

## BEFLÜGELNDE AUSSICHTEN

DIE KABINE DER ZUKUNFT IST SICHER,  
HYGIENISCH UND KOMFORTABEL

Weitere Themen:

- ▶ **BIS INS LETZTE DETAIL**  
Wie Simulation und Experiment in der Luftfahrt zusammenspielen werden
- ▶ **GRENZGÄNGER**  
Stratosphärenflugzeuge vereinen die Vorzüge von Luftfahrt und Raumfahrt
- ▶ **VIRTUELL FEINFÜHLEN**  
Ein innovatives Therapie- und Trainingssystem

# GRENZGÄNGER

## Ein solarbetriebenes Stratosphärenflugzeug vereint die Vorzüge von Raumfahrt und Luftfahrt

von Florian Nikodem



Aus der Erdbeobachtung und der globalen Kommunikation sind Satelliten nicht mehr wegzudenken. Allerdings ist ihr Einsatz nicht ohne Nachteile: Neben den hohen Kosten für ihren Bau und ihre Positionierung im Orbit bleiben ihre Reste mitunter als Weltraumschrott im All zurück. 2020 musste die Internationale Raumstation ISS drei Manöver fliegen, um Schrottoobjekten auszuweichen. Flugzeuge oder Hubschrauber sind zwar wesentlich flexibler und günstiger – sie können für Erdbeobachtungsaufgaben eingesetzt werden, bei denen die Anwendung eines Satelliten unverhältnismäßig oder schlicht nicht möglich wäre –, ihr Einsatzradius ist allerdings begrenzt und ihr Erfolg hängt häufig vom Wetter ab. Ganz nebenbei brauchen auch die besten Pilotinnen und Piloten irgendwann eine Pause. Eine Lösung können sogenannte High Altitude Platforms, kurz HAPs, sein: üblicherweise solarbetriebene Plattformen, die dauerhaft in der unteren Stratosphäre auf etwa 20 Kilometer Höhe stationiert werden.

### Ein ganzheitlicher Ansatz

HAPs können, ausreichend Sonne vorausgesetzt, an beliebigen Orten der Erde positioniert und bei verschiedensten Missionen eingesetzt werden. Sie fliegen weit oberhalb des zivilen Luftverkehrs und sogar über dem Wettergeschehen. Grundlage für die Idee waren die rasanten Entwicklungen von Solar- und Batterietechnik der letzten Jahrzehnte, die den Weg für dieses Bindeglied zwischen Flugzeug und Satellit ebneten. HAPs sind einerseits flexibel, was Stationierung und Ausrüstung angeht, und andererseits unabhängig vom Wetter oder von Einsatzzeiten. Im Querschnittsprojekt HAP forscht das DLR an Technologien und Anwendungen für eine hochfliegende, dauerhaft stationierbare Plattform und entwickelt ein Forschungsflugzeug für zukünftige wissenschaftliche Experimente. Dabei entsteht nicht nur der solarbetriebene, unbemannte Demonstrator, sondern auch eine Bodenstation. Weiterhin entwickelt das DLR-Team die operationellen Prozeduren sowie drei Nutzlasten, die von der Plattform getragen werden und eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten bieten. Insgesamt 17 DLR-Institute aus den Bereichen Luftfahrt, Raumfahrt und Sicherheit arbeiten unter der Führung des Braunschweiger Instituts für Flugsystemtechnik im Projekt zusammen.

### Von Gletscherbeobachtung bis Waldbranddetektion

Die Bandbreite möglicher Einsatzszenarien einer HAP sind groß: Sie reichen von der ununterbrochenen Beobachtung von Gletschern und Schneeflächen der Polregionen über maritime Überwachung, beispielsweise des Mittelmeers, bis hin zur Erfassung von Tierherden in Namibia. Dazu entwickelt das Institut für Optische Sensorsysteme eine spezielle Version des Kamerasystems MACS (Modular Aerial Camera System). Sie hat eine sehr hohe Auflösung und kann Zielobjekte selbstständig erkennen. Das Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme baut das Radar HAPSAR (High Altitude Platform Synthetic Aperture Radar), das unabhängig vom Wetter Beobachtungen durchführen kann. Eine mit diesem System ausgestattete HAP kann die Eisdicke der Nordost-Passage messen, aber auch Karten im Krisenfall erstellen, beispielsweise bei Waldbränden oder Hochwasser. Auch Aufklärungseinsätze für Friedensmissionen sind denkbar. Hochfliegende Plattformen eignen sich außerdem zur Schadstoffmessung über frequentierten Schifffahrtswegen oder Städten. Hierzu entwickelt das Institut für Methodik der Fernerkundung ein besonderes Spektroskop, kurz DOAS (Differenzielles Optisches Absorptions-Spektroskop) genannt, das die Konzentration von Stickstoffdioxid in der Luft misst.

### Leicht, robust, präzise, beständig

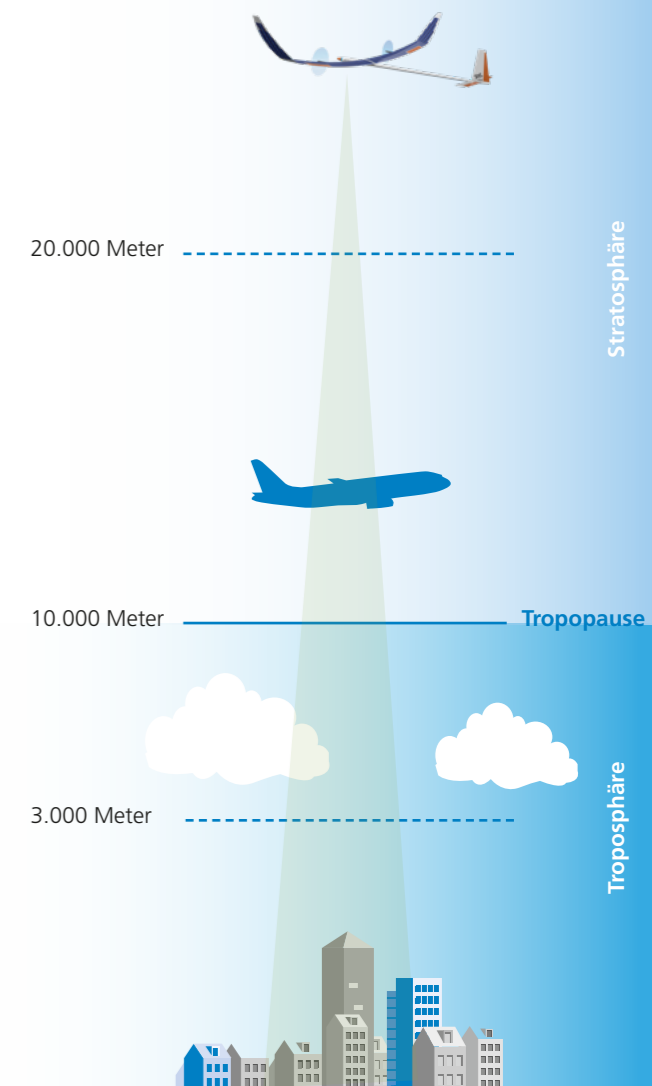
Ein Luftfahrzeug in der unteren Stratosphäre zu stationieren, ist keine leichte Aufgabe. In 20 Kilometer Höhe ist nachts mit Temperaturen von minus 60 Grad Celsius bis unter minus 80 Grad Celsius zu rechnen. Hoch über den Wolken ist die Plattform tagsüber vollständig der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, sodass sie sich lokal auf bis zu 40 Grad Celsius aufheizen kann. Solche großen Temperaturschwankungen machen es unmöglich, hier lediglich auf eine Isolation der Geräte zu setzen. Der sprichwörtliche Wintermantel ist nicht für die intensive Sonnenstrahlung geeignet, während er nachts unverzichtbar zu sein scheint. Die geringe Luftdichte in solchen Höhen macht Konvektionskühlung, also die Kühlung der eingebauten Systeme durch Umströmung mit Luft, nahezu wirkungslos. Ein geeignetes Thermalmanagement ist also eine der zentralen Herausforderungen einer HAP, da unterschiedliche Bereiche des Flugzeugs verschiedene Maßnahmen zur Kühlung beziehungsweise Isolation benötigen.

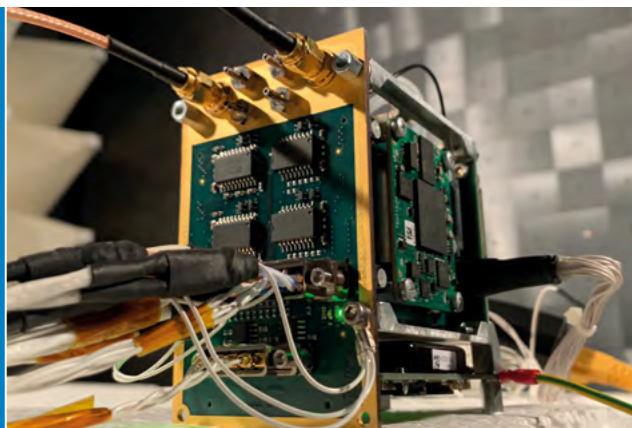
Die geringe Luftdichte birgt aber noch eine weitere Schwierigkeit: Das Flugzeug muss entweder sehr leicht sein oder eine hohe Geschwindigkeit halten, um ausreichend Auftrieb zu erzeugen und dauerhaft fliegen zu können. Mit der Fluggeschwindigkeit steigt aber auch der Energieverbrauch. Tagsüber wird die Sonnenenergie mittels Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt und der Überschuss für die Nacht in Batterien gespeichert. HAPs, die dauerhaft in der unteren Stratosphäre fliegen, sollten ein Flächengewicht von vier Kilogramm pro Quadratmeter nicht überschreiten, um selbst genügend Auftrieb generieren zu können. Zum Vergleich: Die Eta des Herstellers Eta-Aircraft, eines der leistungsfähigsten serienmäßigen Segelflugzeuge der Welt, hat ein Flächengewicht von rund 45 Kilogramm pro Quadratmeter, das des Eurofighters beträgt 310 Kilogramm pro Quadratmeter.

### DIE HOCHFLIEGENDE PLATTFORM HAP alpha

- **Spannweite:** 27 Meter
- **Startgewicht:** 138 Kilogramm
- **Einsatzhöhe:** über 22 Kilometer
- **Nutzlastkapazität:** 5 Kilogramm
- **Plattformbudget:** 13 Millionen Euro
- **Energiegewinnung:** Triple-Junction-Zellen auf Gallium-Arsenid-Basis (hauchdünne dreischichtige Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad von 32 Prozent und einer Leistungsdichte von 1,40 Wattpeak/Gramm)
- **Speicher:** wiederaufladbare Lithium-Ionen-Batterien mit Silizium-Anode (Energiedichte pro Zelle: 350 Wattstunden/Kilogramm)

Stratosphärenflugzeuge sind auf einer Höhe von 20 Kilometern oberhalb des zivilen Luftverkehrs und des Wettergeschehens unterwegs.





Das Gehirn der hochfliegenden Plattform: Die zentrale Recheneinheit, der Flight Control Computer, wurde am DLR-Institut für Flugsystemtechnik entwickelt und gebaut.



Die Flügel der Plattform bestehen aus einer Sandwichrippenstruktur aus kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Ein CFK-Rundrohr bildet die Basis. Das macht den Flügel leicht und stabil. Insgesamt wiegt die Struktur der HAP alpha 36 Kilogramm, 75 Prozent davon der Hauptflügel.



Anders als bemannte Flugzeuge werden HAPs von der Bodenstation aus gesteuert. Sogenannte Remote Pilots müssen sich dabei auf unterschiedliche Informationen verlassen: etwa die über Status und Kurs des Flugzeugs wie auch jene zu den überflogenen zivilen Lufträumen.

## BETEILIGTE DLR-INSTITUTE UND -EINRICHTUNGEN

- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Aeroelastik
- Institut für Bauweisen und Strukturtechnologie (nur 2018)
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugführung
- Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme
- Institut für Kommunikation und Navigation
- Institut für Methodik der Fernerkundung
- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Physik der Atmosphäre
- Institut für Robotik und Mechatronik
- Institut für Softwaretechnologie
- Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
- Institut für Technische Thermodynamik (nur 2018)
- Institut für Vernetzte Energiesysteme
- Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
- Raumflugbetrieb und Astronautentraining
- Systemhaus Technik

Hinzu kommen operationelle Prozeduren sowie die Luftverkehrskontrolle für den autonomen langfristigen Betrieb und den Durchflug des kontrollierten Luftraums bis in circa 20 Kilometer Höhe. Langfristige Erdbeobachtungsmissionen erfordern Einsatzzeiten von mehreren Wochen bis hin zu Monaten. Diese muss die Plattform ohne regelmäßige Wartung, wie sie in der klassischen Luftfahrt üblich ist, durchführen können.

Viele Firmen haben sich mit der Entwicklung solcher hochfliegender Plattformen beschäftigt, darunter Facebook, Aurora Flight Sciences, Prismatic oder Ordnance Survey. Als bisher einziges Unternehmen hat Airbus mit dem Zephyr die Funktion einer solchen Plattform in mehreren Testkampagnen und einem 26-tägigen Dauerflug im Jahr 2018 unter Beweis gestellt. Aber auch der Zephyr ist noch lange nicht bereit für den kommerziell-operativen Einsatz und seine zwei Abstürze über Australien im Jahr 2019 zeigen, dass die HAP-Technologie noch nahezu in den Kinderschuhen steckt.

### Ein einzigartiges Fluggerät

Der Technologieträger, den die DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Querschnittsprojekt entwickeln, nennt sich HAP alpha. Er soll mit 5 Kilogramm Nutzlast auf 20 Kilometer Flughöhe aufsteigen können. Gleichzeitig ist sein robustes, modulares Design einfach zu modifizieren. Seine Spannweite von 27 Metern entspricht der eines dauerflugfähigen Flugzeugs, das Gewicht der Struktur beträgt lediglich 36 Kilogramm, das gesamte Fluggerät wiegt 138 Kilogramm. Dieses geringe Gewicht erreichen die Forscherinnen und Forscher durch extremen Leichtbau mit kohlenstoffaserverstärkten Kunststoffen (CFK). Hauptholm, Rumpf und Leitwerksholme der Struktur bestehen aus gewickelten CFK-Rundrohren. Diese sind sehr leicht, dabei aber trotzdem stabil. HAP alpha verfügt noch nicht über eine Solar- und Batterietechnologie für Übernachtfüge, ist allerdings so aufgebaut, dass diese nachgerüstet werden kann. Für die Koordination der Missionen und den Datenempfang entwickelt das Projektteam eine mobile Bodenstation, die in transportablen Containern angelegt ist. Sie soll auf mehr als 100 Kilometer Entfernung Daten mit der HAP austauschen können.

Im Projekt vereint das Forschungsteam traditionelle Vorgehensweisen mit neuen Ansätzen der Systemtechnik. Am Ende jeder Projektphase führt das HAP-Team eine umfangreiche Überprüfung unter Beteiligung externer Expertinnen und Experten durch. Dieses Vorgehen folgt dem klassischen globalen Ansatz in der Systementwicklung: Technische Aspekte werden im Projektlebenszyklus dargestellt und die Entwicklung ist in leicht handhabbare Abschnitte unterteilt. Darüber hinaus verfolgen die Forschenden auch neuere Methoden der Systementwicklung wie

das modellbasierte Systems Engineering: Alle wesentlichen Informationen der HAP, wie Anforderungen, physikalische Architektur oder Massendaten, sind an zentraler Stelle gespeichert und damit in sich konsistent.

Im April 2019 hat das Team ein Review mit externen Fachleuten durchgeführt. Es hat gezeigt, dass die aufgestellten Systemanforderungen und die erarbeitete Form des Flugzeugs sich eignen, um die Projektziele zu erreichen, und dass die Risiken für zukünftige Änderungen gering sind. Aktuell bereitet es das sogenannte Critical Design Review für 2021 vor. Darin wird geprüft, ob das detaillierte Design den Projektzielen entspricht. Danach beginnen Produktion und Zusammenbau der Einzelkomponenten. Im Anschluss warten umfangreiche Tests auf die Komponenten, bevor diese dann in das Gesamtsystem integriert werden.

### Stück für Stück ganz hoch hinaus

Ende 2022 soll HAP alpha zum ersten Test abheben dürfen. Dabei sind zunächst Flüge in niedriger Höhe über dem Gelände des Nationalen Erprobungszentrums für unbemannte Luftfahrzeuge in Cochstedt geplant. Nach und nach wird die Flughöhe dann bis auf 20 Kilometer gesteigert. Dazu steht das Team in Kontakt mit Testeinrichtungen auf der ganzen Welt, die über ein ausreichend großes Bodensperrgebiet sowie ein Luftsperrgebiet bis in große Höhen verfügen. Einer der vielversprechendsten Kandidaten ist die European Space and Sounding Rocket Range, Esrange, bei Kiruna in Schweden. Anders als bei den ersten Erprobungsflügen in Cochstedt, bei denen die eigentliche Versuchsdauer nur wenige Stunden betragen wird, kann ein Höhenflug aufgrund der langsamen Fluggeschwindigkeit der HAP bis zu 24 Stunden dauern, auch wenn sich die Plattform nur etwa zwei Stunden auf 20 Kilometer Höhe aufhält. Das Team muss also nicht nur den eigentlichen Flugversuch koordinieren, sondern auch mehrere Crews vorhalten und deren Wechsel im Schichtbetrieb trainieren.

Bei zukünftigen Höhenflügen werden dann auch die Nutzlasten zum Einsatz kommen. Mit jedem Test sammelt das Team Erfahrungen und kann die HAP so modifizieren, dass auch Dauerflüge möglich werden könnten. Ab dann ließe sich das Stratosphärenflugzeug als Versuchsträger sowohl für Nutzlasten als auch für neue plattformsspezifische Technologien einsetzen. Ein Beispiel ist der Einsatz der HAP als Knotenpunkt für die digitale Kommunikation, indem sie bei der Bereitstellung eines 5G-Netzes unterstützt.

**Florian Nikodem** arbeitet als Systemingenieur im DLR-Institut für Flugsystemtechnik in Braunschweig und leitet das DLR-Querschnittsprojekt HAP.

## DIE NUTZLASTEN:

Im Querschnittsprojekt HAP entwickeln die DLR-Forscherinnen und -Forscher drei Nutzlasten, die von der hochfliegenden Plattform getragen werden können. Für den Austausch von Nutzlastdaten wird ein unidirektionaler Link im X-Band bereitgestellt.

### Die Luftbildkamera MACS-HAP:

- Selbstausrichtendes Kamerasystem mit Mosaicking- und Pointing-Möglichkeiten
- 150 Megapixel-Sensor, Bodenaufklärung 15 Zentimeter, Scan-Bereich 400 Quadratkilometer
- Onboard-Bildanalyse zur schnellen Erkennung von Zielobjekten
- 5 Kilogramm Masse

### Das High Altitude Platform Synthetic Aperture Radar (HAPSAR):

- Radarsystem mit synthetischer Apertur (SAR)
- Stripmap-SAR, Circular-SAR bis hin zu 3D-SAR und Erfassung von sich bewegenden Zielen wie Schiffen
- Einsatzfähig Tag und Nacht und unter allen Witterungsbedingungen
- Bodenaufklärung bis zu 60 Zentimeter
- 5 Kilogramm Masse

### Das Differenzielle Optische Absorptionsspektroskop (DOAS):

- Optisches Luft-Analyse-System mit Mosaicking- und Pointing-Möglichkeiten
- Echtzeiterfassung des Stickstoffdioxidgehalts in der Luft über dem Zielgebiet
- 4 Kilogramm Masse



Von der mobilen Bodenstation aus werden die Missionen des Stratosphärenflugzeugs HAP alpha koordiniert.

## **Titelbild**

Ein weißes Blatt kann beängstigend, aber auch beflügelnd sein. Genauso kann die Vorstellung motivieren, ein bestehendes Bild weiterzuführen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des DLR befüllen solche „weißen Blätter“ mit ihren Ideen, wenn sie neue Konzepte für die Flugzeugkabine entwickeln und dabei den Flugzeuginnenraum ganz anders nutzen möchten als bisher. Auch das Thema Digitalisierung spielt eine wichtige Rolle. DLR-Forscherinnen und -Forscher beschäftigen sich schon lange mit der Frage, an welcher Stelle wir noch Experimente benötigen und was wir schneller und wirtschaftlicher am Computer machen können. Zudem arbeiten über 25 DLR-Institute und -Einrichtungen daran, das aktuelle Bild der Luftfahrt in Richtung emissionsarmes und leises Fliegen zu gestalten. Das beinhaltet Forschung an klimaoptimierten Flugrouten, leiseren Triebwerken, nachhaltigen Treibstoffen, aber auch die Beratung von Politik und Kommunen.



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