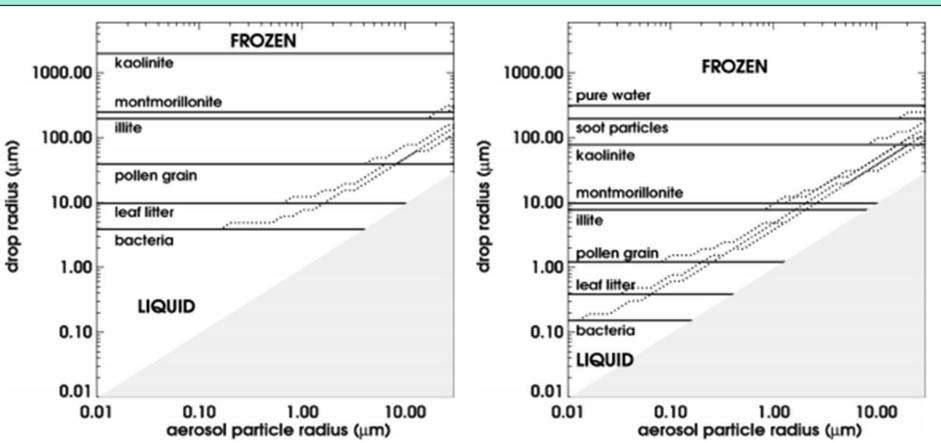


Abb. 3: Größenverteilung von unterkühlten flüssigen und gefrorenen Wassertropfen in einem zweidimensionalen Feld mit gegebenen Radien von Tropfen und Aerosolpartikeln. Die Tropfen enthalten Ammoniumsulfat und verschiedene unlösliche Partikel. (Links: -20 °C; Rechts: -30 °C). Graue Flächen stellen einen physikalisch nicht sinnvollen Bereich da (Partikel > Tropfen). Die Grenze zwischen Tropfen, die gefrieren können und denen die nicht gefrieren ist durch die Linien dargestellt (durchgezogen: reines Wasser; gepunktet: Salzlösung).

Das **Paketmodell** erlaubt eine flexible Beschreibung der Anfangs-population der Aerosole und simuliert die Entwicklung eines Tropfens in einer Protowolke. Viele mikrophysikalische Prozesse werden berücksichtigt. Nach der ersten Vergleichsrechnung, mit der Bigg-Gleichung (1953), die das Gefrieren von Tropfen wurde nach beschreibt, wurden verschiedene Parameter für unlösliche Partikel eingeführt.

Die Ergebnisse, die mit dem Paketmodell für heterogenes Gefrieren erhalten wurden, sind in Abbildung 4 dargestellt. Bei einer Temperatur von 0,4 °C waren keine Tropfen gefroren. Mit sinkender Temperatur nimmt der Anteil gefrorener Tropfen immer stärker zu, sodass sich ab -9,5 °C auch die Verteilung der Tropfen in der flüssigen Phase signifikant ändert.

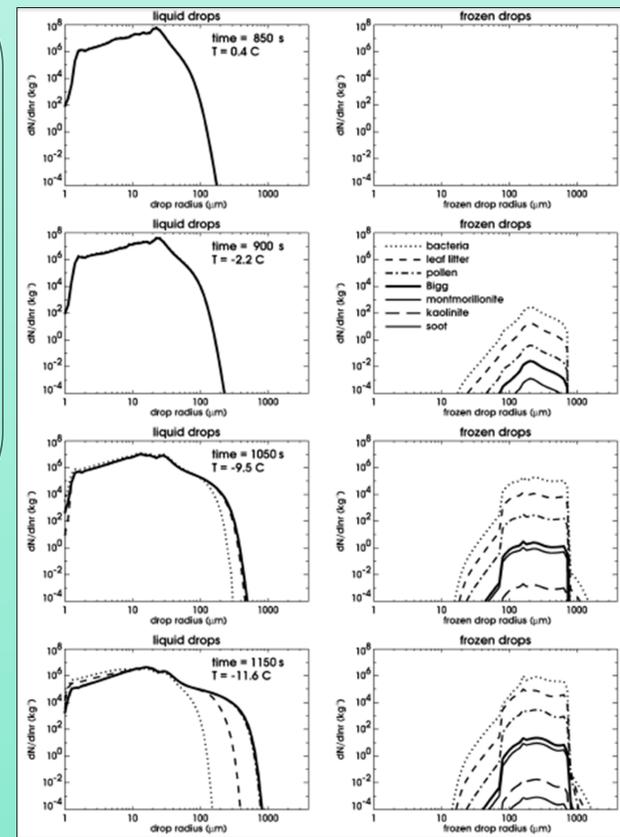


Abb. 4: Verteilung von flüssigen (links) und gefrorenen (rechts) Tropfen für Zeiten von 850, 900, 1050 und 1150 s. Verschiedene unlösliche Partikel sind durch verschiedene Linien gekennzeichnet.

Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie wurde eine Methode vorgestellt, die den Einfluss von (un)löslichen Partikeln, insbesondere von Biopartikel, auf den Gefrierprozess von Tropfen im Immersions-Modus untersucht. Die Partikelart steigert die Effizienz der Aerosolpartikel als Kondensationskern zu wirken. Aber durch den Effekt der Gefrierpunktserniedrigung werden sie vor dem Gefrieren geschützt. Erst bei großen Tropfen wird die Salzkonzentration gering, sodass diese gefrieren können. Die Simulation zeigt, dass insbesondere biologische Substanzen als Aerosole sehr effizient (d.h. bei kleinen Teilchenradien) als Eiskeime wirken. Zwei Effekte wurden bei der Kalkulation berücksichtigt: Volumenabhängigkeit des Gefrierpunkts und die Abhängigkeit des Gefrierpunktes von der Art des Kerns.

Quellen:
<http://www.cas.manchester.ac.uk/resactivities/cloudphysics/background/ice/>, 11.08.2016 13:03h
 Journal of Geophysical Research, Vol. 111, D07202, 2006
 Journal of the Atmospheric sciences, Vol. 61, 2063-2072, 2004
 O. Boucher, D. Randall, Clouds and Aerosols, Kap. 7
 Stefan Mertes, IFT, Leipzig, Eisbildung in troposphärischen Wolken
<https://www.tropos.de/aktuelles/pressemitteilungen/details/weshalb-gefriert-wasser-in-den-wolken-zwischen-5-und-38-celsius/>, 30.08.2016 16:00h
 Prof. Hoor, Vorlesungsfolien: Bioaerosole, SS2016 (23.06.2016)