


Bacteria and fungal spores in the global climate model ECHAM5-HAM

Doctoral Thesis

Author(s):

Petrus, Ana 

Publication date:

2011

Permanent link:

<https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-006541186>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

DISS. ETH NO. 19574

Bacteria and fungal spores in the global climate model ECHAM5-HAM

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ANA SESARTIĆ

Dipl. Umwelt-Natw. ETH, ETH Zurich, Switzerland

born 13 January 1983

citizen of Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. U. Lohmann, examiner

Asst. Prof. Dr. T. Storelvmo, co-examiner

Dr. U. Pöschl, co-examiner

2011

Abstract

Atmospheric aerosols play an important role in the Earth system and are one of the major uncertainties in the assessment of climate change. In order to improve the understanding of aerosols and their role in the global climate systems, the hitherto neglected but microphysically potentially important biological aerosol particles (bacteria and fungal spores) have been included as potential ice nuclei (IN) into the global climate model (GCM) ECHAM5-HAM and their emissions, transport and impact on clouds and precipitation were investigated.

Bacteria are the most active naturally occurring ice nuclei due to the ice nucleation active proteins on their surface, which serve as active sites for ice nucleation. Fungal spores have also been shown to exhibit IN properties. Bacteria in general and those with ice nucleating abilities in particular, are commonly found on plant leaves and their number concentrations depend on the plant functional type. Fungal spore concentrations were also found to correlate with vegetation. The observed near surface bacteria and fungal spore fluxes have therefore been combined with the global spread of plant functional types taken from the JSBACH dynamic vegetation model, in order to calculate their number emission fluxes in ECHAM over the crops, grass, shrubs, forests and land ice ecosystems.

In order for bioaerosols to be incorporated into the HAM aerosol module of ECHAM, two new aerosol modes (bioaerosol insoluble and soluble/mixed) as well as two new aerosol species (bacteria and fungal spores) have been introduced. Both are initially emitted in the insoluble mode and can transfer to the mixed mode by coating with sulfuric acid and coagulation with sulfate, soot and organic carbon. Additionally, bioaerosols are allowed to coagulate with each other and dust, as this has been observed in nature.

IN have, when present in sufficiently high concentrations, the ability to glaciate supercooled liquid clouds, with significant consequences for radiative properties, precipitation release and lifetimes of the clouds. It was shown that bacteria can be transported to the middle and upper troposphere and over large distances, however, their number concentration is two to three orders of magnitude lower than that of mineral dust, another aerosol type with the ability to act as IN. Therefore, the inclusion of bacteria as IN in a GCM leads to only minor changes in cloud formation and precipitation on a global level. Nevertheless, changes in the liquid water path and ice water path are observed, specifically in the boreal regions where tundra and forests act as sources of bacteria. While the mean observed bacteria concentrations are captured by the model, it greatly underestimates the variability in the bacteria concentrations. As current observations of bacteria emissions have many uncertainties and might underestimate their real numbers, an extreme assumption of a 100-fold increase in bacteria emissions was introduced in a sensitivity study. This leads to a simulated change in cloud radiative forcing similar to the entire increase in the greenhouse effect due to anthropogenic CO₂ forcing. Standardised long-term observations with world-wide coverage are necessary for a more precise model evaluation.

In order to facilitate the modelling of fungal spores and their impact as IN on the global climate, a literature review was conducted where emission fluxes of fungal spores have been calculated based on fungal spore concentration observations from different biomes. As the data availability for fungal spores is similarly poor as for bacteria, due to the heterogeneity of the applied measurement methods as well as the quality of the measurements themselves, several assumptions and simplifications needed to be adopted while aggregating the data: results from different measurement methods have been treated equally, while diurnal and seasonal cycles have been neglected. Nevertheless, the resulting global emission flux of fungal bioaerosol was proven to be in agreement with previous studies and thus a useful basis for modelling in ECHAM5-HAM.

Finally, fungal spores were included into ECHAM5-HAM with an ability to act as IN. The emissions

of fungal spores are successfully captured by the model. Similar as for bacteria, their inclusions leads to negligible changes in cloud properties. A slight increase in the ice water path can be observed though, coupled to an increase in the ice crystal radius, especially in boreal regions.

In conclusion, to the best of our current knowledge, the influence of bacteria and fungal spores on the global climate appears small, however, the results suggest that some regional effects might exist, especially in boreal regions. In order to advance the research on bioaerosols' effect on climate, further investigations in the field, laboratory studies and modelling work are needed, also in collaboration with other disciplines like microbiology, plant ecology or mycology. Modelling research should focus on local effects of bioaerosols in highly vegetated regions, e.g. tropical forest, by using high resolution regional models coupled to a dynamic vegetation scheme.

Zusammenfassung

Atmosphärische Aerosole spielen eine wichtige Rolle im System Erde und stellen eine der grössten Unsicherheiten bei der Beurteilung des Klimawandels dar. Um das Wissen über Aerosole und ihrer Rolle im globalen Klima zu verbessern, wurden die bisher vernachlässigten aber mikrophysikalisch wichtigen biologischen Aerosolpartikel (Bakterien und Pilzsporen) als Eiskerne in das globale Klimamodell ECHAM5-HAM aufgenommen und ihre Emissionen, Transport, sowie Auswirkungen auf Wolken und Niederschlag untersucht.

Bakterien sind die aktivsten natürlich vorkommenden Eiskerne aufgrund der Proteine auf ihrer Oberfläche, die als aktive Zentren für Eisnukleation dienen. Bei Pilzsporen wurde ebenfalls Eisnukleations-Aktivität nachgewiesen. Im allgemeinen finden sich Bakterien häufig auf Pflanzenoberflächen, insbesondere diejenigen welche über die Fähigkeit verfügen Eiskristalle zu bilden. Je nach dem auf welcher funktionalen Pflanzengruppe sie vorkommen, sind die Konzentrationen anders. Ähnliches wurde auch für Pilzsporen beobachtet. Deshalb war es möglich, die beobachteten Bakterien- und Pilzsporen-Emissionen mit den funktionellen Pflanzengruppen zu kombinieren, die dem dynamischen Vegetationsmodell JSBACH entnommen wurden, um in ECHAM die Emissionsflüsse für die Ökosysteme der Kulturpflanzen, Gräser, Sträucher, Wälder und Landeis zu berechnen.

Um Bioaerosole in das HAM Aerosol-Modul von ECHAM einzubauen wurden zwei neue Aerosol-Modi (unlösliche und lösliche / gemischte Bioaerosole) sowie zwei neue Aerosolarten, Bakterien und Pilzsporen, eingeführt. Beide werden zunächst im unlöslichen Modus emittiert. Sie gehen in den gemischten Modus über durch Beschichtung mit Schwefelsäure sowie Koagulation mit Sulfat, Russ und organischen Kohlenstoff. Darüber hinaus können Bioaerosole untereinander, sowie mit Staub, koagulieren, wie dies auch in der Natur beobachtet worden ist.

In genügend hohen Konzentrationen haben als Eiskerne fungierende Aerosole die Fähigkeit unterkühlte Flüssigwasserwolken zum Gefrieren zu bringen, mit Folgewirkungen für die Strahlungseigenschaften, Niederschlag und Lebensdauer der Wolken. Es wurde gezeigt, dass Bakterien bis in die mittleren und oberen Troposphärenschichten vordringen sowie über weite Strecken transportiert werden können. Während ECHAM die beobachteten Bakterienkonzentrationen korrekt wiedergibt, unterschätzt es stark die Variabilität der Bakterienkonzentration. Insgesamt ist die Konzentration der Bakterien zwei bis drei Grössenordnungen geringer als die von Staub. Daher führt die Berücksichtigung von Bakterien als Eiskerne in einem globalen Klimamodell nur zu geringfügigen Änderungen bei Wolkenbildung und Niederschlag. Auf globaler Ebene können jedoch Veränderungen im Flüssig- und Eiswassergehalt beobachtet werden, besonders in borealen Regionen, in denen Tundra und Wälder als Quellen von Bakterien dienen. Da die zur Zeit vorhandenen Beobachtungsdaten von Bakterienemissionen mit vielen Unsicherheiten behaftet sind und die Möglichkeit besteht, dass die tatsächlichen Emissionsflüsse unterschätzt wurden, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt mit einer extremen Annahme eines 100-fachen Anstiegs der Bakterienemissionen. Dies führte zu einer Veränderung des simulierten Strahlungsantriebs in gleicher Grössenordnung wie dem gesamten durch anthropogene CO₂ Emissionen verursachten Treibhauseffekt. Standardisierte globale Langzeitbeobachtungen von Bakterienflüssen sind deshalb notwendig um genauere Resultate zu erhalten und das Modell besser validieren zu können.

Um die Modellierung von Pilzsporen und deren Auswirkungen als Eiskerne auf das globale Klima zu ermöglichen, wurde eine Literatur-Studie durchgeführt, in der Emissionsflüsse von Pilzsporen berechnet wurden, basierend auf Beobachtungen der Pilzsporenkonzentration in unterschiedlichen Ökosystemen. Da die Datenlage für Pilzsporen ähnliche Schwächen aufweist wie bei den Bakterien, aufgrund der Heterogenität der angewandten Messmethoden sowie der Qualität der Messungen selbst,

waren mehrere Annahmen und Vereinfachungen bei der Datenaggregation nötig: Ergebnisse aus unterschiedlichen Messverfahren wurden gleichermassen behandelt, während Tages- und Jahreszyklen vernachlässigt wurden. Dennoch sind die daraus resultierenden weltweiten Emissionsflüsse von Pilzsporen in Übereinstimmung mit früheren Studien und bieten damit eine nützliche Grundlage für die Modellierung in ECHAM5-HAM.

Zuletzt wurden Pilzsporen als Eiskerne in ECHAM5-HAM eingefügt. Die Emissionen von Pilzsporen werden durch das Modell korrekt dargestellt. Ähnlich wie bei Bakterien führt die Berücksichtigung von Pilzsporen als Eiskerne zu vernachlässigbar kleinen Änderungen bei Wolkenbildung und Niederschlag. In borealen Regionen kann jedoch ein leichter Anstieg im Eiswassergehalt beobachtet werden, der mit einem vergrößerten Eiskristallradius einhergeht.

Abschliessend lässt sich zusammenfassen, dass gemäss unserem derzeitigen Wissensstand der Einfluss von Bakterien und Pilzsporen auf das globale Klima vernachlässigbar ist. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass regionale Effekte, besonders in borealen Regionen existieren können. Um die Forschung im Bereich der Bioaerosole und ihrer Einflüsse auf das globale Klima voranzutreiben, sind weitere Untersuchungen im Feld und Labor nötig, auch in Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen wie der Mikrobiologie, Pflanzenökologie und Mykologie. Zukünftige Untersuchungen durch Modelle sollten sich mit lokalen Effekten von Bioaerosolen in Gebieten mit dichter Vegetation befassen, z.B. dem tropischen Regenwald, und dies am besten mit Hilfe von hochauflösenden regionalen Modellen gekoppelt an eine dynamische Vegetation.