



# HALO

Neue Dimensionen  
in der Atmosphärenforschung  
und Erdbeobachtung



# Flug in neue Dimensionen der Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung

Eine Gemeinschaftsinitiative deutscher Umwelt- und Klimaforschungseinrichtungen. Gefördert durch Zuwendungen des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, der Helmholtz-Gemeinschaft, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft, des Freistaates Bayern, des Forschungszentrums Jülich, des Karlsruher Instituts für Technologie und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt.

## Die Grundlage politischer Entscheidungen

Menschliches Handeln beeinflusst die Atmosphäre und das Klima. Internationale Konventionen wie die Protokolle von Montreal und Kyoto waren erste wichtige Schritte zur Begrenzung der Veränderungen von Ozonschicht und Klima. Weiterführende Abkommen zum Klimaschutz sind jedoch notwendig. Um dafür eine sinnvolle politische Entscheidungsgrundlage zu schaffen, müssen die Prozesse, die sich in unserer Atmosphäre abspielen, sehr viel besser verstanden werden als bisher. Belastbare experimentelle Daten zum Verständnis unserer Atmosphäre sind wesentliche Bausteine für zukünftige, genauere Klimaprognosen. HALO (High Altitude and Long Range Research Aircraft) wird einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis unserer Atmosphäre leisten. Aufgrund seiner herausragenden Flugeigenschaften und Messmöglichkeiten wird HALO eine neue Dimension für die Umwelt- und Klimaforschung in Deutschland und Europa mit Forschungsflugzeugen erschließen.

## Atmosphärenforschung mit Flugzeugen

Die Atmosphärenforschung hat in Deutschland eine lange Tradition und umfasst viele Disziplinen, die von Laboruntersuchungen über Langzeitbeobachtungen an Bodenstationen und intensiven Feldexperimenten bis zur Auswertung von Satellitendaten und dem Einsatz von aufwendigen Rechenmodellen reichen. Diese verschiedenen Ansätze sind eng miteinander verzahnt und voneinander abhängig.

Forschungsflugzeuge sind für die Klima- und Umweltforschung unverzichtbar. Das Flugzeug als Beobachtungsplattform schließt die Lücke zwischen erdgebundenen Beobachtungsstationen und Satelliten. Es hat den Vorteil, sich frei in der Atmosphäre bewegen und damit Instrumente für gezieltere Untersuchungen genau an den gewünschten Einsatzort bringen zu können. Im Vergleich zum Satelliten haben Flugzeugmessungen eine bessere räumliche Auflösung und den Vorteil, auch sehr komplizierte Instrumente tragen zu können. Flugzeuge dienen auch als Test- und Entwicklungsplattform für Satelliteninstrumente und zur Validierung erd- und weltraumgebundener Systeme.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreibt seit über 35 Jahren Forschungsflugzeuge, unter anderem einen Jet des Typs Falcon 20-E, der seit 1976 sehr erfolgreich eingesetzt wird. Das DLR verfügt damit über sehr umfangreiche Erfahrungen bei der Planung und Durchführung von Flugmesskampagnen.



## Von der Idee bis zum Projektstart

Die Notwendigkeit eines hochfliegenden Forschungsflugzeugs mit großer Reichweite war schon in den 1980er-Jahren festgestellt worden. Bisher standen für Experimente in großen Höhen nur einige wenige Flugzeuge in Europa zur Verfügung, allen voran die Falcon 20-E des DLR. Im Jahr 2000 trafen sich Vertreter wichtiger deutscher Forschungseinrichtungen aus dem Bereich der Atmosphären- und Klimaforschung, um ein Konzept für die zukünftige Atmosphärenforschung mit Flugzeugen zu entwickeln. Ergebnis war ein einheitliches Votum für ein hochfliegendes Flugzeug mit großer Reichweite und Nutzlast. Im Jahr 2001 stellten die Max-Planck-Gesellschaft und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt stellvertretend für über 30 Forschungsinstitute in Deutschland einen Antrag auf ein solches Flugzeug an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). In der anschließenden Begutachtung des Projekts durch den von Bund und Ländern eingesetzten Wissenschaftsrat wurde HALO als uneingeschränkt förderungswürdig eingestuft. Im Herbst 2004 vereinbarten Vertreter des BMBF, der Helmholtz-Gemeinschaft, der Max-Planck-Gesellschaft, des Forschungszentrums Jülich, des Karlsruher Instituts für Technologie, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt und des Freistaates Bayern eine gemeinsame Finanzierung für den Bau des Forschungsflugzeugs HALO. Dadurch wurde der Weg frei gemacht für die Verwirklichung von HALO. Im Februar 2005 unterzeichneten

das DLR und die Gulfstream Aerospace Cooperation den Vertrag über den Bau des Forschungsflugzeugs.

## Der Weg zur ersten Mission

HALO basiert auf dem Ultra-Long Range Business Jet G 550 der Firma Gulfstream Aerospace. Mit einer Reichweite von weit mehr als 8.000 Kilometern sind mit HALO erstmals Messungen auf der Skala von Kontinenten möglich: Alle Regionen von den Polen bis zu den Tropen und den abgelegenen Gebieten des Pazifiks kann das Forschungsflugzeug erreichen. Die maximale Flughöhe von über 15 Kilometern ermöglicht auch Messungen in der unteren Stratosphäre, außerhalb der Tropen. An Bord von HALO finden mehr als doppelt so viele Instrumente Platz als im DLR-Forschungsflugzeug Falcon 20-E – das erlaubt eine wesentlich umfassendere Erforschung komplexer atmosphärischer Prozesse. Insgesamt beträgt die Nutzlast etwa drei Tonnen.

Aber erst umfangreiche Umbauarbeiten, Modifikationen, Tests und Flugerprobungen machten aus dem Business Jet ein hochleistungsfähiges Forschungsflugzeug. HALOs Rumpf gleicht einem Schweizer Käse: hier befinden sich zahlreiche mögliche Anbaupositionen, die für Luftein- und -auslässe der Messinstrumente sowie Fenster für Fernerkundungsmessgeräte von der Kabine aus zum Einsatz kommen. Eine spezielle Stromversorgung

erlaubt den Betrieb von Geräten innerhalb und außerhalb der Kabine. Bis zu 15 universelle Gestelle für wissenschaftliche Messgeräte, sogenannte Racks, passen gleichzeitig in die Kabine. Unter dem Rumpf sowie unter den Tragflächen können zusätzlich Behälter für wissenschaftliche Instrumente befestigt werden. Eine speziell entwickelte Sensorik und eine fest eingebaute Datenerfassung und -aufbereitung versorgen die Forscher zusätzlich während eines Fluges mit Daten über die Atmosphäre und das Flugzeug selbst.

Im Januar 2009 wurde HALO an das DLR übergeben. Die Forschungsflugabteilung des DLR in Oberpfaffenhofen, Betreiber der größten zivilen Forschungsflugzeugflotte in Europa, betreibt HALO. Ein festes Kontingent an Flugstunden ist für den Forschungsflugbetrieb finanziert und wird per Antragsverfahren jedes Jahr neu verteilt. Ein wissenschaftlicher Lenkungsausschuss entscheidet aufgrund wissenschaftlicher Kriterien über die Reihenfolge der vorgeschlagenen Missionen. Bereits im Herbst 2010 startete HALO mit einer Auswahl von Messinstrumenten von verschiedenen Partnern zu Messflügen im Rahmen der sogenannten Technomission. Im Frühjahr 2012 hob das Forschungsflugzeug nach vielen Stunden in der Flugerprobung zu seiner ersten wissenschaftlichen Mission ab.



Im sogenannten Belly Pod ist Platz für wissenschaftliche Instrumente

## Eingebettet in die europäische Forschungslandschaft

HALOs herausragende Eigenschaften, das neue Betriebskonzept sowie die breite Nutzergemeinschaft eröffnen neue Dimensionen in der Umwelt- und Klimaforschung mit Flugzeugen in Deutschland und Europa. Aber auch für die Erdbeobachtung erschließt HALO neue Möglichkeiten:

- HALO ermöglicht durch seine Leistungsfähigkeit und einzigartige Ausstattung neuartige Experimente und größere Nutzlasten.
- Das neue Betriebsmodell fördert insbesondere die Beteiligung der Hochschulen an der Atmosphärenforschung mit Flugzeugen.
- HALO ist eingebettet in die europäische Forschungslandschaft und vervollständigt die europäische Kompetenz auf diesem Gebiet.
- HALO wird europaweit über entsprechende Forschungsprogramme zur Verfügung stehen.
- Die großen Reichweiten machen HALO zu einem globalen Werkzeug. Dadurch trägt HALO zu einer engeren internationalen Zusammenarbeit im weltweiten Netzwerk mit vergleichbaren Projekten bei.
- HALO baut die deutsche Spitzenposition in der Atmosphärenforschung und Erdbeobachtung aus.

## Forschungsschwerpunkte

Deutsche Umwelt- und Klimaforscher haben mittlerweile zahlreiche Missionsvorschläge erarbeitet, die nur mit HALO realisiert werden können. Einige Forschungsschwerpunkte aus diesen Vorschlägen werden auf den folgenden Seiten kurz vorgestellt.

## Aerosole, Wolken, Wasserkreislauf

Fein verteilte, mikroskopisch kleine Partikel in der Luft – Aerosole – beeinflussen nicht nur die Luftqualität, sondern verringern auch den Anteil des Sonnenlichts, der die Erdoberfläche erreicht. Dadurch wird die Luft am Boden weniger warm. Darüber hinaus ändern sie die Strahlungseigenschaften und die Lebensdauer von Wolken. Diese mikrophysikalischen Wechselwirkungen zwischen Aerosolen und Wolken sowie ihr Einfluss auf den atmosphärischen Energiehaushalt und den Wasserkreislauf können nur durch Messungen in der Atmosphäre genau bestimmt werden. Dies kann durch vergleichende Messungen in verschiedenen Regionen der Atmosphäre erreicht werden: in relativ sauberen maritimen Regionen, in der Atmosphäre über dem Regenwald oder in durch Industrie oder Waldbrände verschmutzten Luftmassen.

HALO – neue Dimensionen

## Selbstreinigungs- kapazität der Atmosphäre

Die Lebensdauer von Schadstoffen und verschiedenen Treibhausgasen in der Atmosphäre wird durch Oxidationsprozesse kontrolliert, die durch Hydroxyl-Radikale initiiert werden. Diese Radikale begrenzen den Konzentrationszuwachs vieler Gase, indem diese aus der Atmosphäre entfernt werden, bevor sie toxische Konzentrationen erreichen oder in die Stratosphäre gelangen, wo sie zum Ozonabbau beitragen. Es wird von besonderem Interesse sein, die stark steigenden Schadstoff-Emissionen in den Hauptquellregionen Europa, Nordamerika und Asien zu vermessen und ihre Wirkung auf die atmosphärische Oxidationsfähigkeit zu bestimmen. Mit HALO werden viele der relevanten Spurengase, einschließlich der Radikale, gleichzeitig gemessen. Dies ist zum Verständnis der luftchemischen Prozesse und zur Überprüfung der vorhandenen Atmosphärenmodelle notwendig.



## Tropopausenchemie und Dynamik

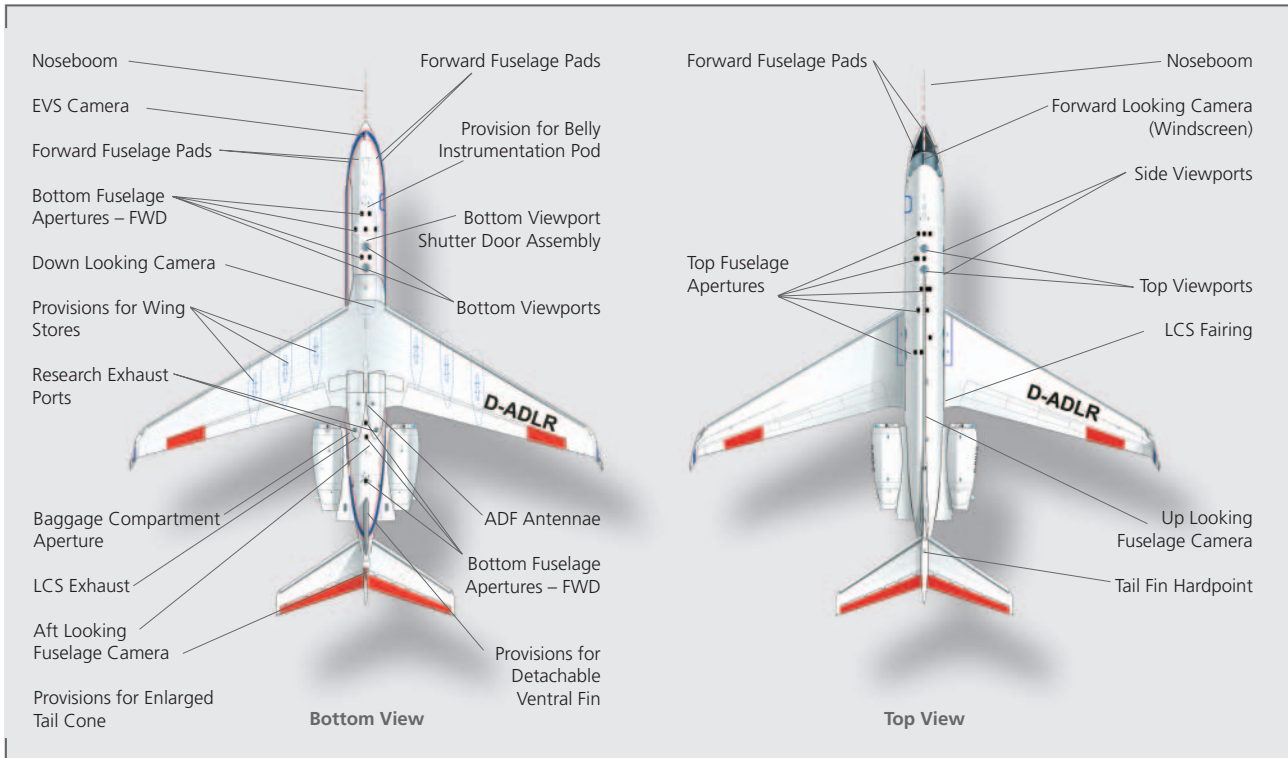
Der Übergangsbereich zwischen Troposphäre und Stratosphäre bis zu einer Höhe von 16 Kilometern ist messtechnisch schwierig zu erschließen. Diese Region beeinflusst jedoch ganz wesentlich den atmosphärischen Energiehaushalt, die Oxidationsfähigkeit und den Vertikaltransport von Impuls- und Spurengasen. Darüber hinaus ist der Einfluss von Eiswolken in großen Höhen (Zirren) auf Klimastörungen von enormer Bedeutung. Der Klimaeffekt kann dadurch verstärkt oder abgeschwächt werden. Die schnell wachsende Flotte kommerzieller Flugzeuge, die in diesen Höhen fliegen, beeinflusst zusätzlich die Zirren durch Kondensstreifen und Aerosole mit bis jetzt unbekanntem Konsequenzen. Mit HALO werden die Messungen durchgeführt, die nötig sind, um diese kritischen Faktoren zu quantifizieren.

## Klimaveränderung und extreme Wetterereignisse

In einem sich verändernden Klima, verbunden mit der zunehmenden Konzentration von Treibhausgasen, nimmt der Niederschlag in vielen Regionen zu. Denn von einer wärmeren Erdoberfläche verdunstet mehr Wasser. In Verbindung mit einem veränderten vertikalen Temperaturprofil nimmt die Niederschlagsrate in Gewittern und großskaligen Wettersystemen zu. Das führt zu verstärkter Aufwärtsbewegung von Luftmassen (Konvektion) bis zu den höchsten Schichten der Troposphäre. Diese intensive Aufwärtsbewegung muss durch die Abwärtsbewegung in anderen Bereichen kompensiert werden, die dadurch trockener werden. Mit dem Forschungsflugzeug HALO lässt sich mit den entsprechenden wissenschaftlichen Instrumenten der gesamte Höhenbereich der Troposphäre untersuchen. So können umfassende Erkenntnisse im Bereich der Konvektion gewonnen werden.



## Modifikationen – vom Business-Jet zum Forschungsflugzeug



### Technische Daten HALO Gulfstream G550

Länge:	31 Meter (davon 1,6 Meter Nasenmast)
Höhe:	7,9 Meter
Spannweite:	28,5 Meter
Kabinenlänge:	11 Meter
Kabinenbreite:	2,24 Meter
Kabinenhöhe:	1,88 Meter
Sitzplätze:	19 (üblich sind drei Besatzungsmitglieder und fünf bis acht Wissenschaftler und Ingenieure, abhängig von der Instrumentierung)
Leergewicht:	22,23 Tonnen
Gesamtgewicht:	maximal 41,28 Tonnen
Antrieb:	zwei Rolls-Royce BR 710 Triebwerke
Schub:	zwei x 68,4 Kilonewton
Reichweite:	mehr als 8.000 Kilometer, abhängig von Missionsprofil und Nutzlast
Flughöhe:	maximal 15,5 Kilometer (51.000 Fuß)
Geschwindigkeit:	maximal 340 KCAS/Ma 0.885; 1.054 Kilometer pro Stunde
Tankkapazität:	18,73 Tonnen
Ursprüngliche Nutzung:	Business Jet, militärische Nutzung
DLR-Forschungsflugabteilung:	Oberpfaffenhofen



## Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 7.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

Die Mission des DLR umfasst die Erforschung von Erde und Sonnensystem, Forschung für den Erhalt der Umwelt und umweltverträgliche Technologien, zur Steigerung der Mobilität sowie für Kommunikation und Sicherheit. Das Forschungsportfolio des DLR reicht von der Grundlagenforschung bis zur Entwicklung von Produkten für morgen. So trägt das im DLR gewonnene wissenschaftliche und technische Know-how zur Stärkung des Industrie- und Technologiestandorts Deutschland bei. Das DLR betreibt Großforschungsanlagen für eigene Projekte sowie als Dienstleistung für Kunden und Partner. Darüber hinaus fördert das DLR den wissenschaftlichen Nachwuchs, betreibt kompetente Politikberatung und ist eine treibende Kraft in den Regionen seiner Standorte.



### **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt**

Technische Projektleiterin/Projektingenieurin:  
Forschungsflugabteilung Oberpfaffenhofen  
Katrin Witte  
Telefon: 08153 28-1357  
E-Mail: [katrin.witte@dlr.de](mailto:katrin.witte@dlr.de)

Wissenschaftlicher Projektleiter:  
Institut für Physik der Atmosphäre  
Dr. Helmut Ziereis  
Telefon: 08153 28-2542  
E-Mail: [helmut.ziereis@dlr.de](mailto:helmut.ziereis@dlr.de)

Pressesprecher:  
Andreas Schütz  
Telefon: 030 67055-474  
E-Mail: [andreas.schuetz@dlr.de](mailto:andreas.schuetz@dlr.de)

[www.DLR.de](http://www.DLR.de)