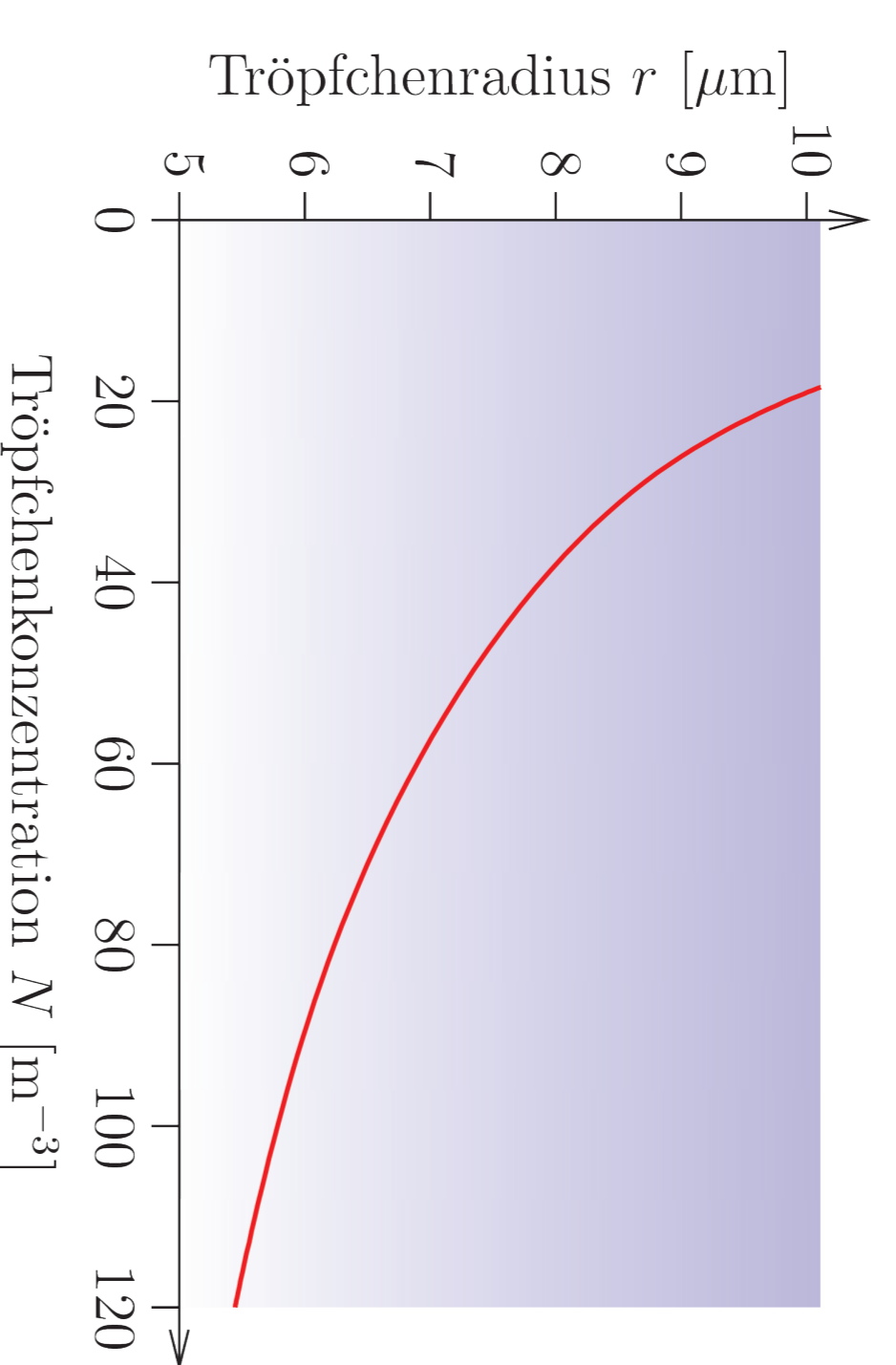


# Eiszeit oder Hitzetod, Aerosole als Antwort?

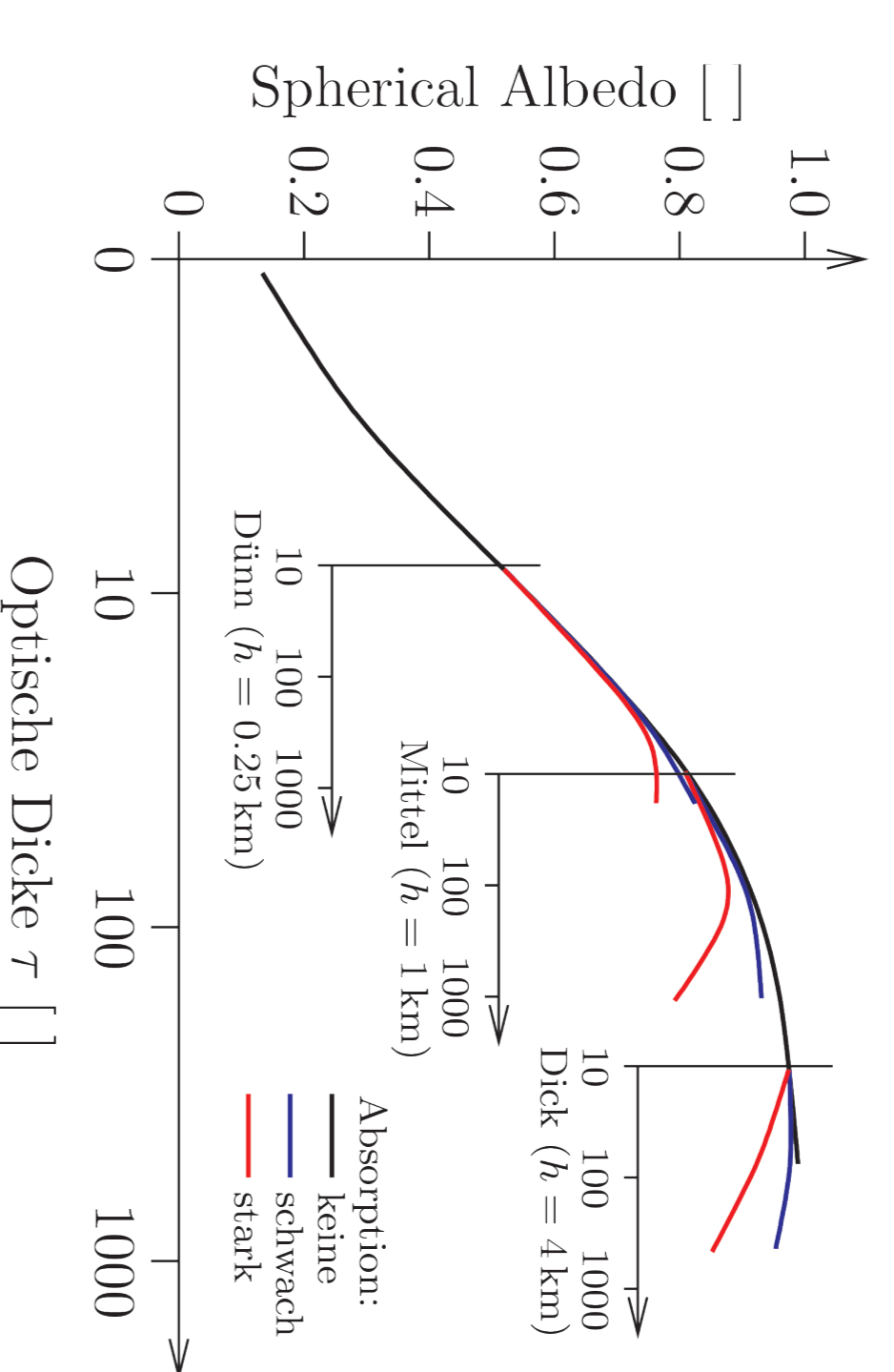
Brunner, Sibyl; Kuster, Thomas; Schenk, Roman – Februar 2006

**IAC ETH**

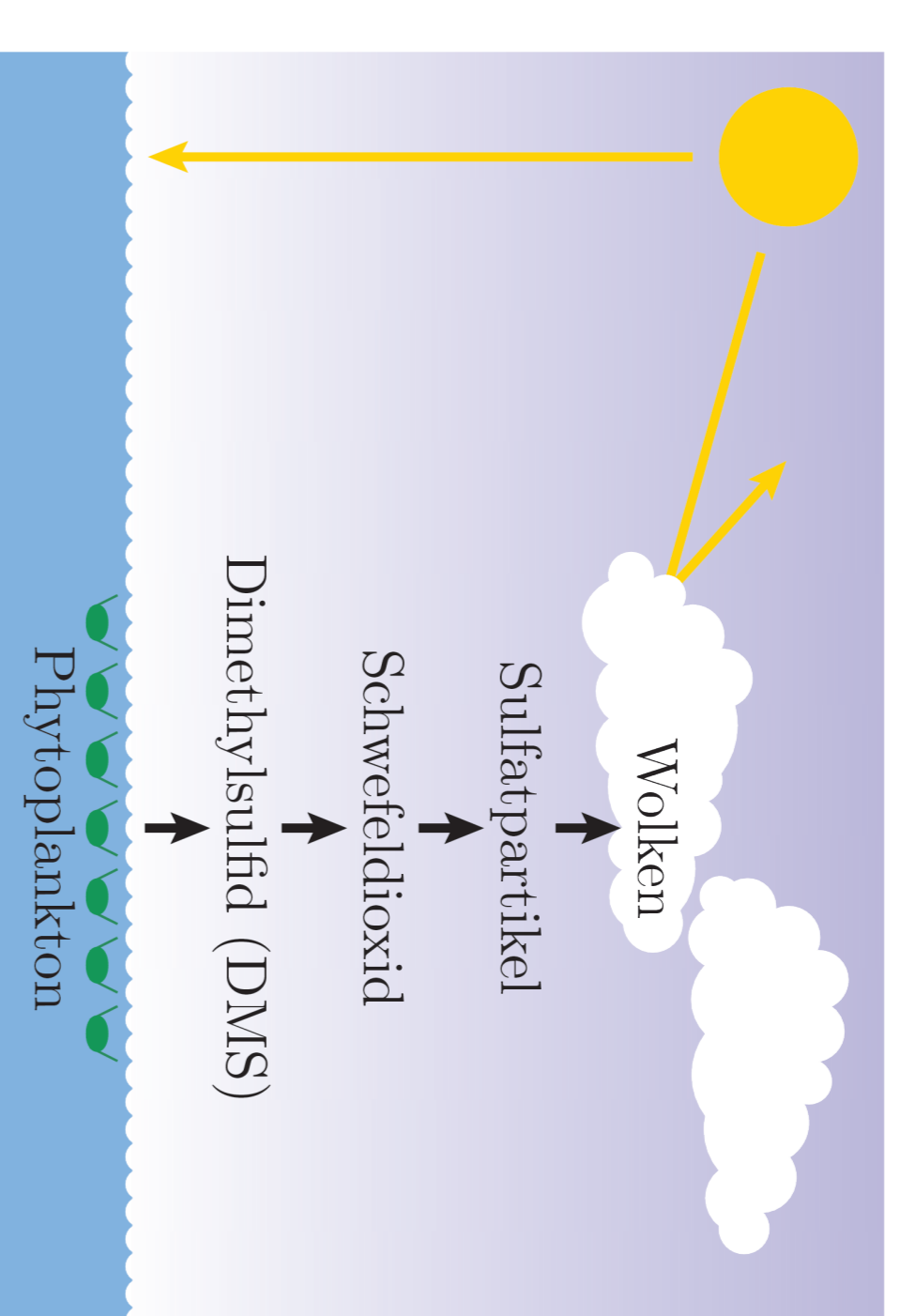
Institute for Atmospheric and Climate Science  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



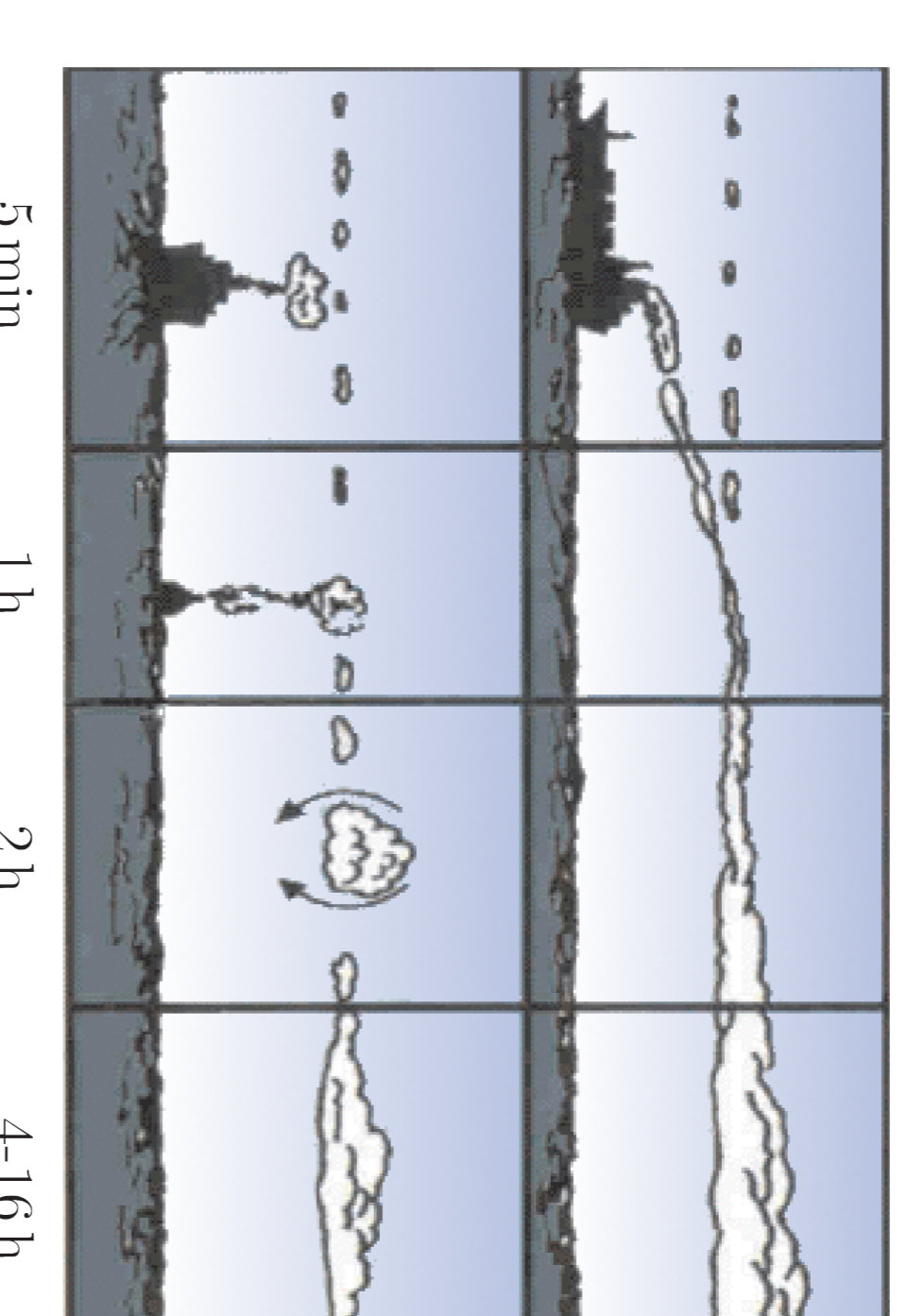
Tropfengrösse und Anzahl



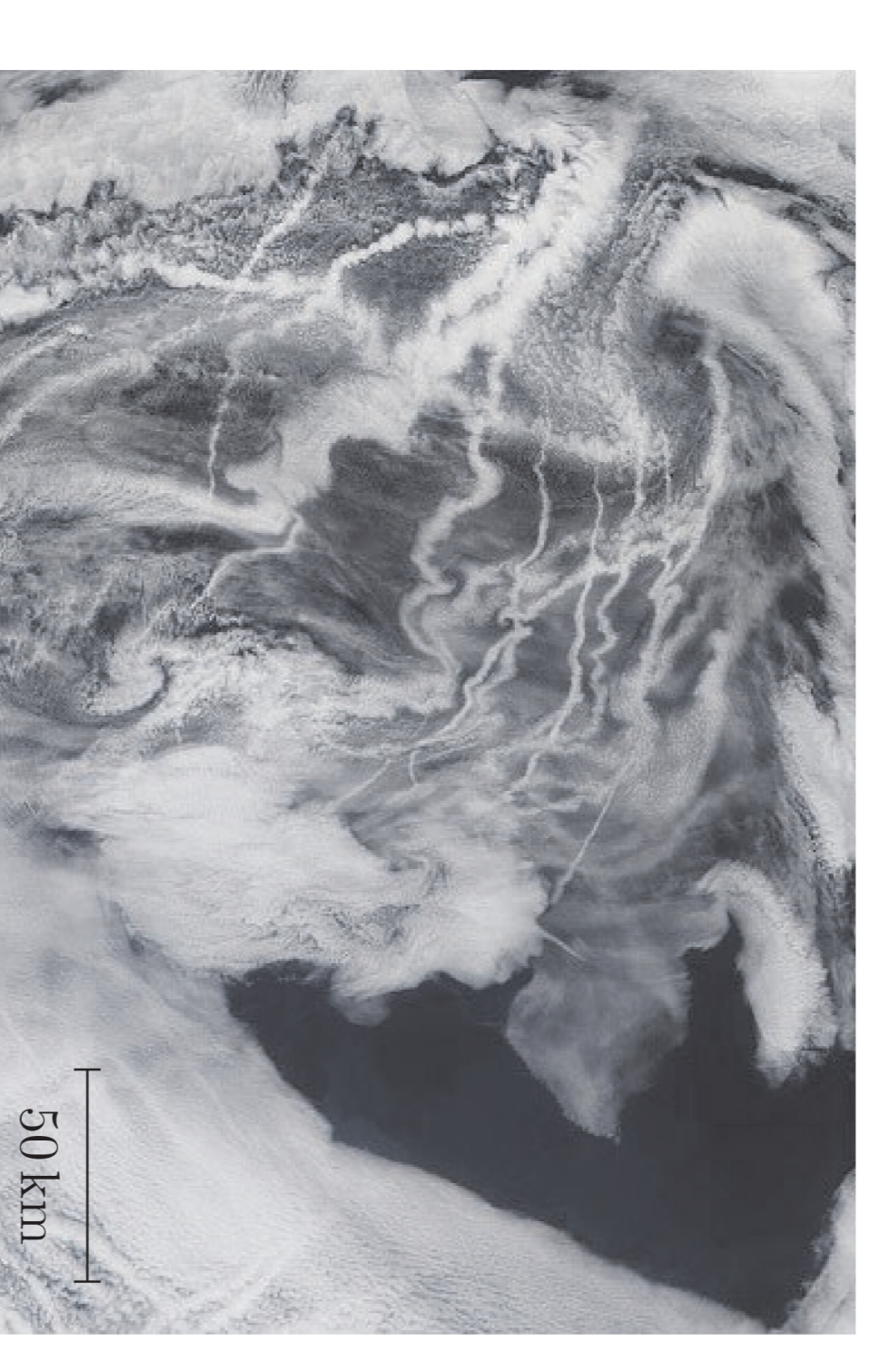
Albedo und optische Dicke



DMS-Regelkreis



Stabilisierung von Schiffswolken



Satellitenbild von Schiffswolken

## Einleitung

Die Entwicklung unseres Klimas ist ein wichtiges Thema zahlreicher Forschungsprojekte, der Medien, internationaler Verhandlungen und Abkommen.

Aerosole nehmen bei der Betrachtung des Systems Erde und Temperatur der Atmosphäre eine zentrale Rolle ein. Durch erhöhte Konzentrationen von natürlichen und anthropogenen Aerosolen sind mehr Kondensationskeime für Wolkentropfen vorhanden, womit die Anzahldichte der Tröpfchen steigt. In einem Modell, in dem der Wassergehalt ( $W$ ) konstant gehalten wird, verringert sich somit der Radius ( $r$ ) der Wolkentröpfchen:

$$N = \frac{3}{4r^3 \pi \rho} W$$

Kleinere Tropfenradien erhöhen die Gesamtoberfläche der Wolkentropfen, was wiederum die Wolkenalbedo und somit auch die Strahlungsbilanz der Erde beeinflusst. Dies kann sowohl einen abkühlenden als auch erwärmenden Effekt zur Folge haben.

## Twomey-Effekt

Luftschadstoffe bewirken dunkle, dreckige Wolken und senken damit die Albedo. Mit der Schadstoffkonzentration steigt jedoch auch die Anzahl der Kondensationskeime und damit die Tropfenzahl ( $N$ ) bei einem konstant gehaltenen Wassergehalt ( $W$ ). Eine dadurch erhöhte optische Dicke ( $\tau$ ) endet schliesslich in einer Erhöhung der Wolkenalbedo.

$$\tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{hW}{r\rho}$$

Mit den drei Parametern Optische Dicke, Streuungsalbedo und Verschmutzungsgrad kann die Reflexion zuverlässig modelliert werden.

Wenn die optische Dicke ohne Absorptionswirkung der Aerosole zunimmt, steigt die Albedo der Wolke entlang der schwarzen Kurve für  $\tau = 1000$  gegen 1. Je nach Stärke der Absorptionswirkung kann jedoch bei sehr grossen optischen Dicken ( $\tau > 30$ ) die Albedozunahme früher stagnieren (blau), bzw. sogar abnehmen (rot), wenn die Kondensationskeimzahl (Aerosolkonzentration) zunimmt.

## CLAW-Hypothese

Über Ozeanen sind Sulfataerosole, die durch atmosphärische Oxidationsreaktionen aus Dimethylsulfid (DMS) entstehen, die wichtigsten Determinanten der Wolkenkondensationskeime. DMS wird von vielen Phytoplanktonspezies vorwiegend in warmen, salzigen Ozeanen emittiert.

Diesen Zusammenhang zwischen biologischer Produktivität und den Wolkenkondensationskeimen wird von der CLAW-Hypothese aufgenommen: Die These besagt, dass eine erhöhte DMS-Produktion zu einer grösseren Anzahldichte an Sulfataerosolen und somit, wie in der Einleitung erwähnt, zu einer grösseren Albedo der Wolken führt. Durch die geringere Sonneneinstrahlung werden die Ozeane weniger stark erwärmt, was eine dämmende Wirkung auf biologische Vorgänge, also auch die DMS-Produktion von Phytoplankton hat. Das Klima im marinen System wird also, gemäss der CLAW-Hypothese, durch die negative Rückkopplung des Phytoplanktons via DMS-Produktion stabil gehalten.

## Schiffswolken

Eine Erhöhung der Aerosol-Konzentration (z. B. durch Schadstoffemissionen von Schiffen) führt zu einer Erhöhung der Wolkenkondensationskeime. Durch diese Erhöhung kommt es zu vermehrten marinen Strato- und Schönwetter-Cumulusswolken. Durch die hohe Wolkeneinkonzentration steigt die Tropfenzahl, mit kleineren Tröpfchen und damit weniger Niesel. Der Flüssigwassergehalt der Wolke und der Bewölkungsgrad nimmt zu. Aufgrund der geringeren Nieselbildung kann die Wolke nicht ausregnen und ihre Lebensdauer erhöht sich.

Die höhere Aerosolkonzentration führt also zu einem höheren Bedeckungsgrad und zu einer höheren Wolkenalbedo.

Tiefliegende Wolken (z. B. Schiffswolken) reflektieren weniger infrarotes Licht, welches von der Erde abgestrahlt wird, und wirken daher kühlend. Hohe Wolken dagegen wirken erwärmend, da sie von der Erde emittierte IR-Strahlung reflektieren. Eine 30-prozentige Aerosolzunahme verursacht eine Bewölkungsgrad-erhöhung von 4% (Albedo +0.02).

## Zusammenfassung

Eine höhere Schadstoffkonzentration verändert die Albedo der Erde. Sehr stark absorbierende Aerosole senken sie, nicht absorbierende erhöhen sie. Weiter spielt auch die Höhe der Wolken eine Rolle: Tiefe Wolken reflektieren die kurzwellige Solarstrahlung, hohe reflektieren infrarote Erdstrahlung. Eine höhere Aerosolkonzentration kann unser Klima erwärmen wie auch abkühlen. Ozeanogene Sulfataerosole könnten über den negativen DMS-Regelkreis das System eventuell stabil halten.

## Literatur

Twomey, Sean. (1977). Influence of pollution on shortwave albedo of clouds. Journal of atmospheric science, 34 (7)/1977, Seiten 1149-1152  
Chalson, Robert u.a. (1987). Oceanic Phytoplankton, Atmospheric Sulfur, Cloud Albedo and Climate. Nature, 326/1987, Seiten 655-661  
Albrecht, Bruce. (1989). Aerosols, Cloud Microphysics, and Fractional Cloudiness. Science, New Series, Vol 245. 4923/1989, Seiten 1227-1230