



EIN EINZIGARTIGER WOLKENCOCKTAIL

Mit dem Forschungsflugzeug HALO dem Zusammenspiel von Wolken, Wetter und Klima auf der Spur

Von Dr. Silke Groß

Wenn man an Barbados denkt, fallen einem als Erstes karibische Strände, Palmen und Sonnenuntergänge ein. Nicht so den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der EUREC⁴A-Mission. Sie sehen in Barbados eine Insel, auf der Luftmassen, die tagelang über den Atlantik transportiert wurden, das erste Mal auf Land treffen. Es ist für sie ein perfekter Ort für Atmosphärenforschung. In diesem außergewöhnlichen Forschungsprojekt untersuchte ein internationales Team dieses ganz besondere Wolkengemisch und wie es sich durch den Klimawandel verändert.

Bevor die Luftmassen des Passatwinds das Festland von Barbados erreichen, bilden sich auf ihrem Weg über den Ozean in ihnen niedrige maritime Wolken. Diese werden Passatwindwolken genannt und sind ein wichtiges Puzzleteil in der Erforschung des Klimawandels, weil sie sehr empfindlich auf ihre Umgebungsbedingungen und somit auf eine weitere Klimaerwärmung reagieren. Allerdings ist dieser Wolkentyp und seine Klimawirkung nur mit großen Unsicherheiten in gängi-

EUREC⁴A – ELUCIDATING THE ROLE OF CLOUDS-CIRCULATION COUPLING IN CLIMATE:

Die Feldstudie EUREC⁴A ist ein internationales Projekt mit mehr als 40 Partnern unter deutsch-französischer Leitung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg und dem Centre national de la recherche scientifique (CNRS) in Paris. Innerhalb der Kampagne wurden vier Forschungsflugzeuge, vier Forschungsschiffe und bodengebundene Messungen auf Barbados koordiniert eingesetzt und die Messergebnisse mit hochauflösenden Klimamodellen und hochentwickelter Satellitenfernerkundung kombiniert. Aktuell werten die Teams die Daten aus, die sie in den Messflügen Anfang des Jahres 2020 gesammelt haben. Der wissenschaftliche Fokus von EUREC⁴A liegt auf vier wesentlichen Punkten:

- Wolkenorganisation und Rückkopplungsprozesse (Untersuchung der Auswirkung von Umgebungsbedingung auf Wolkenstruktur, mesoskalige Organisation von Wolken, Wolkenrückkopplungseffekte)
- Aerosol- und Wolkenphysik (Untersuchung der Auswirkungen von Aerosolen auf Wolkenbildung, Struktur und Eigenschaften; Einfluss der dynamischen Prozesse auf die Mikrophysik von Wolken)
- Dynamik der Grenzschicht (Turbulenz, Mischungsprozesse)
- Atmosphäre-Ozean-Wechselwirkung (Untersuchung von Austauschprozessen)

gen Klimamodellen dargestellt. Ursachen dafür sind, dass diese Wolken zum Teil recht klein sind und sich mitten über dem Ozean bilden. Das macht es schwer, sie näher zu untersuchen. Die EUREC⁴A-Forschungskampagne ist eines der bislang größten Projekte zur Erforschung dieser Wolken und ihrer Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. In einer vierwöchigen Messphase Anfang des Jahres 2020 haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein umfangreiches Bild erfasst, das die Klimaforschung einen wichtigen Schritt nach vorn bringen wird.

Wolken jagen zu Wasser und in der Luft

Ausgestattet mit Fernerkundungsmessgeräten und Dropsonden für meteorologische Untersuchungen nahm das deutsche Forschungsflugzeug HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) in Überflügen die Struktur der kompletten unteren Atmosphäre in den Blick. In einem kreisrunden Flugmuster in etwa neun Kilometer Höhe untersuchten die Forscherinnen und Forscher das Wolken- und Feuchtefeld sowie die in den Kreis ein- und ausströmende Luft; wichtige Faktoren bei der Bestimmung von Wolkenbildungsprozessen.



FORSCHUNGSFLUGZEUG HALO

Für die Forschungskampagne wurde HALO mit Fernerkundungsinstrumenten ausgestattet. An Bord waren ein Radar, ein Lidar (Light detection and ranging), ein Spektrometer, Radiometer und meteorologische Dropsonden. Für die Messungen über dem Ozean war besonders die lange Flugdauer entscheidend – ein Alleinstellungsmerkmal des Forschungsfliegers. Neun Stunden flog er dasselbe kreisförmige Flugmuster ab. Ein weiterer Vorteil von HALO ist die Flughöhe: In Vorgängerkampagnen von EUREC⁴A führte das Flugzeug Messungen bis in 15 Kilometer Höhe durch.

POLARISATIONS-DOPPLER-RADAR (POLDIRAD)

Wellenlänge/Frequenz: 5,5 Zentimeter/5 Gigahertz

Antennendurchmesser: 5 Meter

Technische Besonderheit:

Senden und Empfang mit beliebiger Polarisation

Anwendungsgebiet: Messung von Niederschlag (Form, Phase sowie Geschwindigkeit)



Unterhalb der Flughöhe von HALO analysierten gleichzeitig eine ATR-42 – ein Flugzeug der französischen Forschungsorganisation CNRS – und eine Twin Otter – eine Turboprop-Maschine des britischen Polarforschungsprogramms British Antarctic Survey – innerhalb des Flugmusters die Eigenschaften und Organisation der Wolken. Flüge der US-amerikanischen WP-3D lieferten Messungen von weiter östlich über dem Ozean. Zusätzlich beobachteten vier Forschungsschiffe Ozean und Atmosphäre in der Umgebung von Barbados: die deutschen Forschungsschiffe METEOR und MARIA S. MERIAN, das US-amerikanische Forschungsschiff RONALD H. BROWN sowie das französische Forschungsschiff L'ATALANTE. Die Forschungsschiffe dienten dabei als Plattformen mit Radiosonden, Lidar- und Radar-Technik, Ballon-Drachen und unbemannten Flugsystemen.

Um Wolken gezielt anfliegen zu können und darin Proben zu nehmen, ist es wichtig, ihre genaue Position zu kennen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre brachten dazu das Niederschlagsradar POLDIRAD per Schiffs-transport auf die Insel. Seine Antenne hat einen Durchmesser von fünf Metern und liefert bis in große Entfernungen Informationen

über Wolken und Niederschlag über dem Ozean. Diese Messdaten wurden in Echtzeit an die Forschungsflugzeuge gesandt, damit die Flugrouten entsprechend angepasst werden konnten.

Eine Reise mit Hindernissen

Eigentlich ist das Wolkenradar POLDIRAD auf dem Dach des Instituts für Physik der Atmosphäre am DLR-Standort in Oberpfaffenhofen installiert. Für die EUREC⁴A-Mission wurde das System abgebaut und für die mehrmonatige Reise per Schiff über den Atlantik nach Barbados sicher in fünf Überseecontainern verstaubt. Dass dabei nicht immer alles nach Plan laufen kann, ist wohl vorprogrammiert.

Auf dem Weg Richtung Karibik kam einiges zusammen: Sowohl geänderte Einfuhr- und Zollbearbeitung auf Barbados als auch die komplizierte Logistik des Transports sorgten im Team für nervenaufreibende Momente. Durch die Unterstützung der Kolleginnen und Kollegen vor Ort konnten die Container den Zollbereich gerade doch pünktlich zum Kampagnenbeginn verlassen. In einer Gemeinschaftsaktion wurde POLDIRAD innerhalb kürzester Zeit aufgebaut, getestet



Während der EUREC⁴A-Mission im Februar 2020: 360-Grad-Aufnahme von den beiden Piloten Dr. Marc Puskeiler (links) und Stefan Grillenbeck (rechts) mit dem Atmosphärenforscher Manuel Gutleben im Flugzeugcockpit

und in Betrieb genommen. Schon an seinem ersten Messtag zeigte sich das Potenzial des Radarsystems aus Oberpfaffenhofen. Es erfasste die horizontale und vertikale Struktur der Wolken bis in eine Entfernung von 250 Kilometer. Das Team arbeitete rund um die Uhr im Schichtbetrieb, um die zeitliche Veränderung der Wolken sowie den Tagesgang zu beobachten. Dank der Echtzeitergebnisse konnten die Piloten die Wolken über dem Atlantik vor Barbados anfliegen und die tieffliegenden Forschungsflugzeuge untereinander gut koordinieren.

Messungen rund um die Uhr

Eine wichtige Fragestellung der Fachleute ist, wie die unterschiedlichen Wolkenstrukturen entstehen und wie sie sich entwickeln. Um darauf Antworten zu finden, müssen die Forschenden sie möglichst über ihren kompletten Lebenszyklus beobachten – am besten sogar schon vor ihrer Entstehung. Die Wolkensysteme bilden sich meist am Ende der Nacht und verändern sich im Tagesverlauf aufgrund der Wechselwirkung mit der eintreffenden Sonnenstrahlung. Dementsprechend ist frühes Aufstehen wichtig. Während der Kampagne wurden die Flüge mit HALO gestaffelt zwischen 4 Uhr morgens und 20 Uhr abends (die aktivste Zeit der Wolkensysteme) durchgeführt. Dank der unterschiedlichen Forschungsflugzeuge konnten diese Beobachtungen sogar noch in die Nacht ausgedehnt werden. Ein gestaffelter Einsatz von WP-3D, ATR-42 und HALO ermöglichte eine fast 24-stündige Beobachtung von Umgebungsbedingungen, Wolkenentstehung und Wolkenentwicklung.

Für die Nachtflüge startete die WP-3D beispielsweise gegen 20 Uhr. Im Abstand von je vier Stunden folgten ATR-42 und HALO. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler treffen für solche Flüge jeweils rund drei Stunden vor dem geplanten Abflug am Flughafen ein, um die Instrumente für den Flug vorzubereiten und zu kalibrieren. Eine Stunde vorher kommen die, die an Bord mitfliegen, zusammen mit den Piloten und Technikern zum Flugzeug. Die Zeit, die jetzt bis zum Abflug bleibt, ist mit vielen Tätigkeiten ausgefüllt. Es ist wichtig, die Systeme noch einmal zu begutachten und den Ablauf des Fluges durchzusprechen. 15 Minuten vor Abflug müssen alle das Flugzeug verlassen, die nicht zur Crew gehören, und dann geht es los!

Während HALO ein festes Flugmuster abflog, fokussierte sich die ATR-42 darauf, gezielt Wolken und Niederschlagsgebiete anzufliegen und zu untersuchen; ein schwieriges Unterfangen auf einem Nachtflug. Zum Glück war das Wolkenradar POLDIRAD einsatzbereit und konnte



Das Aerosol- und Wasserdampf-Lidar des DLR-Instituts für Physik der Atmosphäre



Dr. Silke Groß im Forschungsflugzeug HALO



© Max-Planck-Institut für Meteorologie

Meteorologisches Observatorium BCO (Barbados Cloud Observatory) des Max-Planck-Instituts für Meteorologie Hamburg in Deeples Point, Barbados

die nötigen Messungen direkt ins Flugzeug liefern. Nach etwa neun Stunden landeten die Flugzeuge wieder auf dem Flughafen von Barbados; Daten wurden gesichert, die Performance der einzelnen Instrumente bewertet, Probleme während des Fluges und Erfüllung der wissenschaftlichen Zielsetzungen besprochen, bevor es nach einem langen Tag endlich Richtung wohlverdientem Feierabend ging.

Neben den Messungen mit HALO hatte das DLR-Team gehofft, die Entwicklung der Wolken über dem Ozean mit POLDIRAD noch über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Leider musste es Barbados

aufgrund der COVID-19-Maßnahmen früher verlassen, als es ursprünglich geplant war. Das Wetterradar POLDIRAD ist zurzeit immer noch auf Barbados und spielt dort eine wichtige Rolle für die Wettervorhersage in der Karibik, denn auf der Insel gibt es momentan ansonsten kein funktionsfähiges Wetterradar. Das Team aus Oberpfaffenhofen plant derzeit, sich im Herbst 2020 wieder auf den Weg in die Karibik zu machen, um die Messungen mit POLDIRAD fortzuführen.

Dr. Silke Groß arbeitet im DLR-Institut für Physik der Atmosphäre in der Abteilung Lidar und leitet die Arbeitsgruppe für Radar-Lidar-Synergie.



Geplanter Launch:
2022

Laufzeit:
Drei Jahre; plus ein Jahr Reservetreibstoff

Orbit:
393 Kilometer, sonnensynchron

Instrumentierung:
Doppler-Radar (94 GHz), Atmosphärenlidar (355 nm), multispektrales abbildendes Spektrometer, Breitbandradiometer

VORBEREITUNG AUF DIE KLIMAMISSION EARTHCARE

EarthCARE (Earth Cloud Aerosol Radiation Explorer) ist eine Forschungsmission der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) und der Japanischen Raumfahrtagentur (JAXA) zur Erforschung von Aerosolen und Wolken sowie deren Zusammenspiel und Klimawirkung. Es handelt sich um einen Satelliten, der mit einem hochentwickelten Lidar (light detection and ranging), einem Doppler-Wolkenradar (radio detection and ranging) und Sensoren zur Strahlungsmessung ausgestattet ist – einer der komplexesten Satelliten zur Erforschung von Aerosolen und Wolken.

In der EUREC⁴A-Kampagne flog das Forschungsflugzeug HALO mit weitgehend vollständiger EarthCARE-ähnlicher Instrumentierung (Radar, Lidar, Spektrometer und Radiometer) – als eines von zwei Forschungsflugzeugen weltweit, mit denen dies möglich ist. Solche Messungen imitieren zukünftige EarthCARE-Messungen und ermöglichen erste Erfahrungen mit dem Zusammenspiel der Instrumente. Darüber hinaus können sowohl Algorithmen getestet und weiterentwickelt werden als auch die Stärken und Schwächen der künftigen Satellitenmessungen abgeschätzt werden; ein wichtiger Schritt in der Vorbereitung auf die zukünftige Satellitenmission.

DER WOLKENSAMMLER

Im Gespräch mit Prof. Dr. Bjorn Stevens, Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie im Hamburg und Leiter der Forschungskampagne EUREC⁴A.

Prof. Dr. Stevens, Sie haben die bislang größte internationale Wolkenforschungskampagne geleitet. Worin lagen besondere Herausforderungen?

• EUREC⁴A ist das Ergebnis von mehr als einem Jahrzehnt Arbeit, zum großen Teil eng zusammen mit meiner französischen Kollegin, Dr. Sandrine Bony, und einer besonders kooperativen und kreativen Gemeinschaft deutscher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem DLR und verschiedenen Universitäten, die in den letzten Jahren daran gearbeitet haben, HALO als eine der herausragendsten Forschungsplattformen weltweit zu etablieren. Wir hatten also einen guten Start. Dennoch entwickeln unterschiedliche Gruppen unterschiedliche Kulturen der wissenschaftlichen Praxis. In der Atmosphärenforschung interessieren wir uns oft für bestimmte Phänomene und suchen dann nach genau diesen Phänomenen, laufen also einem Signal hinterher. Aber daraus

„Manchmal ist das, was man nicht misst, informativer als das, was man misst“

ergibt sich ein verzerrtes Bild darüber, wie oft und wie stark Effekte auftreten. Für eine statistische Studie, wie wir sie durchführen wollten, bestand die größte Herausforderung darin, die Teammitglieder wieder und wieder davon zu überzeugen, dass das, was man nicht misst, manchmal informativer ist als das, was man misst: Um das Gesamtbild zu sehen, muss man auch verstehen, was und wie oft Dinge, die man erwartet, nicht im Bild sind. Dinge werden also durch ihre Abwesenheit bedeutsam.

Was ist Ihnen von der Kampagne besonders in Erinnerung geblieben? Und was haben Sie über Wolkenbildung und die Auswirkungen auf das Klima gelernt?

• Es ist noch zu früh, um genaue Aussagen dazu machen zu können, wie Wolken die Geschwindigkeit der globalen Erwärmung beeinflussen. Allerdings sind wir sehr zuversichtlich, dass wir genau die Daten gesammelt haben, die wir zur Beantwortung



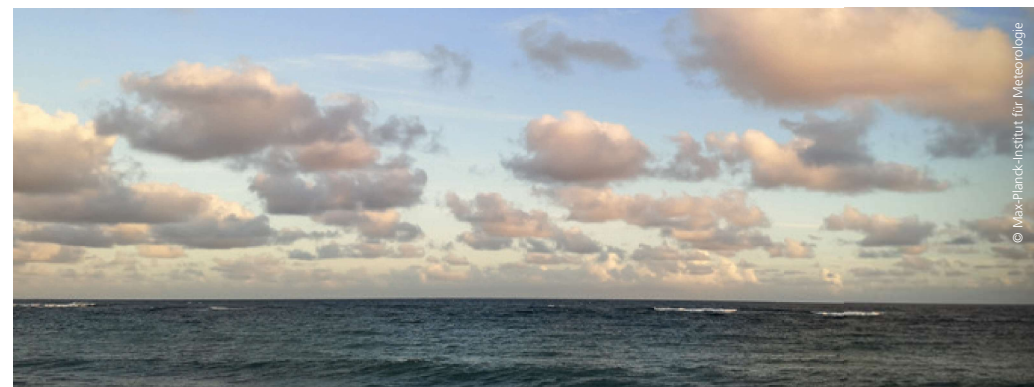
© Max-Planck-Institut für Meteorologie, Foto: F. Bailer

ung dieser Frage benötigen. Was mich am meisten beeindruckte, war, dass durch die sich ändernden Umstände neue Seiten an den Beteiligten sichtbar wurden. Sei es, dass junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler Verantwortung übernahmen oder dass wir lokale Unterstützung erhielten, um unsere Messungen durchführen zu können. Auch was die Natur angeht, sind mir unauslöschliche Erinnerungen von der Kampagne geblieben: die Auswirkungen der Winde auf das Wasser als eine Luftschicht über dem Ozean, die durch verdunstenden Regen gekühlt wurde oder die Art und Weise, wie die Wolken in die Farben der untergehenden Sonne hineinfielen.

Wohin würden Sie für die Forschung gern als Nächstes reisen und warum?

• Im August 35 Grad West und 10 Grad Nord, also in den Nordatlantik etwa zwischen Venezuela und Guinea. Dort, in den tiefen Tropen, treffen Luftmassen von der Süd- und Nordhalbkugel aufeinander und erzeugen heftige Regenbänder, deren Bildung gewaltige Energiemengen freisetzt, die das Klima weltweit beeinflussen; diese Vorgänge verstehen wir bislang nur rudimentär und weitere Messungen wären nützlich.

Das Interview führte **Falk Dambowsky**, Presseredakteur im DLR.



© Max-Planck-Institut für Meteorologie