



■ Eine regenschwere Cumulo-Nimbus-Wolke baut sich über der Schwäbischen Alb auf. Nur etwa jede zehnte Wolke regnet aus. In den meisten Fällen verdampfen die kleinen Wolkentröpfchen wieder. Damit Regentropfen entstehen, die schwer genug sind, um zu Boden zu fallen, müssen die Wolkentröpfchen auf ein Vielfaches ihrer Größe anwachsen.

# Wie in Wolken der Regen entsteht

## Kristallisationskeime als Schlüssel

Wolken haben einen maßgeblichen Einfluss auf den Wasserhaushalt der Erde, das Wettergeschehen und das Klima. Sie wissenschaftlich zu beschreiben, ist schwierig – und das erschwert die Niederschlagsvorhersage ebenso wie die Klimamodellierung. Wichtig für die Entstehung von Regen in unseren Breiten sind Eispartikel. Sie machen einen großen Teil der Wolken aus. Doch wie bilden sie sich, und warum sind sie für viele physikalische Prozesse in den Wolken unentbehrlich? Und schließlich: Wirkt sich menschliches Handeln auf die Wolken aus?

**von Joachim Curtius  
und  
Heinz Bingemer**

Zur Eröffnungsfeier der diesjährigen Olympischen Spiele in Peking gab es nicht nur ein großes Feuerwerk, sondern auch Artilleriefeuer mit Silberjodid-Granaten. Während das Feuerwerk allerdings im unmittelbaren Umfeld des Vogelnest-Stadions gezündet und über das Fernsehen in alle Welt übertragen wurde, fand das Artilleriefeuer fast unbemerkt vor den Toren Pekings statt. Die mehr als 1100 Silberjodid-Granaten sollten am Tag der Eröffnungsfeier verhindern, dass die aufziehenden Wolken über Peking abregneten. Tatsächlich blieb der Regen an diesem Tag aus. Ob dies jedoch dem Zufall oder den chinesischen »Wettermachern«

geschuldet ist, bleibt ungewiss. Silberjodid hat zwar tatsächlich einen Einfluss auf die Entstehung des Regens, die Vorgänge im Einzelnen sind aber viel zu komplex, als dass man einzelne größere Regenwolken oder gar das Wetter allgemein heute wirklich so beeinflussen könnte, dass Ort, Zeitpunkt und Intensität des Regens gezielt im Voraus manipuliert werden könnten.

Wie sich der Regen in unseren Breitengraden bildet, ist inzwischen zumindest im Prinzip verstanden. Wolken entstehen, sobald die relative Feuchte in einer Luftmasse einen Wert von 100 Prozent erreicht. Dies geschieht meist, wenn sich Luftmassen abkühlen,

## Bergeron-Findeisen-Prozess

Da die Wassermoleküle im Eis stärker gebunden sind als in flüssigem Wasser, ist bei gleicher Temperatur der Gleichgewichtsdampfdruck über Eisteilchen niedriger als über unterkühlten Wassertröpfchen. Solange sowohl Eispartikel als auch unterkühlte Wassertröpfchen in einer Wolke vorhanden sind, kann sich daher kein Dampfdruckgleichgewicht einstellen. Dies führt dazu, dass ständig Wasser von den unterkühlten Tröpfchen abdampft, da für sie die Gasphase mit Wassermolekülen übersättigt ist, während sich Wassermoleküle auf den Eipartikeln anlagern, denn in Bezug auf die Eispartikel ist die Gasphase übersättigt.

Sobald sich in einer Wolke aus flüssigen Wassertröpfchen

auch Eispartikel gebildet haben, beginnt daher ein Wachstum der Eisteilchen, während die Tröpfchen verdampfen. Diesen Transfer von Wassermolekülen von den Tröpfchen auf die Eiskristalle nennt man den Bergeron-Findeisen-Prozess. Haben die Eispartikel auf diese Weise eine Größe um 50 Mikrometer erreicht, steigt ihre Kollisionswahrscheinlichkeit mit den verbliebenen unterkühlten Tröpfchen deutlich an, und es setzt eine Bereifung der Eiskristalle ein, wobei die unterkühlten Tröpfchen an den Eispartikeln festfrieren. So können die Eispartikel bis zu Größen anwachsen, bei denen sie schließlich schwer genug sind, um aus den Wolken herauszufallen.

während sie aufsteigen. Es bilden sich zunächst kleine, flüssige Wolkentröpfchen, die nur einige Mikrometer groß sind, das heißt kleiner als die Dicke eines menschlichen Haares. Damit aus den kleinen Wolkentröpfchen Regentropfen entstehen, die schwer genug sind, um zu Boden zu fallen, müssen die Wolkentröpfchen auf ein Vielfaches ihrer Größe anwachsen. Dies ist in der Regel nicht der Fall: Die meisten Wolken verdampfen wieder, und nur etwa jede zehnte Wolke regnet aus. **1**

### Ohne Eispartikel kein Regen

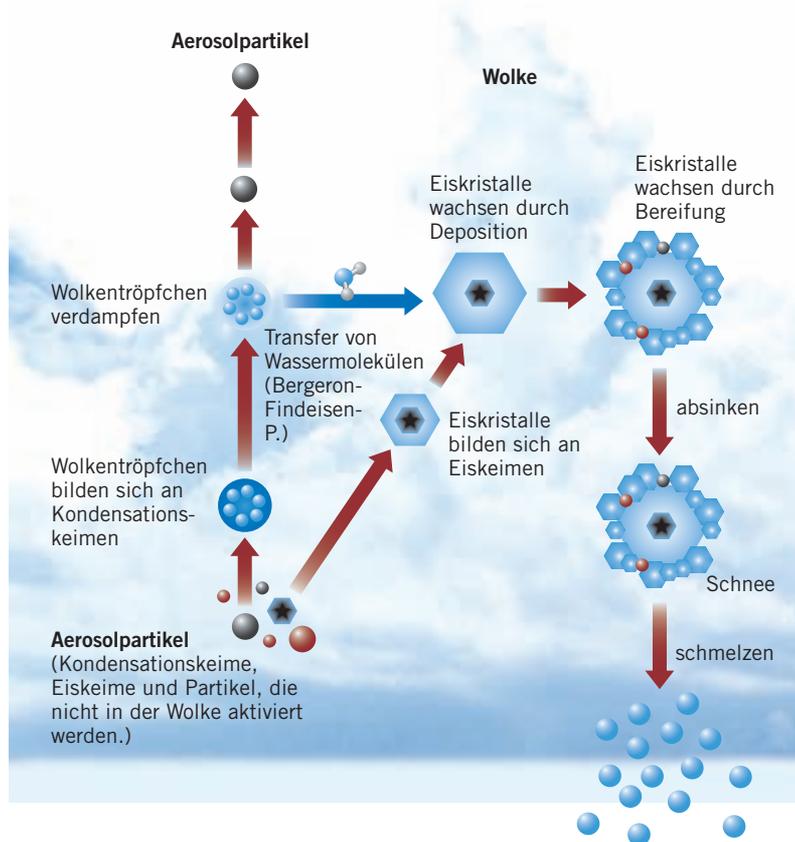
Entscheidend für die Entstehung von Regen ist ein Zusammenspiel von unterkühlten flüssigen Tröpfchen und Eispartikeln. Nur die allerwenigsten Wolkentröpfchen gefrieren tatsächlich schon bei Temperaturen kurz unterhalb von 0 °C. Bis zu Temperaturen von -38 °C können sie flüssig bleiben, ohne zu gefrieren. Im Temperaturbereich zwischen 0 °C und -38 °C – das entspricht in unseren Breiten etwa den untersten sieben bis acht Kilometern der Atmosphäre – entstehen zunächst nur einige wenige Eispartikel. Jedes dieser Eispartikel benötigt zu seiner Entstehung einen Eiskeim. Nur die Eispartikel können in den Wolken so groß anwachsen, dass sie schwer genug sind, um aus der Wolke herauszufallen und dann als Regen, Graupel, Hagel oder Schnee den Boden zu erreichen.

Die Wolken, in denen sowohl Eispartikel als auch unterkühlte Flüssigkeitströpfchen gleichzeitig vorkommen, werden Mischphasenwolken genannt. **2** Die unterkühlten Flüssigkeitströpfchen verdampfen in diesen Wolken, und der Wasserdampf lagert sich dann an den Eispartikeln an [siehe »Bergeron-Findeisen-Prozess«]. Dadurch wachsen die Eispartikel zunächst bis zu einer Größe von etwa 50 Mikrometern an. Danach erfolgt das weitere Wachstum hauptsächlich durch Zusammenstöße der Eispartikel mit den kleinen unterkühlten Tröpfchen, die an den Eispartikeln festfrieren. So wachsen die Partikel auf Größen von mehr als 100 Mikrometern an und werden so schwer, dass sie aus den Wolken herausfallen. In wärmeren Luftschichten schmelzen sie dann häufig wieder und erreichen als flüssige Regentropfen den Boden. Die Eispartikel sind also ganz wesentlich an der Entstehung des Regens beteiligt.

Warum gefrieren die meisten Tröpfchen auch weit unterhalb von 0 °C nicht? In der Regel fehlt ihnen ein Eiskeim, der eine geeignete feste Oberfläche für das Wachstum des Eiskristalls bietet. Die meisten in der Atmosphäre schwebenden Partikel (Aerosole) sind flüssig, zum Beispiel Sulfattröpfchen oder organische Partikel. Bei den wenigen festen Partikeln kommt es dann auf die chemische Beschaffenheit, die Größe und die Oberfläche der Partikel an, ob sie sich als Eiskeim eignen. Gute Eiskeime sind Partikel, deren Kristallstruktur derjenigen von Eis ähnlich ist. Dazu gehört das in Peking verwendete Silberjodid. Die Kristallgitter von Eis und Silberjodid sind fast identisch, und deshalb fungiert Silberjodid schon bei Temperaturen von -4 °C als Eiskeim.

### Bakterien und künstlicher Schnee

Noch bessere Eiskeimeigenschaften besitzt ein Protein, das in *Pseudomonas-syringae*-Bakterien vorkommt.<sup>1/1</sup> Diese Bakterien, die vor allem auf verrottenden Blättern und anderen Pflanzenresten zu finden sind, wir-



**2** Bildung von Regentropfen in Mischphasenwolken, die aus Eispartikeln und unterkühlten Flüssigkeitströpfchen bestehen. Die Eispartikel wachsen, indem sie den Wasserdampf der verdampfenden Flüssigkeitströpfchen anlagern. Haben die Partikel eine Größe von etwa 50 Mikrometern erreicht, häufen sich die Zusammenstöße mit den unterkühlten Tröpfchen, so dass diese an den Eispartikeln festfrieren (Bereifung). Ab einer Größe von 100 Mikrometern werden die Eispartikel so schwer, dass sie aus den Wolken herausfallen.

ken schon bei Temperaturen von  $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  als effiziente Eiskeime. Diese Proteine werden daher dem Wasser für Schneekanonen zugesetzt, um die Schneebildung bei möglichst hohen Temperaturen zu ermöglichen. Nun kommt Silberjodid aber normalerweise nicht in der Atmosphäre vor, und auch die *Pseudomonas-syringae*-Bakterien können zwar am Erdboden die Eisbildung auslösen, sie gelangen aber kaum massenhaft in die Atmosphäre, um dort in den Wolken als Eiskeime zu dienen.

Interessanterweise wirkt nur etwa eines von mehreren 10 000 Aerosolpartikeln als Eiskeim. Während sich in der Luft ständig in jedem Kubikzentimeter viele Hunderte Schwebeteilchen aufhalten (der berühmte »Feinstaub«), findet man darunter nur einige Dutzend Eiskeime pro Liter Luftvolumen. Was zeichnet diese seltenen Eiskeime aus? Genau diese Frage ist ein zentrales Thema des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs »Die Troposphärische Eisphase«, in dem Forscher der Universität Frankfurt, der Universität Mainz, der Technischen Universität Darmstadt, des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz und des Instituts für Troposphärenforschung in Leipzig gemeinsam die Rolle von Eis in der unteren Atmosphäre untersuchen.

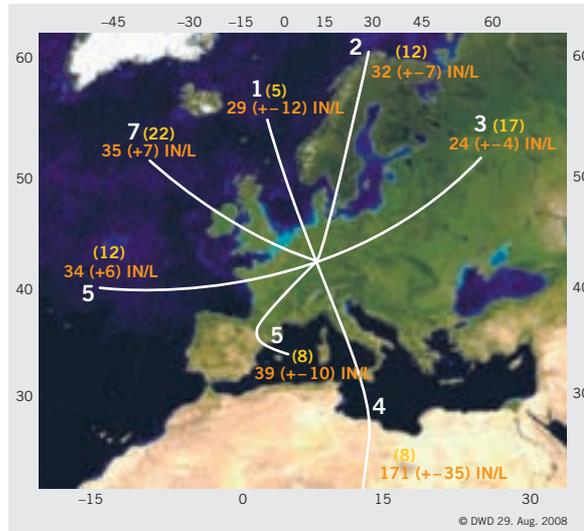
**Seltene Eiskeime in der Troposphäre**

Im Rahmen von »TROPEIS« haben wir in den letzten vier Jahren unter anderem Messverfahren entwickelt, mit denen wir die Konzentration und die chemische Zusammensetzung der Eiskeime in der Luft messen können. Es gibt nur eine direkte Methode herauszufinden, welche Partikel aus der Vielzahl atmosphärischer Aerosolpartikel in der Lage sind, in der Atmosphäre als Eiskeim zu wirken. Sie besteht darin, diese Partikel den entsprechenden Bedingungen in der Wolke auszusetzen. Dazu unterkühlt man sie wie in der Wolke unter den Gefrierpunkt von Wasser und setzt sie einer mit Wasserdampf übersättigten Umgebung aus. (Die Übersättigung bezieht sich auf den Dampfdruck über Eis.) Unter diesen Bedingungen wird nun beobachtet, an welchen der Partikel das Eis wächst.

Je nach gegebener Aufgabenstellung haben wir zwei unterschiedliche Verfahren eingesetzt, um die Eiskeime zu zählen. Für zeitlich hochaufgelöste Messungen konstruierten wir den schnellen Eiskeimzähler FINCH. Wir leiten vor Ort eine atmosphärische Probe in einen Strömungsreaktor, in dem die entsprechende Unterkühlung und Wasserübersättigung eingestellt sind. Die sich entwickelnden Eiskristalle werden direkt und in der Luft schwebend mit einer Spezialoptik von den unterkühlten Tröpfchen unterschieden und gezählt.<sup>/2/</sup> Diese schnelle Messmethode wird beispielsweise auf dem neuen Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) im kommenden Jahr erstmals zum Einsatz kommen. Für die Messung der mittleren Eiskeimkonzentration der Luft reichern wir dagegen eine Probe des atmosphärischen Aerosols auf einem Probenträger an und analysieren diesen danach im Eiskeimzähler FRIDGE im Labor.<sup>/2/</sup>

**FRIDGE zählt Eiskeime**

In den Computermodellen der Wetterdienste zur Vorhersage von Niederschlägen verwendet man in Ermangelung aktueller Eiskeim-Daten bisher die »globale mittlere« Eiskeimkonzentration, um den Zeitpunkt



Am Observatorium auf dem Kleinen Feldberg im Taunus haben wir in einer Zeitreihen-Messung Luftmassen beprobt und auf Eiskeime untersucht. Die elektronenmikroskopische Analyse individueller Eiskeime erlaubt die Rekonstruktion der Haupt-Transportwege von Mineralstaub, der bis zu 3000 Kilometer aus der Sahara bis zur Messstation zurückgelegt hat. Die roten Zahlen geben die mittleren Eiskeimkonzentrationen der beprobten Luftmassen an. Die orangenen Zahlen geben die Anzahl der untersuchten Fälle an.<sup>/3/</sup>

zu ermitteln, an dem die niederschlagsentscheidende Eisphase einsetzt. Wir wollten wissen, ob sich die Vorhersagen verbessern lassen, wenn man stattdessen die situationspezifische »wahre« Eiskeimkonzentrationen einsetzt. Dazu haben wir mit unseren Projektpartnern zunächst für einige Monate eine Zeitreihe der Eiskeimkonzentrationen für die Luftmassen Mitteleuropas und des Nahen Ostens gemessen. Die Messstellen waren

**Literaturangaben**

<sup>/1/</sup> Möhler, O., DeMott, P.J., Vali, G, and Levin, Z. *Microbiology and atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics Biogeosciences*: 4, 1059–1071, 2007.

<sup>/2/</sup> Bundke, U., B. Nillius, R. Jaenicke, T.Wetter, H. Klein, and H. Bingemer: *The Fast Ice Nucleus Chamber FINCH*, Atmos. Res., in press.

<sup>/3/</sup> Klein, H., et al. poster presented at *International Conference on Clouds and Precipitation*, Cancun, Mexico, 2008.

<sup>/4/</sup> Mertes, S., Verheggen, B., Walter, S., Conolly, P., Ebert, M., Schneider, J., Bower, K.N., Cozic, J., Weinbruch, S., Baltensperger, U. and Weingartner, E. *Counterflow virtual impactor based collection of small ice particles in mixed-phase clouds for the physico-chemical characterization of tropospheric ice nuclei: Sampler description and first case study* *Aerosol Science and Technology*, 41, 848–864, 2007.

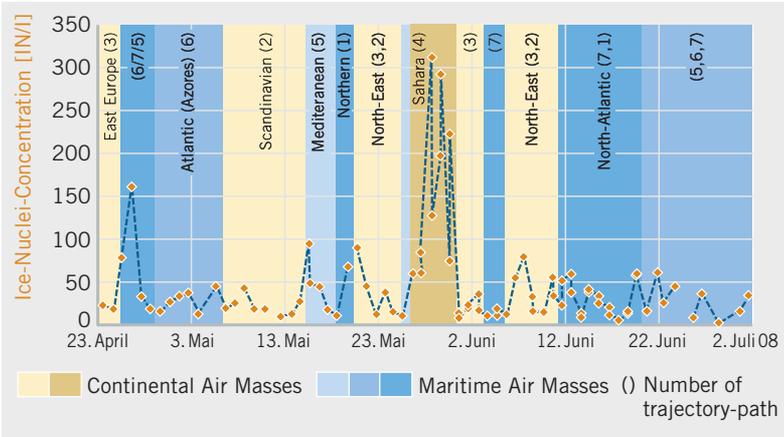
<sup>/5/</sup> Kamphus, M., M. Ettner-Mahl, M. Brands, J. Curtius, F. Drewnick and S.

Borrmann, *Comparison of Two Aerodynamic Lenses as an Inlet for a Single Particle Laser Ablation Mass Spectrometer* *Aerosol Science and Technology*, 42, 970–980.

<sup>/6/</sup> Kamphus, M., M. Ettner-Mahl, F. Drewnick, S. Borrmann, L. Keller, D.J. Cziczo, S. Mertes and J. Curtius *Chemical composition of ambient aerosol, ice nuclei, cloud condensation nuclei of supercooled drops in mixed-phase clouds: The Cloud and Aerosol Characterization Experiment (CLACE 6) at the Jungfraujoch Alpine Station* submitted to *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 2008b.

Allgemein: Cantrell, W. and Heymsfield, A. *Production of ice in tropospheric clouds* *Bull. Am. Met. Soc.*, 86, 795–807, 2005.

Pruppacher, H.R., and Klett, J.D. *Microphysics of Clouds and Precipitation* 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, 2000.



4 Zeitreihe der Konzentration von Eiskeimen in der Luft am Taunus Observatorium. Auffällig ist die Saharastaub-Episode vom 28. bis 30. Mai 2008, die zu einer zehnfach erhöhten Konzentration der Eiskeime führte.<sup>131</sup>

am Taunus Observatorium der Universität Frankfurt und an der Universität Tel Aviv. Die Projektpartner an den Universitäten Mainz und Tel Aviv haben dann mit numerischen Modellen untersucht, welchen Einfluss die beobachtete Variabilität der Eiskeime auf die Wolken- und Niederschlagsentwicklung hat.

Zur Bestimmung der Eiskeimkonzentration in FRIDGE (**FR**ankfurt Ice nuclei **DE**position freezin**G** Experiment) entnehmen wir der Atmosphäre eine repräsentative Aerosolprobe. Dazu werden die Aerosolpartikel eines Luftprobenstroms in einem neu entwickelten elektrostatischen Aerosolabscheider elektrisch geladen und auf einem Silizium-Probenträger deponiert. Dieser Probenträger wird danach im Eiskeimzähler FRIDGE Unterkühlung und Wasserdampfübersättigung ausgesetzt. Nachdem die Eiskeime in der Probe »aktiviert« worden sind, entstehen Eiskristalle, die mit einer CCD-Kamera abgebildet und automatisch gezählt werden. Da die Koordinaten der einzelnen Eiskristalle auf dem

Siliziumträger durch die Abbildung bestimmt sind, können auch ihre chemischen und morphologischen Eigenschaften individuell elektronenmikroskopisch untersucht werden. Dies geschieht in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Umweltmineralogie der Technischen Universität Darmstadt mit einem Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM). Hieraus ergeben sich Hinweise auf die Natur und Herkunft der Eiskeime.

#### Woher kommen die Eiskeime?

Die Zeitreihe unserer bisherigen Messungen mit dem neu entwickelten System am Observatorium auf dem Kleinen Feldberg im Taunus weist beispielsweise als markantes Ereignis eine Saharastaub-Episode vom 28. bis 30. Mai 2008 auf, während der die Spitzenwerte der Eiskeimkonzentration etwa zehnfach überhöht sind.<sup>131</sup> 4 Die meteorologische Analyse und die elektronenmikroskopische Analyse individueller Eiskeime belegen den Transport von Mineralstaub aus der zentralen Sahara (Algerien/Libyen) über zirka 3000 Kilometer. 5 Da wir die Probenahme im Feld und die nachfolgende Probenanalyse im Labor trennen, können wir auch relativ unzugängliche Orte beproben. So werden wir in diesem Winter Proben analysieren, die amerikanische Kollegen von einem Fesselballon aus am Südpol sammeln werden.

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs »TROPPEIS« und in Kooperation mit der Universität Manchester, der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich und dem schweizerischen Paul-Scherrer-Institut haben wir auch zwei größere Messkampagnen auf der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch durchgeführt. 6 Die Messstation befindet sich in 3580 Metern Höhe auf dem Bergsattel zwischen den Gipfeln von Jungfrau und Mönch. Die Station ist im Winter häufig in Wolken gehüllt, bei Temperaturen von  $-15$  bis  $-20$  °C. Dort können wir also direkte Messungen in Mischphasenwolken vornehmen. 7

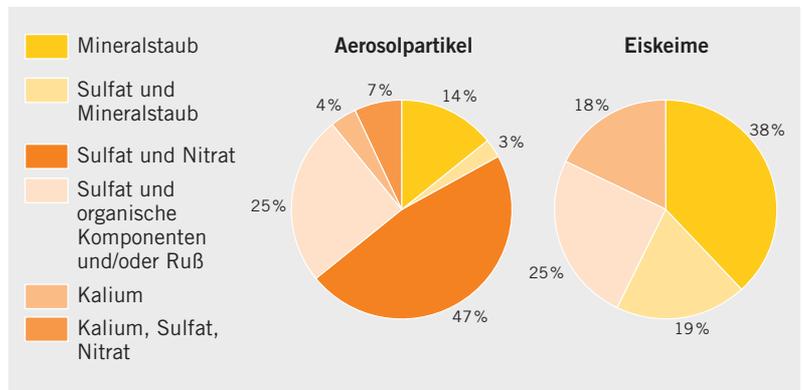


6 Die Forschungsstation Jungfrauoch in 3580 Metern Höhe bietet Gelegenheit, Eispartikel direkt in den Wolken zu untersuchen. In einem hochempfindlichen Partikel-Massenspektrometer können wir die chemische Zusammensetzung der Eiskeime analysieren. Da die Forschungsstation nicht immer von Wolken umgeben ist und die Eiskeime zudem selten und sehr klein sind, kommen in einer Messzeit von vier Wochen nur etwa 350 Eiskeime zusammen.



7 Eine Probenahme von Eispartikeln in den Wolken auf der Forschungsstation Jungfrauoch ist eine frostige Angelegenheit. Sie geschieht glücklicherweise im Regelfall automatisch.

Die Grafik zeigt die Häufigkeit, mit der Hintergrundaerosolpartikel und Eiskeime von den gezeigten chemischen Komponenten dominiert werden. Die Daten entstammen der massenspektrometrischen Analyse von etwa 10000 Hintergrundpartikeln und etwa 350 Eiskeimen, die am Jungfraujoch im Februar und März 2007 gemessen wurden. Bei den Hintergrundpartikeln sind Sulfate, Nitrate und organische Verbindungen die häufigsten Aerosolkomponenten. Bei den Eiskeimen ist der Anteil von Partikeln, die hauptsächlich aus Mineralstaubkomponenten bestehen, stark überhöht. Stark kaliumhaltige Partikel, die mineralischen Ursprungs sein können oder aus Biomassenverbrennung stammen, treten ebenfalls als Eiskeime überproportional häufig auf. In vielen Eiskeimen wurden auch Anteile von Schwermetallen gefunden, relativ unabhängig davon, was die dominierende chemische Komponente ist.<sup>16/</sup>



Um die Eiskeime analysieren zu können, müssen sie zunächst von allen anderen Partikeln abgetrennt werden: Mithilfe eines speziellen Einlasssystems werden in einem mehrstufigen Verfahren nur die kleinen, frisch gebildeten Eispartikel in einem trockenen und warmen Luftstrom zu den Messgeräten geleitet, während die übrigen Aerosolpartikel, die unterkühlten flüssigen Wolkentröpfchen und die bereits bereiften Eispartikel sehr effizient von den frisch gebildeten Eispartikeln abgetrennt werden.<sup>14/</sup> Die Eispartikel verdampfen in der warmen Luft auf dem Weg zum Messinstrument. Übrig bleibt nur der ursprüngliche Eiskeim, der eine Größe von weniger als ein Mikrometer besitzt. Dieser wird dann vor Ort in einem hochempfindlichen Partikel-Massenspektrometer auf seine chemische Zusammensetzung hin analysiert.<sup>15/</sup> Da die Eiskeime so selten und so klein sind und die Forschungsstation nicht immer von Wolken umgeben ist, waren etwa vier Wochen Messzeit auf der Forschungsstation Jungfraujoch nötig, um 350 einzelne Eiskeime zu analysieren.

**Beeinflusst der Mensch die Wolkenbildung?**

Die Messungen zeigen, dass vor allem natürliche Mineralstaubpartikel atmosphärische Eiskeime bilden. Elemente wie Silizium, Kalzium, Aluminium und deren Oxide finden sich besonders häufig in den Eiskeimen. Sie bilden die bestimmende Fraktion der Eiskeime, während sie nur einen kleinen Teil des Hintergrundaerosols ausmachen. Wir fanden aber auch Hinweise auf Partikel, die aus anthropogenen Quellen stammen und die zum Beispiel Schwermetalle enthalten, mit erhöhter Häufigkeit in den Eiskeimen. Weiterhin wurde eine Gruppe stark kaliumhaltiger Partikel identifiziert, die entweder mineralischen Ursprungs sind oder aus der Verbrennung von Biomasse stammen.<sup>16/</sup>

Als Nächstes wollen wir untersuchen, ob Eiskeime, die durch den Menschen verursacht in die Atmosphäre gelangen, tatsächlich die Eigenschaften der Wolken verändern und so den Niederschlag und das Klima beeinflussen. Dies ist sowohl auf der regionalen als auch auf der globalen Skala von großem Interesse. Auf der regionalen Skala könnte dies einen Einfluss auf den Niederschlag im Abwind von Ballungsräumen und Industriegebieten haben. Auf der globalen Skala können schon kleine Veränderungen der mittleren Eiskeimkonzentrationen und ihrer Eigenschaften zu signifikanten Änderungen der Strahlungseigenschaften und der Lebensdauern der Wolken führen. Und das hätte einen direkten Einfluss auf das Erdklima. ♦

Die Autoren



**Prof. Dr. Joachim Curtius**, 39, ist Professor für Experimentelle Atmosphärenforschung am Institut für Atmosphäre und Umwelt der Goethe-Universität. Er studierte Physik in Heidelberg und promovierte dort. Nach einem zweijährigen Post-Doc bei der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in Boulder, CO, USA, arbeitete er als

wissenschaftlicher Assistent am Institut für Atmosphärenphysik der Universität Mainz, bevor er 2007 an die Goethe-Universität berufen wurde. Er befasst sich mit der Charakterisierung von Partikeln in der Atmosphäre und mit Nukleationsprozessen, insbesondere der Neubildung von Aerosolpartikeln und der Entstehung von Eis. Hierbei kommen massenspektrometrische und optische Methoden zum Einsatz. Curtius leitete ein Teilprojekt des Sonderforschungsbereichs »Die Troposphärische Eispfase« und koordinierte die Messkampagnen an der Forschungsstation Jungfraujoch. Zu den Arbeiten haben insbesondere beigetragen: Prof. Stephan Borrmann, Dr. Ulrich Bundke, Dr. Michael Kamphus, Diplom-Meteorologe Holger Klein, Dr. Stephan Mertes, Diplom-Meteorologe Björn Nillius, Prof. Ulrich Schmidt und Prof. Stephan Weinbruch. Unterstützt wurde das Projekt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie der Stiftung Hochalpine Forschungsstation Jungfraujoch und Gernergrat (HFSJG). Curtius ist Koordinator des 2008 angelaufenen EU-Doktorandennetzwerks »CLOUD-ITN«, in dem der mögliche Einfluss von kosmischer Strahlung auf die Aerosol- und Wolkenbildung in einem Experiment am CERN untersucht wird.

**Dr. Heinz Bingemer**, 56, ist akademischer Oberrat am Institut für Atmosphäre und Umwelt. Er leitet das Taunus Observatorium der Universität auf dem Kleinen Feldberg im Taunus und ist wissenschaftlicher Sekretär des SFB 641, in dem er zwei Teilprojekte hat. Er studierte Meteorologie an der Universität Frankfurt und promovierte dort. Von 1984 bis 1990 forschte er als Stipendiat der MPG und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, seit 1990 an der Universität Frankfurt. Neben den Arbeiten zum atmosphärischen Aerosol gehören vor allem experimentelle Feldstudien zum Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean sowie Atmosphäre und terrestrischer Biosphäre zu seinem Forschungsschwerpunkt.



Curtius@iau.uni-frankfurt.de  
 bingemer@iau.uni-frankfurt.de  
<http://www.sfb641.uni-frankfurt.de/index.html>