



Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon beim Start vom Grantly-Adams International Airport in Barbados am 20. Juni 2013. Beim ersten lokalen Staubmessflug in der Karibik erschien der Himmel wegen der hohen Staubbilastung in der Barbados-Region nicht blau, sondern grau.

Was macht der Saharastaub in der Luft?

Tausende von Kilometern kann Wüstenstaub transportiert werden und nicht selten erstrecken sich vier bis fünf Kilometer dicke Wüstenstaubschichten von Afrika bis in die Karibik. Wie sich der Wüstenstaub auf seinem langen Weg durch die Atmosphäre verändert, wie er die Wolkenbildung beeinflusst und wie sich absorbierende Aerosole wie Wüstenstaub auf Wetter und Klima auswirken, ist bislang unklar. Zur Rolle von Wüstenstaub im Klimasystem startete im Frühsommer 2013 das Projekt SALTRACE (Saharan Aerosol Long-range Transport and Aerosol-Cloud-Interaction Experiment).

Das SALTRACE-Projekt untersucht, wie Mineralstaub auf Atmosphäre und Klima wirkt

Von Professor Dr. Bernadett Weinzierl

Fünf Milliarden Tonnen Aerosolpartikel – so schätzen Atmosphärenwissenschaftler – gelangen jährlich durch natürliche oder vom Menschen verursachte Prozesse in die Atmosphäre. Die Hälfte davon ist Wüstenstaub. Mit neun Millionen Quadratkilometern – das entspricht etwa vier Fünfteln der Fläche Europas – ist die Sahara weltweit die mit Abstand größte Quelle für Wüstenstaub. Staub aus der Sahara wird regelmäßig aus Afrika nach Westen über den Atlantik in die Karibik oder nach Norden in die Mittelmeerregion und im Durchschnitt einmal pro Monat nach Deutschland transportiert.

Staubpartikel sind ein wichtiger Faktor im globalen Wettersystem. Sie beeinflussen den Energiehaushalt der Erde direkt durch Absorption, Streuung und Emission von Strahlung und indirekt, da sie die Bildung, Eigenschaften und Lebensdauer von Wolken verändern können. Staubpartikel streuen einerseits einen Teil des Sonnenlichts in den Weltraum zurück, was am Boden eine Abkühlung bewirkt, andererseits absorbieren Staubpartikel das Sonnenlicht und erwärmen dabei höhere Luftschichten, was auch Konsequenzen für das Wetter haben kann. Saharastaub wirkt als Dünger für den Lebensraum Ozean und beeinflusst die Aufnahme von Kohlendioxid in den Ozean. Wissenschaftliche Daten deuten darauf hin, dass Saharastaub die Bildung und Entwicklung von Hurrikans dämpft. Doch die verantwortlichen Prozesse sind noch unklar. Wichtig zum Verständnis der Wechselwirkung von Mineralstaub mit anderen Komponenten der Atmosphäre und dem Strahlungstransport sind die Größenverteilung der Staubpartikel und deren Veränderung während des Transports.

Der im September 2013 veröffentlichte Bericht des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) zeigt, dass der durch Aerosole und Wolken hervorgerufene Strahlungsantrieb immer noch die größte Unsicherheit bei den derzeitigen Klimaprognosen darstellt. Der Klimawandel kann die Emission und Konzentration von Aerosolpartikeln in der Atmosphäre signifikant beeinflussen. Derzeit ist allerdings unklar, ob in einem wärmeren Klima die Emissionen von Mineralstaub zu- oder abnehmen würden.

SALTRACE baut auf den Ergebnissen des Projekts SAMUM (Saharan Mineral Dust Experiment) auf. Eine von der Deutschen

Forschungsgemeinschaft finanzierte Wissenschaftlergruppe hatte sich von 2004 bis 2011 mit den Eigenschaften von frischem Saharastaub sowie der Mischung von Saharastaub mit Verbrennungsaerosol aus natürlichen und anthropogenen, also vom Menschen verursachten, Quellen beschäftigt. Dazu führte sie zwei Feldexperimente in Marokko und auf den Kapverdischen Inseln durch. Im Projekt SALTRACE werden nun als neue Aspekte Staub-Wolken-Wechselwirkungen und die Deposition von Saharastaub im Ozean in die Untersuchungen einbezogen.

Für SALTRACE war das Forschungsflugzeug Falcon nach einem Zwischenstopp in Portugal zwischen dem 10. und 17. Juni 2013 auf den Kapverden stationiert, um die Eigenschaften von Saharastaub vor dem Ferntransport auf der Ostseite des Atlantiks, nahe der Quellregion, zu vermessen. Nach einem Transfer über Brasilien wechselte ab dem 19. Juni 2013 der Einsatzort der Falcon für knapp vier Wochen nach Barbados, um von dort aus die Eigenschaften des gealterten Saharastaubs in der Karibik zu untersuchen.

Zur Messung von Saharastaub statten die Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre die Falcon umfangreich mit Instrumenten aus: Aerosol-Messinstrumente konnten Partikelgrößen von vier Nanometern (10^{-9} m) bis 100 Mikrometern (10^{-6} m) in-situ, also direkt in der Staubschicht, messen. Für

SALTRACE

Gegenstand des Projekts ist die Untersuchung des Ferntransports von Saharastaub über den Atlantik in die Karibik, die Erforschung von Prozessen, die den Staub während seiner Lebenszeit verändern und die Analyse von Wechselwirkungen zwischen gealtertem Staub, Wolkenprozessen und der Strahlungsenergiebilanz der Erde. SALTRACE erlaubt es nicht nur, die Wirkungen von Mineralstaub auf die Atmosphäre und das Klima besser zu verstehen. Mit den Daten aus dem Projekt werden auch neue Methoden zur satellitenbasierten Erkennung von Vulkanasche in der Atmosphäre getestet.

SALTRACE: Eine deutsche Initiative, weltweit vernetzt

SALTRACE ist eine Initiative des DLR und des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung (TROPOS) in Leipzig, die außerdem Wissenschaftler folgender Einrichtungen zusammenbringt: Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, Technische Universität Darmstadt (TU-D), Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg, University of Valladolid in Spanien, Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology Barbados, University of Miami, University of Puerto Rico, Laboratoire Interuniversitaire Atmosphériques (LISA) Paris. Auch die NASA ist als Kooperationspartner beteiligt und stellte innerhalb von drei Stunden nach dem Überflug des Erdbeobachtungssatelliten CALIPSO dessen Daten zur Verfügung.



Saharastaub, der mit dem Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen wurde, am 19. Februar 2014 auf einem Auto in München



Messcontainer des Leibniz-Instituts für Troposphärenforschung an der Bodenlidarstation in Barbados



Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon war für die Messungen im Projekt SALTRACE mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet worden

die Erfassung der Supermikrometerpartikel wurde das neu für Flugzeugmessungen zugelassene Aerosol- und Wolkenspektrometer CAS-DPOL eingesetzt. Außerdem konnten die Wissenschaftler die chemische Zusammensetzung, Form und Flüchtigkeit, die Absorptionseigenschaften der Partikel sowie die Anzahl der Wolkenkondensationskeime bestimmen. Darüber hinaus war ein 2-Mikrometer-Doppler-Windlidar zur Messung der vertikalen und horizontalen Windgeschwindigkeit sowie der vertikalen Ausdehnung der Staubschichten an Bord der Falcon installiert. Zudem wurde eine Reihe meteorologischer Parameter erhoben. Neben den Flugzeugmessungen führten verschiedene Gruppen und Projektpartner bodengebundene Lidar- und In-situ-Messungen auf Barbados, auf den Kapverden und in Puerto Rico durch.

Während der insgesamt 31 Messflüge hat die Falcon, ergänzt durch Boden- und Satellitenmessungen, fünf großräumige Staubausrüche vom Senegal über die Kapverden in die Karibik bis nach Florida vermessen. Weltweit war es erstmals möglich, eine Staubschicht zwischen den Kapverden und der Karibik mit dem Flugzeug in einem sogenannten Lagrange-Experiment zu verfolgen. Bei einem solchen Experiment beobachten Forscher eine Luftmasse über einen Zeitraum von mehreren Tagen. So können sie den Lebenszyklus und die Alterungsprozesse von Aerosolschichten einschließlich Wolkenbildung und Veränderung von Aerosolpartikeln durch Wolkenprozessierung in Abhängigkeit vom großräumigen meteorologischen Geschehen studieren. Neben Experimenten, bei denen die Wüstenstaubeigenschaften untersucht wurden, haben die Forscher auch Emissionen des Soufriere Hills Vulkans in der Karibik und ihre Vermischung mit Saharastaub vermessen. Gegen Ende der Kampagne entwickelte sich ein tropischer Sturm über dem Atlantik und beeinflusste die

zu diesem Zeitpunkt vorhandene Staubschicht deutlich. Das ermöglichte die modellbasierte Untersuchung von Staub-Hurrikan-Wechselwirkungen, zu denen die gemessenen Daten wichtige Informationen lieferten. Auf dem Rückflug von Barbados über Nordamerika, Grönland, Island und Schottland konnten außerdem noch Aerosolschichten aus zahlreichen Waldbränden in Nordamerika beobachtet werden.

Auf der Ostseite des Atlantiks war in der Kapverden-Region der Staub in Höhen von sechs bis sieben Kilometern als homogene Schicht zu erkennen. Im Gegensatz dazu war in der Karibik eine Dreischichtstruktur sichtbar: Der gealterte Staub in einer Höhe von 2,5 bis 4,5 Kilometern zeigte ähnliche Eigenschaften wie der Staub in der Kapverden-Region. Im Höhenbereich zwischen einem und 2,5 Kilometern fanden die Wissenschaftler Staub, der durch Wolkenprozessierung verändert war. So waren die Staubpartikel „runder“ und ließen sich leichter zu Wolkentröpfchen aktivieren. Diese Veränderungen des Mineralstaubs beeinflussen seine Strahlungswirkung. Unterhalb von einem Kilometer war der Staub mit Grenzschicht- und marinem Aerosol vermischt. In der Karibik konnten die Wissenschaftler immer noch zehn bis zwanzig Mikrometer große Partikel nachweisen. Nach der gängigen Theorie hätten diese Partikel nach dem mehrtägigen Transport über den Atlantik eigentlich schon längst sedimentiert sein müssen und somit nicht mehr in der Atmosphäre vorhanden sein dürfen. Im Rahmen von SALTRACE werden jetzt verschiedene Mechanismen untersucht, die das Vorhandensein dieser für die Strahlungsbilanz wichtigen großen Staubpartikel erklären. Die genaue Kenntnis der Verweildauer von großen Partikeln in der Atmosphäre und das Verständnis von Prozessen, die zu längeren Lebenszeiten dieser Partikel führen, ist auch für die Flugzeugindustrie von

Interesse: Rund achtzig bis neunzig Prozent der nach einem Vulkanausbruch in der Atmosphäre vorhandenen Vulkanaschemassenkonzentration wird durch Partikel verursacht, die größer als ein Mikrometer sind. Will man die potenzielle Gefährdung des Luftverkehrs durch Vulkanasche mit Modellen korrekt vorher-sagen, ist es unter anderem wichtig, die Verweildauer dieser großen Partikel in der Atmosphäre genau zu kennen.

Im Ergebnis von SALTRACE liegt nun ein umfassender Datensatz vor, mit dem der Transport und die Modifikation von Saharastaub während seines atmosphärischen Lebenszyklus sowie seine Klimawirkung genauer als bisher berechnet werden können. SALTRACE war ganz gezielt auf die offenen Fragen zur Staub-Wolken-Strahlungswechselwirkung und Aerosolalterung ausgerichtet worden. Die Daten können nun für zahlreiche Untersuchungen herangezogen werden und sind Grundlage für neue Erkenntnisse zu Staub-Wolken-Strahlungswechselwirkungen. Außerdem erlauben die SALTRACE-Daten Rückschlüsse darauf, was ein Weltraumlidar – wie es auf dem europäisch-japanischen Satelliten EarthCARE geplant ist – „sehen“ würde, und sie helfen bei Entwicklung und Test von Auswerteverfahren. ●

Autorin

Prof. Dr. Bernadett Weinzierl ist am DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in Oberpfaffenhofen tätig. Sie leitete die internationale Flugzeugmesskampagne SALTRACE.



Weitere Informationen:
<http://www.pa.op.DLR.de/saltrace/>

Strahlungshaushalt und Strahlungsantrieb

Die Differenz zwischen den Strahlungsflüssen, die das System Erde-Atmosphäre in Form von kurzwelliger Strahlung von der Sonne empfängt und in Form von langwelliger Strahlung wieder in den Weltraum abgibt, wird als Strahlungshaushalt bezeichnet. Wird genauso viel Energie in den Weltraum abgestrahlt wie von der Sonne empfangen wird, ist die Strahlungsbilanz null und der Strahlungshaushalt ausgeglichen. Der Strahlungsantrieb ist ein Maß für die Veränderung der Strahlungsbilanz der Erde durch sich ändernde Faktoren wie Aerosolpartikel oder Treibhausgasen. Der Strahlungsantrieb wird in Watt pro Quadratmeter angegeben.



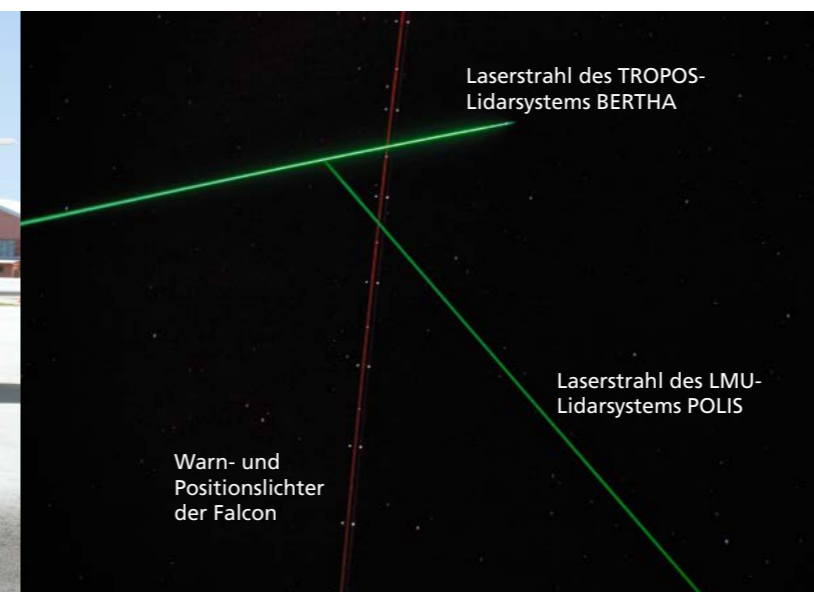
Zur Messung der Staubpartikel von mehr als einem Mikrometer Größe wurde das Aerosol- und Wolkenspektrometer CAS-DPOL für Flugzeugmessungen zugelassen und nach erfolgreichen Flugversuchen im April 2013 bei SALTRACE erstmals auf einem DLR-Forschungsflugzeug für wissenschaftliche Messungen eingesetzt. Im Bild: der Aufbau des Spektrometers für die Flugversuche.

Aerosole – was ist das?

Aerosolpartikel sind winzige feste oder flüssige Teilchen in der Größe von einem Zehntel bis einem Tausendstel der Dicke eines menschlichen Haars. Sie sind in der Atmosphäre allgegenwärtig. Oft als leicht graue oder bräunliche Schichten in der Atmosphäre sichtbar, beeinflussen sie nicht nur das Klima, sondern auch die Luftqualität und damit die menschliche Gesundheit. In den seltensten Fällen bemerken wir den Transport von Aerosolschichten so deutlich wie am 19. Februar 2014, als in Süddeutschland auf Autos und Fenstersimsen eine feine gelbliche Schicht aus Saharastaub lag, der mit dem Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen worden war.



Das SALTRACE-Team am 5. Juli 2013 am Internationalen Flughafen in Barbados



Laserstrahl des TROPOS-Lidarsystems BERTHA

Laserstrahl des LMU-Lidarsystems POLIS

Warn- und Positionslichter der Falcon

Strahlen der Lidarinstrumente von TROPOS Leipzig und der LMU München während der Messungen am 26. Juni 2013. Die rote Linie zeigt das Zusammenstoß-Warnlicht der Falcon bei Langzeitbelichtung.