

Die Vermessung des Himmels - Untersuchung des Zusammenspiels von Wolken und Zirkulation per Flugzeug

Welche Klimawirkung haben Wolken? Unter welchen Bedingungen wärmen oder kühlen sie die Atmosphäre? Welche Rolle spielen sie für die atmosphärische Zirkulation und erhalten so die Umgebung, in der sie sich entwickeln?

Die Feldstudie NARVAL II, initiiert und geleitet von den Wolkenforschern der Abteilung „Atmosphäre im Erdsystem“ (Prof. Bjorn Stevens) am Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) und Kollegen der Universität Hamburg, soll helfen, diese Fragen zu beantworten. Die NARVAL II-Mission startete am 8. August 2016 mit einem Transferflug des Forschungsflugzeugs HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) von Oberpfaffenhofen nach Barbados.

NARVAL II ist die zweite von drei geplanten Missionen, die das Wissen, das über zehn Jahre mithilfe von bodengestützten Messungen im tropischen Atlantik gesammelt wurde, erweitern werden. Sie baut auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Mission NARVAL I auf und wird den Weg für eine noch größere internationale Kampagne im französisch-deutschen Projekt EUREC⁴A bereiten, die für Februar 2020 geplant ist. Drei Jahre nach der ersten Kampagne NARVAL I (Next generation Aircraft Remote-sensing for Validation studies), fokussiert sich die zweite Kampagne noch mehr auf das bessere Verständnis der Kopplung von Wolken, Zirkulation und Klima über dem tropischen und subtropischen Ozean.

NARVAL II wird die Hypothese überprüfen, dass flache, durch Sonnenstrahlung angetriebene Zirkulationen die Neigung der Konvektion verstärken sich zusammenzuballen („Selbstaggregation“). Diese konvektive Zusammenballung ist ein bisher noch recht unbekannter Prozess, durch den sich vereinzelte Konvektionen zu Superstürmen zusammenformen und der für das Verständnis einer Vielzahl tropischer Phänomene als wichtig angesehen wird, von Wirbelstürmen bis zur Madden-Julian-Oszillation. NARVAL II wird diese Annahmen überprüfen, indem gemessen wird, wie Wasserdampf und Wolken zum Ausmaß niedriger Strahlungskühlung in der Nähe von Konvektion beitragen und bis zu welchem Grad dies mit einer flachen Zirkulation in Zusammenhang steht, die Feuchtigkeit in konvektive Systeme transportiert. Diese Messungen werden durch den intensiven Einsatz von sogenannten Dropsonden über einem großen Gebiet ermöglicht. Mit ihnen können der Massen-, Wärme- und Feuchtigkeitshaushalt gemessen werden.

Die Dropsonden gleiten an Fallschirmen aus dem Flugzeug zur Erdoberfläche und messen auf ihrem Weg durch die Atmosphäre Profile von Druck, Temperatur und Feuchtigkeit. Durch die von ihnen gesammelten Daten können die Forscher neue Messstrategien testen. Diese Strategien werden dann genutzt, um den Versuchsaufbau der Kampagne EUREC⁴A noch weiter zu verbessern. Bei ihr werden verschiedene Plattformen (Schiffe und Flugzeuge) zur Verfügung stehen, um gleichzeitig Wolken und das weitläufige Umfeld, in dem sie sich bilden, zu messen.

Zudem wird NARVAL II dabei helfen, die Größenordnungen von Eis und Flüssigwasserkondensaten in tropischen Wolken zu bestimmen, die Rolle der Eisphase im Lebenszyklus von Cumulus-Wolken zu untersuchen und Datenabfragen, die für zukünftige Satellitensysteme vorgeschlagen wurden, zu testen.

Die NARVAL-EUREC⁴A Flugzeugmissionen bauen auf langfristige, bodengestützte Messungen des [Barbados Wolkenobservatoriums](#) (BCO) auf. Das Observatorium ist eine Kooperation des MPI-M und des Caribbean Institute of Hydrology and Meteorology und ist die einzige Einrichtung dieser Art in den Tropen. Seit 2010 nutzt es fortschrittliche Fernerkundung, um die tropische Atmosphäre und ihre Wolken zu untersuchen. Es steht im Zentrum weltweiter Bemühungen das Geheimnis zu lüften, wie niedrige Konvektion auf Erwärmung reagiert (siehe Stevens et al., 2016).

An Bord von HALO befindet sich HAMP (**HALO Microwave Package**), ein Instrumentenpaket, das die bodengestützten Messungen des BCO widerspiegelt. Es besteht aus einem Mikrowellen-Wolken-Radar, einem Wasserdampfabsorptionsradar und einer Reihe von Radiometern. Alle Instrumente können das Wasser in der Atmosphäre in all seinen Phasenzuständen messen. Zusätzlich zum HAMP werden Spektralradiometer zur Untersuchung der mikrophysikalischen Struktur von Wolken genutzt werden und Dropsonden ermöglichen Messungen des atmosphärischen Zustands, auch von Winden, in den unteren Teilen der Atmosphäre.

Messungen mit HAMP und des Barbados Wolkenobservatoriums werden von großer Bedeutung für die Auswertung von [EarthCARE](#) (**Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer**) sein, einem neuen Satelliten der Explorer-Klasse, der 2019 von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) und der Japanischen Weltraumagentur (JAXA) gestartet werden soll.

Stützpunkt für die Flüge während NARVAL II ist der Grantley Adams International Airport auf Barbados. Die Transferflüge von HALO von und nach Oberpfaffenhofen führen die Validierungsflüge von NARVAL I fort, untersuchen bei ausreichend Zeit die großskaligen Strukturen der Passatregion und unterfliegen Satellitenbahnen für Vergleichsmessungen. Das Hauptuntersuchungsgebiet ist die Umgebung nahe des Barbados Wolkenobservatoriums sowie Bereiche mit sich entwickelnden konvektiven Wolkenclustern, die auf der Basis von Satellitenbildern und Analysen des European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) bestimmt werden. Insgesamt sind acht neunstündige Flüge geplant.

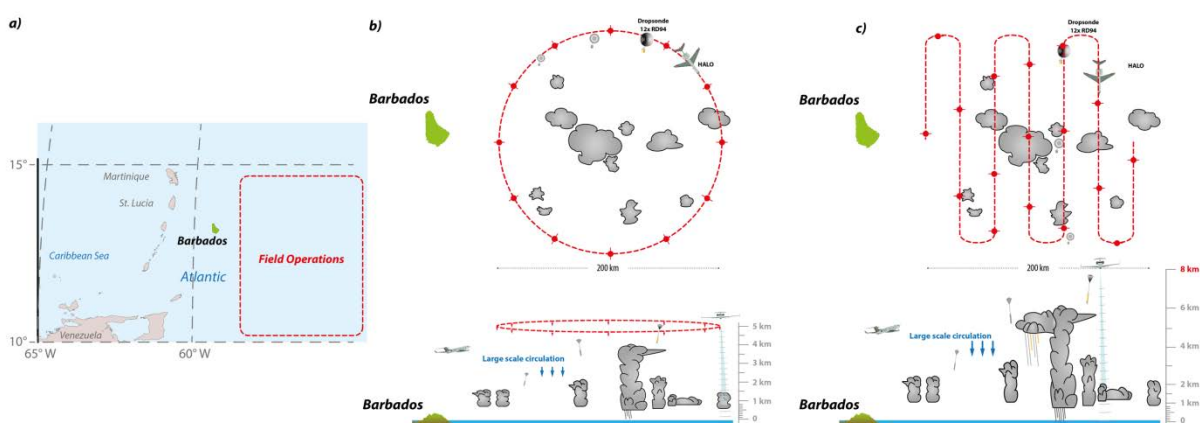
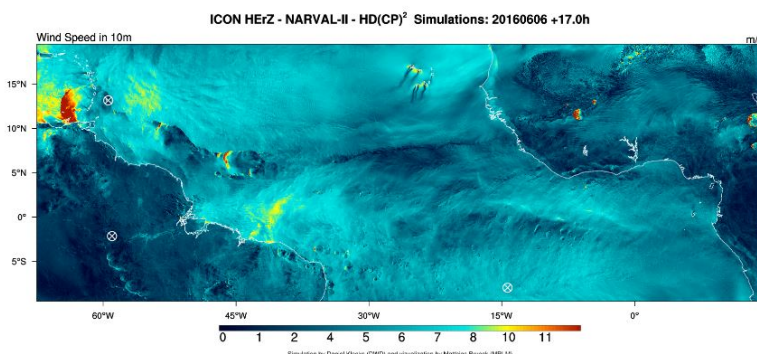


Abb.: Flugpläne NARVAL II. Gebiet der Messflüge (a); Kreisflüge (b); Bahnenflüge (c). Das Muster der Bahnenflüge (c) ist für bewölkte Gebiete vorgesehen, um die Zusammensetzung der Phasen (Wasserdampf, Wasser, Eis) zu beurteilen. Beide Flugmanöver ermöglichen eine Pilotstudie, die untersucht, ob die großskalige Vertikalbewegung mit Dropsondenmessungen erfasst werden kann.

Zwei verschiedene Flugmanöver sind vorgesehen. Sie könnten sich allerdings noch ändern, falls es die während der Messkampagne gewonnenen Erkenntnisse erfordern. Um sich entwickelnde konvektive Cluster zu erfassen, wird HALO wiederholt im Kreis um das Konvektionsgebiet herumfliegen (siehe Abb. b). Zur Messung der hochreichenden Konvektion und ihrer Entwicklung wird es gleichmäßige, nebeneinanderliegende Bahnen fliegen (siehe Abb. c). Die Kreisflüge werden in der unteren Troposphäre stattfinden, um eine höhere Dichte an Dropsonden zu ermöglichen. Die Bahnenflüge finden hingegen deutlich höher statt, um auch die Eisphase mit erfassen zu können. In der Abbildung ist eine Flughöhe von 8 km angegeben, abhängig von der Entwicklung der Konvektion kann sie aber auch höher ausfallen. Idealerweise werden die konvektiven Gebiete an aufeinanderfolgenden Tagen durch- und überflogen.

Die NARVAL-Messkampagne wird durch Modellierungsaktivitäten der Hans-Ertel Forschungsgruppe [„Wolken und konvektive Prozesse“](#) (Dr. Cathy Hohenegger, MPI-M, und Dr. Daniel Klocke, DWD) sowie des Projekts [HD\(CP\)²](#) unterstützt. Durch die Unterstützung dieser Gruppen wird der Deutsche Wetterdienst Simulationen erstellen, die die Konvektion über riesigen Gebieten mit einer noch nie dagewesenen Auflösung darstellen können. Möglicherweise können die Simulationen in Zukunft einen Wirbelsturm bereits in seiner frühen Entwicklungsphase erfassen. Aber unabhängig davon kann zum ersten Mal die ganze Vielfalt der Wolkenstruktur, von kleineren Skalen (ein Paar isolierte Wolkenzellen) bis zu größeren Skalen (Wolkenorganisation über den ganzen Atlantik), wiedergegeben werden, ohne eine konvektive Parameterisierung anwenden zu müssen.



Die neuen Simulationen enthüllen die verborgene Welt des Zusammenspiels von Wolken und Zirkulation. Sie zeigen, wie konvektive Wolken mit ihrem dynamischen Umfeld interagieren. Die obige Visualisierung stellt die oberflächennahe Windgeschwindigkeit dar. Sie zeigt nicht nur Anzeichen von Wellen, die sich durch die Troposphäre bewegen, sondern auch Windböen, die sich über Westafrika hinwegbewegen, Windschatten auf der Leeseite von Inseln, bis hin zur großskaligen Konvergenz, die den meteorologischen Äquator ausmacht. Die Simulationen gewähren einen neuen Einblick in eine Welt und in Interaktionen über verschiedene Größenordnungen, die uns vorher verborgen geblieben sind.

NARVAL ist ein gemeinsames Projekt des Max-Planck-Instituts für Meteorologie, der Universität Hamburg (Gruppen von Prof. Felix Ament und Prof. Stefan Bühler), der Universität zu Köln, der Universität Leipzig, der Ludwig-Maximilian-Universität München, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (Institut für Physik der Atmosphäre) und des Laboratoire de Météorologie Dynamique in Paris.

Das Forschungsflugzeug HALO ist eine Gemeinschaftsinitiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen. Gefördert wird HALO durch Zuwendungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), der Helmholtz-Gemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Leibniz-Gemeinschaft, des Freistaates Bayern, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT), des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ, des Forschungszentrums Jülich und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Weitere Informationen:

HALO

<http://www.halo.dlr.de>

Barbados Wolkenobservatorium (BCO)

<http://www.mpimet.mpg.de/wissenschaft/atmosphaere-im-erdsystem/arbeitsgruppen/beobachtungen-und-prozessstudien/barbadosstation1/>

NARVAL/EUREC⁴A (auf Englisch)

<http://www.mpimet.mpg.de/en/science/the-atmosphere-in-the-earth-system/narval2-eurec4a/>

Publikationen:

Stevens, B., D. Farrell, L. Hirsch, F. Jansen, L. Nuijens, I. Serikov, B. Brüggemann, M. Forde, H. Linné, K. Lonitz and J.M. Prospero (2016) The Barbados Cloud Observatory – Anchoring Investigations of Clouds and Circulation on the Edge of the ITCZ. *Bull. AMS*, 5, 787-801. [doi: 10.1175/BAMS-D-14-00247.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00247.1)

Illingworth et al. (2015) The EarthCARE Satellite – The next step forward in global measurements of clouds, aerosols, precipitation, and radiation. *Bull. AMS*, 8, 1311-1332. [doi: 10.1175/BAMS-D-12-00227.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00227.1)

Bony, S., Stevens, B., Frierson, D. M. W., Jakob, C., Kageyama, M., Pincus, R., et al. (2015). Clouds, circulation and climate sensitivity. *Nature Geoscience*, 8, 261-268. [doi:10.1038/ngeo2398](https://doi.org/10.1038/ngeo2398)

Kontakt:

Prof. Dr. Bjorn Stevens
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 422 (Assistentin Angela Gruber)
E-Mail: bjorn.stevens@mpimet.mpg.de



Prof. Dr. Felix Ament
Universität Hamburg
Meteorologisches Institut
Tel.: 040 42838 3597
E-Mail: felix.ament@uni-hamburg.de