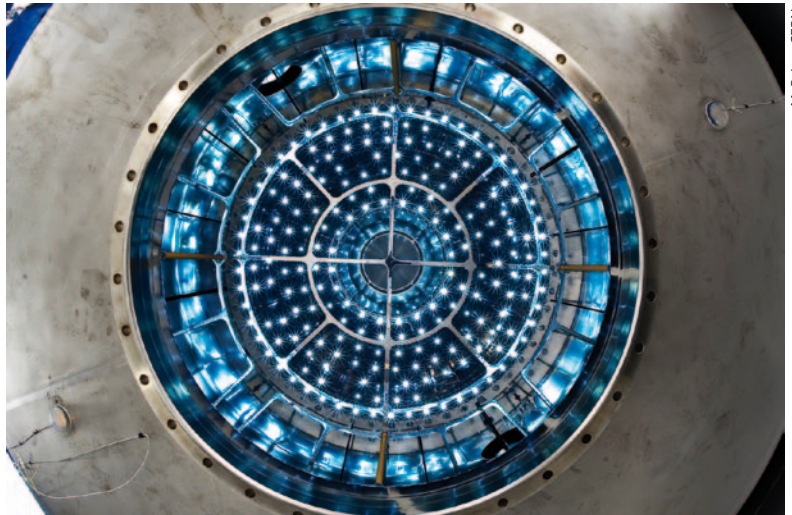


■ Beeinflussen kosmische Strahlen das Klima?

Neue Laborexperimente am CERN untersuchen die Rolle der ionisierenden Strahlung bei der Aerosol-Nukleation.

Ob die kosmische Strahlung das Erdklima beeinflusst, wird seit über fünf Jahrzehnten kontrovers diskutiert [1]. Dieser Disput erhielt vor rund zehn Jahren durch die Arbeiten von Henrik Svensmark neue Nahrung. Er beschrieb eine Korrelation zwischen der Intensität der Höhenstrahlung und der Häufigkeit niedriger Wolken [2], die bis heute allerdings umstritten ist [3]. Eine mögliche Korrelation könnte durch Prozesse verursacht werden, bei denen die ionisierende Strahlung entweder die Nukleation und das Wachstum von Aerosolpartikeln begünstigt, die später als Wolkenkondensationskeime wirken („clear-air mechanism“), oder indem die von ihr ausgelöste Ionisierung Wolkenprozesse wie das Gefrieren von Wolkentröpfchen beeinflusst („near-cloud mechanism“) [4]. Auch wenn ein direkter Nachweis dieser Zusammenhänge bis heute aussteht, dienen sie doch als Argumente für so genannte Klimaskeptiker, die solare und kosmische Einflüsse auf das Erdklima als wichtigen Antrieb der jüngsten Erderwärmung sehen.

Führende europäische Aerosolforscher begründeten 2000 am CERN das CLOUD-Experiment (Cosmics Leaving Outdoor Droplets), um einem möglichen Zusammenhang zwischen ionisierender Strahlung und Aerosol- und Wolkenprozessen auf den Grund zu gehen.^{+) CLOUD verbindet eine hochentwickelte Aerosol- und Wolkammer mit einem aufgeweiteten Pionenstrahl, der es erlaubt, die Rate der atmosphärischen Ionisation zu kontrollieren. Die relative Konzentration von Verunreinigungen in der Edelstahlkammer beträgt nur einige 10^{-11} und zeichnet CLOUD vor anderen vergleichbaren Experimenten aus. Die Kammer ist mit Elektroden ausgestattet, mit denen sich die durch den Pionenstrahl oder die natürliche Höhenstrahlung erzeugten Ionen entfernen lassen, wenn es die}



M. Brice, CERN

Die 26 Kubikmeter große atmosphärische Simulationskammer des CLOUD-Experiments am CERN ermöglicht Experimente über einen Temperaturbereich

von -90 °C bis Raumtemperatur und bei einer präzise kontrollierbaren Zusammensetzung der Atmosphäre.

untersuchten Fragestellungen erfordern. Ventilatoren sorgen für eine homogene Durchmischung. Moderne Kondensationspartikelzähler und Mobilitätsanalytoren für Nanopartikel erlauben es, die Größenverteilung der Partikelphase in der Kammer bis hinunter zu etwa einem Nanometer Durchmesser zu bestimmen. Ein hochentwickeltes Massenspektrometer mit Atmosphärendruckionisation misst die Größe und Zusammensetzung von noch kleineren Partikeln und Clustern während ihres Wachstums.

Keime, Kondensation und Klima

Die kürzlich veröffentlichte und viel beachtete Arbeit über die Ergebnisse der ersten Messphase befasst sich mit der Rolle der kosmischen Strahlung für die Neubildung von atmosphärischen Aerosolen durch homogene Nukleation, also im obigen Sinne mit dem „clear-air-mechanism“ [5]. Bei der atmosphärischen Nukleation entstehen neue, wenige Nanometer große Partikel durch die homogene Kondensation von schwer flüchtigen Vorläufersubstanzen. Die wichtigste dieser Substanzen ist die

Schwefelsäure, deren Nukleation bimolekular gemeinsam mit Wassermolekülen abläuft. Eben diesen Prozess hat das CLOUD-Konsortium nun unter hochreinen Bedingungen auf seine Abhängigkeit von der Ionenkonzentration untersucht. Dabei ließ sich die Nukleationsrate genau messen und Molekül für Molekül beobachten, wie die kleinsten stabilen Keime entstehen und wachsen.

Die ersten Messergebnisse zeigen, dass die ionisierende Strahlung bei niedrigen Temperaturen, wie sie in der mittleren Troposphäre auftreten, einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Nukleation ausübt. Je nach Temperatur und Ionenkonzentration erhöht sich die ionenbedingte Nukleationsrate um einen Faktor zwei bis zehn. Die Nukleation hängt jedoch stark von der Schwefelsäure- und Wasserkonzentration sowie von der Temperatur ab, sodass die durch die Ionen verursachte Erhöhung der Nukleationsrate auch durch die Verdopplung der Konzentration oder durch eine Abkühlung um ein bis zwei Grad zu erreichen wäre.

Beachtenswert ist beim CLOUD-Experiment auch der Befund, dass sich bei troposphärisch relevanten

^{+) Mehr zum Experiment findet sich auf <http://cloud.web.cern.ch/cloud/>.}

Temperaturen in der Partikelphase selbst unter saubersten experimentell zugänglichen Bedingungen eine große Menge basischer, stickstoffhaltiger Moleküle wie Ammoniak und Amine findet: Diese Moleküle kondensierten nahezu im Verhältnis von 1:1 mit der Schwefelsäure. Diese Beobachtung, die Experimente mit absichtlich zugesetztem Ammoniak bestätigt haben, liefert einen wichtigen Hinweis, warum die in der realen Atmosphäre gemessenen Raten der Partikel-nukleation häufig um viele Größenordnungen höher sind als in Laborresultaten und in den Ergebnissen von Modellrechnungen. Allerdings liegen die neuen CERN-Ergebnisse auch unter Berücksichtigung der natürlichen Ammoniak-Konzentration noch deutlich unterhalb der in der Natur beobachtbaren Nukleationsraten. Die CLOUD-Wissenschaftler folgern daraus, dass noch andere Substanzen, wahrscheinlich organische Gase, an der Nukleation maßgeblich beteiligt sind.

Während die Ergebnisse helfen, die Grundlagen der Partikelneubildung besser zu verstehen, dürften

sie für die Diskussion über einen Einfluss der galaktischen Strahlung auf Wolken und Klima weniger bedeutsam sein. Denn von der Nukleation eines frisch gebildeten atmosphärischen Nanopartikels zu einem viele Größenordnungen schwereren Wolkenkondensationskeim ist es ein weiter Weg über viele Prozessschritte. Insbesondere wachsen in der realen Atmosphäre neue Partikel im Allgemeinen nicht durch Kondensation auf die Größe von Wolkenkeimen an, sondern sie koagulieren mit zahlreich vorhandenen größeren Partikeln, die ihrerseits dadurch nur geringfügig größer werden. Eine kürzlich erschienene Modellstudie dieser Prozesse kommt zu dem Schluss, dass selbst eine wesentlich stärkere als die hier gefundene Abhängigkeit der atmosphärischen Partikelbildung von der Ionenkonzentration keinen nennenswerten Einfluss auf die Wolkenbedeckung und das Klima haben würde [6].

Die CLOUD-Experimente zeigen eindrucksvoll, dass heute eine quantitative molekulare Aufklärung der Nukleationsvorgänge in

der Atmosphäre möglich ist. Von weiteren Experimenten zur Partikelneubildung unter erweiterten atmosphärischen Bedingungen sind wichtige Erkenntnisse bezüglich der Abhängigkeit der Nukleation von organischen Spurenstoffen und der Luftfeuchte zu erwarten. Mit großer Spannung werden auch die in der Kammer möglichen und geplanten Experimente zur direkten Wechselwirkung von ionisierender Strahlung und elektrischen Feldern mit Wolkenröpfchen und Eispartikeln erwartet. Von übereilten Schlussfolgerungen in Bezug auf das Erdklima sollten wir jedoch absehen.

Thomas Leisner und Thomas Peter

Prof. Dr. Thomas Leisner, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, KIT und Institut für Umweltphysik der Univ. Heidelberg, Prof. Dr. Thomas Peter, Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich

- [1] E. P. Ney, *Nature* **183**, 415 (1959)
- [2] N. Marsh und H. Svensmark, *Phys. Rev. Lett.* **85**, 5004 (2000)
- [3] L. J. Gray et al., *Reviews of Geophysics* **48**, RG4001, (2010)
- [4] K. S. Carslaw, R. G. Harrison und J. Kirkby, *Science* **298**, 1732, (2002)
- [5] J. Kirkby et al., *Nature* **476**, 429, (2011)
- [6] J. R. Pierce und P. J. Adams, *Geophys. Res. Lett.* **36**, L09820 (2009)

ERSTER BLICK INS UNSICHTBARE

Das ALMA-Teleskop (Atacama Millimeter/submillimeter Array) im Hochland der chilenischen Anden hat mit dem ersten veröffentlichten Bild der „Antennengalaxien“ eine beeindruckende Probe seiner Leistungsfähigkeit geliefert (vgl. S. 10). Dabei handelt es sich um ein Galaxienpaar, dessen Form durch die Kollision stark verzerrt wurde. Der Aufnahme des Hubble-Weltraumteleskops ist das ALMA-Bild überlagert. Während uns das sichtbare Licht die Sterne in den Galaxien zeigt, macht ALMA auch die Wolken aus kaltem, dichtem Gas sichtbar (gelb, rot bis violett), aus denen neue Sterne entstehen können. Erst im Millimeter- und Submillimeterbereich lassen sich etwa Kohlenmonoxidmoleküle in den ansonsten unsichtbaren sternbildenden Wasserstoffwolken entdecken. Die massereichen Ansammlungen von Gas finden sich nicht nur in den Zentren der beiden Galaxien, sondern auch in der chaotischen Zone, die direkt von der Kollision betroffen ist. Das dortige Gas hat eine Masse von mehreren Milliarden Sonnenmassen – ein reicher Vorrat an Rohmaterial für die Entstehung zukünftiger Sternengenerationen. (ESO/AP)



+) Online lässt sich die ALMA-Aufnahme stufenlos dem Hubble-Foto überlagern: www.eso.org/public/outreach/eso1137n.html.