

Das Forschungsflugzeug HALO: Modifikationsumfang und Einsatzmöglichkeiten

Dr. A. Giez, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,
82234 Oberpfaffenhofen, Deutschland

Zusammenfassung

Mit HALO (High Altitude and LOng range research aircraft) steht deutschen Wissenschaftlern ab 2011 eines der leistungsfähigsten und modernsten Forschungsflugzeuge der Welt zur Verfügung.

Der stark modifizierte Businessjet des Typs G550 von Gulfstream Aerospace wurde im Januar 2009 an das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) übergeben. Nach Abschluss einer umfangreichen Modifikations- und Testphase durch das DLR wird HALO ab 2011 für Forschungsaufgaben im Bereich Klima, Umwelt und Erderkundung eingesetzt.

HALO wurde als universelle Forschungsplattform konzipiert, die schnell an wechselnde Aufgabenstellungen angepasst werden kann. Dieses flexible Nutzungskonzept erforderte eine große Zahl anspruchsvoller Modifikationen am Basisflugzeug, die im Rahmen einer dreijährigen Umbauphase unter massiven Eingriffen in Flugzeugstruktur und elektrische Systeme realisiert werden konnten.

Die Änderungen am Flugzeug beinhalten zahlreiche Rumpfdurchbrüche, Befestigungspunkte für Außenlasten wie Unterrumpf- und Unterflügelbehälter, einen Nasenmast, Kabelkanäle, Leerrohre und Durchführungen für zusätzliche elektrische Systeme, eine umfangreiche Experimentstromversorgung, diverse Kommunikations- und Avionikschnittstellen sowie ein spezielles Experiment-Kühlsystem. Die Ausstattung des Flugzeuges wird durch eine vom DLR entwickelte Messdatenerfassung und ein Basissensorpaket ergänzt.

1. NUTZUNGSKONZEPT HALO

Die DLR Forschungsflugzeuge, die auf dem Gebiet der Klima-/Umweltforschung und der Erderkundung eingesetzt werden, unterscheiden sich in ihrem Nutzungskonzept wesentlich von den typischen „spezial misszion aircraft“, wie man sie aus dem militärischen oder industriellen Bereich kennt.

Das Flugzeug dient hier lediglich als Plattform für ständig wechselnde Anwendungen. Dies bedeutet, dass in sehr kurzen Zeitabständen mit völlig veränderten Aufgaben und Nutzlasten gearbeitet wird. DLR Forschungsflugzeuge bearbeiten auf diese Weise 10-20 Forschungsvorhaben pro Jahr. Dabei werden die komplexen Nutzlasten, die in der Regel von ganz verschiedenen Einrichtungen bereitgestellt und betrieben werden, missionsspezifisch zusammengestellt. Diese maßgeschneiderte Ausrüstung garantiert die größtmögliche Effizienz bei der Bearbeitung eines Forschungsvorhabens, stellt aber erhebliche Ansprüche an die Auslegung der Plattform. Um eine maximale Flexibilität des Flugzeuges auch in die Zukunft hinein zu garantieren, müssen die Schnittstellen zum jeweiligen Experiment universell ausgelegt sein und eine umfangreiche und belastbare Dokumentation der Interfaces existieren. Da diese Art von Forschung weltweit durchgeführt wird, muss das ausgestattete Flugzeug eine uneingeschränkte zivile Zulassung besitzen, die auf einem bereits zugelassenen Basisflugzeug und Ergänzenden Musterzulassungen (EMZ) für die jeweiligen Einzelexperimente besteht.

HALO wurde in einem mehrjährigen Prozess für diese Aufgaben konzipiert und in enger Zusammenarbeit mit den zukünftigen Nutzern auf der einen Seite und dem Flugzeughersteller selbst auf der anderen Seite realisiert.

Die konsequente Umsetzung der Nutzerbedürfnisse und die jahrzehntelange Erfahrung des DLR im Betrieb und der Auslegung von Forschungsflugzeugen haben eine einzigartige Plattform für die flugzeuggetragene Forschung entstehen lassen, deren Anwendungsspektrum weit über die Atmosphärenforschung hinausreicht.

2. NUTZUNGSSZENARIEN

Die Aufgaben von Forschungsflugzeugen im Bereich der Klima- und Umweltforschung lässt sich grob in zwei Hauptdisziplinen aufteilen.

Zum einen geht es um Messungen direkt am Flugzeug (*in situ*), bei denen Atmosphärenluft direkt am Flugzeug gesammelt und untersucht wird. Dies kann in Form einer Echtzeit-Gasanalyse oder Probenentnahme durch ein Instrument in der Kabine geschehen, wozu teilweise sehr aufwändige Lufteinlässe bzw. Rumpfdurchbrüche im Flugzeug benötigt werden. In manchen Fällen muss diese Messung allerdings direkt im ungestörten Luftstrom erfolgen, um z.B. Reaktionen mit dem Material der Rohrleitungen zu vermeiden. Auch die Bestimmung von Partikelkonzentrationen und deren Größenverteilung erfordert eine Messstrecke im freien Luftstrom, da ein Ansaugsystem die Messung deutlich verfälschen würde. Eine Abgasleitung aus der Kabine heraus, an der die verwendeten Pumpensysteme angeschlossen werden können, ist häufig erforderlich. Auch die Vermessung der elementaren meteorologischen Messgrößen wie Druck, Temperatur, Feuchte und Windvektor zählt zu dieser Gruppe.

Sogenannte Fernerkundungsmethoden analysieren die Atmosphäre in großem Abstand vom Flugzeug. Hierzu zählen beispielsweise Lasermessverfahren wie das Lidar,

aber auch Radarinstrumente, Strahlungsmessgeräte oder Spektrometer, die alle spezielle Fenstermaterialien und große Öffnungen im Rumpf erfordern, da die Geräte meistens in der Flugzeugkabine untergebracht sind. Bewegliche Antennen, besondere Beobachtungswinkel oder exotische Spektralbereiche erfordern allerdings häufig eine Unterbringung außerhalb des Rumpfes.

Forschung auf dem Gebiet der Erderkundung verlangt häufig die Anbringung von externen Antennen und Sensoren, große Beobachtungsfenster oder lagekompensierte Sensorplattformen direkt oberhalb der Rumpföffnung. Diese Verfahren zählen daher in der Regel zu der Gruppe der Fernerkundungssensoren.

Es ist wichtig, dass auch das Flugzeug selbst während eines Fluges hinsichtlich seines Flugzustandes charakterisiert wird. Dazu sind umfangreiche Schnittstellen zu den Flugzeugsystemen erforderlich. Die Bereitstellung von elektrischer Leistung und Kommunikationsmöglichkeiten während des Fluges sind weitere wichtige Forderungen der beteiligten Wissenschaftler.

3. REALISIERTE MODIFIKATIONEN

Die an HALO realisierten Modifikationen basieren zum einen auf der Erfahrung des DLR mit seinen vorhandenen Forschungsträgern sowie einer im Jahr 2002 durchgeföhrten Analyse zu den Wünschen und geplanten Vorhaben zukünftiger Nutzer eines solchen Flugzeuges. Die damals festgelegten Anforderungen sind direkt in die Ausschreibung von HALO eingeflossen.

Aus Kostengründen wurden einige der Modifikationen vom Flugzeughersteller nur vorbereitet („provision for“), d.h. es wurden durch den Flugzeughersteller Schnittstellen geschaffen, die zuvor vom DLR hinsichtlich ihrer Möglichkeiten und Auslegung klar definiert wurden. Eine detaillierte Interface-Dokumentation sowie umfangreiche technische Daten zum Flugzeug selber erlauben es die entsprechenden Anbauten zu einem späteren Zeitpunkt zu realisieren und zuzulassen. Die meisten dieser Modifikationen sind mittlerweile bereits vom DLR realisiert.

Die wichtigsten HALO-Modifikationen werden im Folgenden genauer vorgestellt. Viele davon sind außerdem in den Übersichtsbildern BILD 1, BILD 2 und BILD 3 zu erkennen.

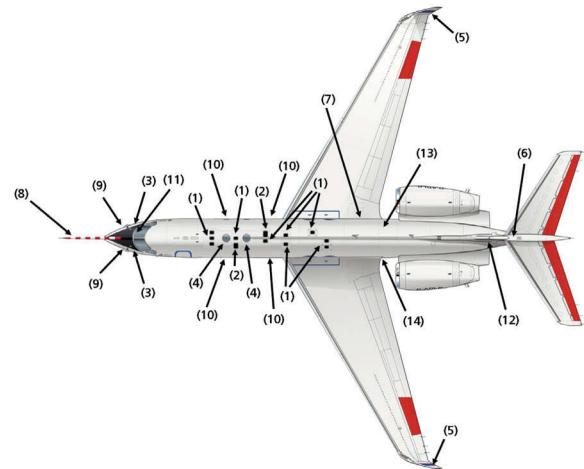


BILD 1. HALO Modifikationen in der Aufsicht:

- (1) Rumpfdurchbruch „klein“, (2) Rumpfdurchbruch „groß“, (3) Wartungsöffnung zum Befestigungspunkt im Nasencompartment, (4) Rumpfdurchbruch für optische Fenster, (5) Befestigungspunkt am Winglet, (6) Befestigungspunkt am Leitwerk, (7) Experiment-Kühlsystem, (8) Nasenmast mit Sensorträger, (9) TAT-Sensor Befestigungspunkt (6x), (10) Fensterträger seitwärts, (11) Kamera nach vorne (Cockpit), (12) Kamera nach vorne (Leitwerk), (13) Kamera nach oben, (14) Separate Experiment-Stromversorgung am Boden

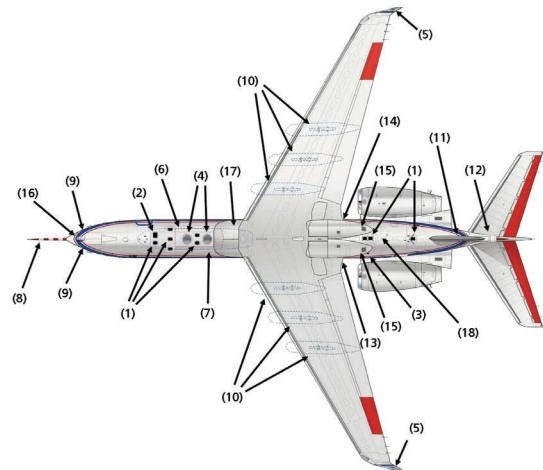


BILD 2. HALO Modifikationen von unten:

- (1) Rumpfdurchbruch „klein“, (2) Rumpfdurchbruch „groß“, (3) Rumpfdurchbruch für Dropsonden, (4) Rumpfdurchbruch für optische Fenster, (5) Befestigungspunkt Winglet, (6) Fensterschutz (abnehmbar), (7) Unterrumpfbehälter (abnehmbar), (8) Nasenmast mit Sensorträger, (9) TAT-Sensor Befestigungspunkt (6x), (10) Unterflügelbefestigungspunkt (6x), (11) Stabilisierungsfläche (abnehmbar), (12) Vergrößerter Heckkonus (vorbereitet) mit Befestigungspunkt, (13) Abluft des Experiment-Kühlsystems, (14) Separate Experiment-Stromversorgung am Boden, (15)

Abgasleitung für chemische Experimente, (16)
Kamera des Enhanced Vision Systems, (17)
Kamera nach unten, (18) Kamera nach hinten

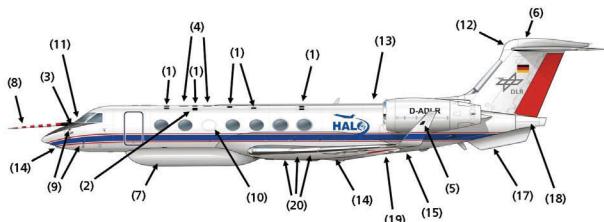


BILD 3. Seitenansicht von HALO:
(1) Rumpfdurchbruch "klein", (2) Rumpfdurchbruch "groß", (3) Wartungsöffnung zum Befestigungspunkt im Nasencompartment, (4) Rumpfdurchbruch für optische Fenster, (5) Befestigungspunkt am Winglet, (6) Befestigungspunkt am Leitwerk, (7) Unterrumpfbehälter (abnehmbar), (8) Nasenmast mit Sensorträger, (9) TAT-Sensor Befestigungspunkt (6x), (10) Fensterträger seitwärts, (11) Kamera nach vorne (Cockpit), (12) Kamera nach vorne (Leitwerk), (13) Kamera nach oben, (14) Kamera des Enhanced Vision Systems, (15) Kamera nach unten, (16) Separate Experiment-Stromversorgung am Boden, (17) Stabilisierungsflösse (abnehmbar), (18) Vergrößerter Heckkonus (vorbereitet) mit Befestigungspunkt, (19) Abgasleitung für chemische Experimente, (20) Unterflügelbefestigungspunkt (6x)

3.1. Rumpfdurchbrüche

Rumpfdurchbrüche sind die vielleicht wichtigste Schnittstelle für alle in situ Experimente, beinhalten aber auch die großen Fensteröffnungen für die Fernerkundungsinstrumente. HALO verfügt über mehr als 30 solcher Öffnungen, die über den gesamten Rumpf verteilt sind. Sie sind so weit als möglich standardisiert, was ihre Größe und mechanische Auslegung angeht, um einen einfachen Wechsel von Instrumenten zwischen verschiedenen Öffnungen zu erleichtern. Zwei Grundgrößen bei der einfachen Öffnung und zwei verschiedene Fenstergrößen sind verfügbar. Alle Durchbrüche sind so ausgelegt, dass sie erhebliche Luflasten externer Aufbauten aufnehmen können. Die Öffnungen können aber auch als Befestigungspunkt (Hardpoint) selber genutzt werden. So ist eine direkte Anbringung von Instrumenten an den entsprechenden Deckeln möglich. Eine umfangreiche Dokumentation legt die hierfür geltenden maximalen Gewichte und Hebel klar fest.

Die Realisierung dieser Ausschnitte erforderte tiefgreifende Eingriffe in die Flugzeugstruktur. Doppler- und Triplerbleche auf dem Rumpf, gefräste Rahmen sowie zahlreiche Strukturverstärkungsmaßnahmen waren nötig, um diese Eingriffe zu kompensieren und die geforderten Lastaufnahmen an den Öffnungen zu gewährleisten. Zahlreiche Flugzeugsysteme mussten verlegt werden, um den erforderlichen Einbauraum im Bereich dieser Öffnungen zu gewährleisten.

3.1.1. Standardöffnung

Die Standardöffnung hat eine Größe von 7"x10" (180mm*250mm). Es wurden 10 dieser Öffnungen auf der Rumpfoberseite und 9 auf der Unterseite realisiert. Die Öffnungen sind gegeneinander so weit als möglich versetzt, um Wechselwirkungen zwischen Einlasssystemen zu minimieren.

3.1.2. Sondergrößen

Es existieren drei Öffnungen – davon zwei nach oben gerichtet mit dem doppelten Maß von 14"x10" (360 mm*250 mm), die dazu bestimmt sind besonders große Durchführungen und Installationen aufzunehmen.

Ein weiterer kleiner Durchbruch befindet sich im Gepäckraum. Die Öffnung von 6"x4" (150mm *100mm) wird zum Abwurf von sogenannten Dropsonden genutzt und trägt das entsprechende Abwurf-Rohr, das aus der Kabine nach außen ragt.

3.1.3. Fenster für optische Anwendungen

Die Aufnahmen für optische Fenster haben einen Durchmesser von 515mm und sind beispielsweise in der Lage hochwertige Quarzfenster aufzunehmen aber auch externe und interne Installationen zu tragen. Es gibt je zwei dieser Fensteröffnungen auf der Rumpfober- und Unterseite. Die seitlichen Träger für Experimentfenster basieren auf den Standard-Fenstereinsätzen des Basisflugzeuges und sind daher auf 430mm Durchmesser beschränkt, haben aber den Vorteil, dass sie in jeder Fensterposition des Basisflugzeuges installiert werden können. Eine Besonderheit stellt die Tatsache dar, dass jeweils drei Fenster (oben, unten und seitlich) auf der gleichen Achse sitzen, was interessante Anwendungen mit wechselnder Beobachtungsrichtung erlaubt.

Die Fensterinstallation im Bodenbereich des Flugzeugs ist von einer Schutzwand (FOD-Barrier) umgeben, um die unter dem Boden befindlichen Flugzeugsysteme zu schützen. HALO verfügt ferner über eine Scheiben-Enteisungsanlage, bei der jede dieser Fensteröffnungen mit warmer, trockener Luft aus der Klimaanlage angeblasen werden kann, um Kondensationseffekte auf den Scheiben beim Flug in großer Höhe zu verhindern. Instrumente von bis zu 130kg können direkt über den Rahmen der großen unteren Fensteröffnungen angebracht werden.

Die nach unten weisenden Fensteröffnungen müssen bei Start und Landung vor Verschmutzung und Beschädigung geschützt werden. Dies wird über eine mechanische Schutzbdeckung erreicht, die erst im Flug die Fenster frei gibt. Der gesamte Mechanismus ist in einen Außenanbau integriert, der direkt unterhalb der Fenster am Rumpf befestigt wird. Er kann bei Nichtverwendung entfernt werden, um unnötiges Gewicht und Luftwiderstand zu vermeiden.

3.2. Modifikationen in der Flugzeugkabine

In der Kabine wurden zahlreiche Modifikationen durchgeführt, um die Installation und den Betrieb von Sensoren in zu erleichtern. Hierzu zählen:

- Die Anbringung zusätzlicher Sitzschienen am Kabinenboden, oberhalb der Kabinenfenster und an der Kabinendecke, um die Befestigung und Zulassung schwerer Messeinbauten zu vereinfachen.
- Eine „Missionszentrale“ in der Kabine für den Leiter des Experimentes mit diversen Kommunikations- und Flugzeugschnittstellen.
- Ein zentrales Interface-Panel mit direkter Anbindung von Flugzeugsystemen und SATCOM-Anlage
- Intercom-Anschlüsse für Experimentatoren in der gesamten Kabine
- Je eine Abgasleitung rechts und links in der Kabine
- Je einen langen Installationsschacht z.B. für Kabel rechts und links entlang der Kabine
- Kabelkanäle entlang der Decke (2x) und unter dem Boden (2x) um elektrische Leitungen von einer Kabinenseite auf die andere zu führen.
- Glatter Kunststoffboden in der Kabine zur Reduzierung der Staubbelaustung für empfindliche Einbauten
- Innenverkleidung aus Steppmatten für einfachere Installation und Zugänglichkeit
- Spezialsitze mit 5-Punkt-Gurt und vielen Verstellmöglichkeiten

3.3. Außenlasten

HALO besitzt zahlreiche Möglichkeiten große Instrumente außerhalb der Kabine zu installieren. Hierzu sind zwei Möglichkeiten vorgesehen: Die Anbringung von Außenlasten unter den Tragflächen und die Installation eines Unterrumpfbehälters im vorderen Teil des Flugzeuges.

3.3.1. Unterrumpfbehälter

Der fast 7m lange Unterrumpfbehälter bietet über 2m³ Einbauraum und Befestigungsmöglichkeiten für Instrumente mit einem Gewicht von bis zu 350kg. Nutzlast und Verkleidung sind mechanisch voneinander getrennt, die verwendeten Geräte werden direkt am Rumpf von HALO befestigt. Der darüber liegende Behälter ist hochmodular aufgebaut. So können beispielsweise schnell Segmente mit anderen Materialeigenschaften oder spezifischen Öffnungen ausgetauscht werden. Öffnungen in der Wandung erlauben die eingeschränkte Anbringung von Anbauten, die kompatibel mit den Standard-Öffnungen im Rumpf sind. Auch ist die Installation eines Fensters in diesem Radom möglich, um zumindest eine der optischen Beobachtungsöffnungen des Basisflugzeugs weiter nutzen zu können.

Um einen Verlust an Längsstabilität zu kompensieren gibt es am Heck des Flugzeuges eine abnehmbare Stabilisierungsfläche.

3.3.2. Unterflügelbehälter

HALO verfügt über sechs Befestigungspunkte unter den Flügeln, die variabel genutzt werden können. Jeder

Befestigungspunkt kann eine Nutzlast von bis zu 400kg tragen. Zu diesem Zweck wurden zwei Versionen eines Instrumententrägers entworfen.

Zum einen kann ein etwa 4,5m langer Pod mit einem Durchmesser von 0,5m eingesetzt werden. Dieser Pod ist modular aufgebaut und verfügt über einen zentralen Instrumententräger und zahlreiche Öffnungen um verschiedene in situ und Fernerkundungsinstrumente einzusetzen.

Zum anderen existiert ein Träger für Partikelmesssonden, der bis zu drei dieser zylindrischen Instrumente nebeneinander vor dem Flügel platziert. Dadurch soll erreicht werden, dass die Messungen in einer vom Flugzeug möglichst unbeeinflussten Atmosphäre erfolgen. Die Ausrichtung und Formgebung dieses Trägers basiert daher auch auf umfangreichen Strömungsanalysen für diesen Bereich.

3.4. Zusätzliche Befestigungspunkte

HALO besitzt weitere Befestigungsmöglichkeiten für Instrumente, die über den gesamten Rumpf verteilt sind:

- Im unbedruckten Nasencompartment existiert ein Hardpoint für maximal 30kg, der bereits für Basismessausstattung genutzt wird. Handlochdeckel auf der Oberseite der Nase ermöglichen einen Zugang, ohne den Radom des Flugzeuges demontieren zu müssen.
- Zusätzliche Hardpoints befinden sich auf der Rumpfoberseite im Bereich zweier Standardöffnungen (max. 50kg)
- Im unteren Rumpfbereich gibt es eine vergleichbare Anordnung um die Standardöffnungen im Gepäckraum (max. 50 kg).
- Im unbedruckten Heck des Flugzeuges befindet sich ein Hardpoint für bis zu 100kg direkt oberhalb der Standardöffnung in diesem Bereich.
- Innerhalb des Heckkonus existiert ein Befestigungspunkt für Nutzlasten von bis zu 40kg
- Auf dem Leitwerk sind Installationen von bis zu 20kg möglich.
- An jedem Winglet können bis zu 5kg Nutzlast installiert werden.

Im Prinzip kann allerdings jede der bereits beschriebenen Öffnungen im Flugzeug aufgrund der umfangreichen Interface-Dokumentation als Befestigungspunkt für Instrumente genutzt werden.

3.5. Experimentstromversorgung

Um wissenschaftliche Experimente elektrisch zu versorgen verfügt HALO über eine eigenständige Experimentstromversorgung, deren „Schaltzentrale“ im hinteren Kabinenbereich untergebracht ist. Diese Installation beinhaltet Spannungswandlung, -verteilung und -absicherung sowie eine Anzeigeeinheit zur Kontrolle und Analyse der elektrischen Versorgung.

Da diese Einheit nur als Sekundärsystem an der eigentlichen elektrischen Flugzeugverteilung hängt, kann sie jederzeit im Flug aus dem Cockpit heraus deaktiviert werden. Auch bei Störungen in der Hauptstromversorgung

des Flugzeuges schaltet sie sich sofort selbstständig ab.

Am Boden kann das System mit einem eigenen externen Stromanschluss versorgt werden, ohne dass andere Flugzeugsysteme aktiviert werden müssen, was den Betrieb von HALO zwischen den Flügen sehr vereinfacht.

Die Experimentstromversorgung stellt mindestens 42kW unter allen Bedingungen bereit. Die verfügbaren Spannungen sind dabei:

- 3 Phasen ,115VAC, 400Hz (Grundversorgung)
- 3 Phasen ,115VAC, 400Hz Anti-Ice
- 230VAC, 50Hz (single phase)
- 28VDC

Die experimentelle Anti-Ice Versorgung wird in Übereinstimmung mit dem aktuellen Status der Primär-Flugzeugsysteme geschaltet, am Boden ist sie deaktiviert. Die verschiedenen Spannungen sind praktisch überall im Flugzeug über genormte Stromverteilungsboxen verfügbar, wie man in BILD 4 sehen kann.

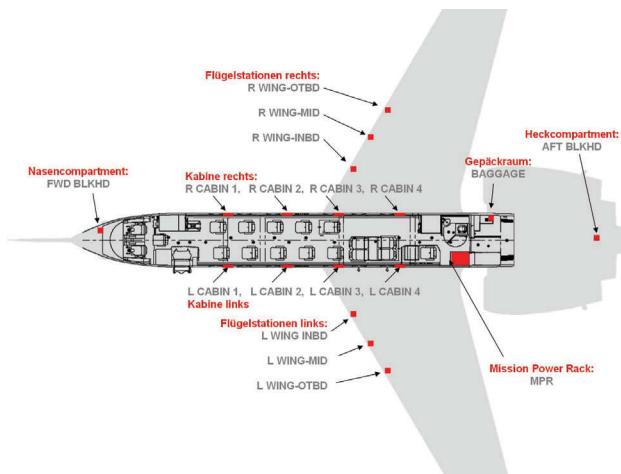


BILD 4. Verteilungsstationen für die Experimentstromversorgung auf HALO

3.6. Sonstige Modifikationen

3.6.1. Nasenmast

Der Nasenmast auf HALO trägt eine 5-Loch Strömungssonde, die der Messung von Drucken und Anströmwinkeln dient. Die Auslegung des Mastes basiert auf der Vorgabe, dass eine möglichst große Länge mit akzeptablen Eigenschwingungsfrequenzen kombiniert wird. Dies ist essentiell um hohe Genauigkeiten bei der Messung der Strömungsverhältnisse zu garantieren.

Die Besonderheit des Nasenmastes auf HALO ist ein Instrumententräger (max. Nutzlast 3kg), der sich direkt hinter der Strömungssonde im Mast befindet. Dieser Träger nimmt die gesamte Druckmesstechnik auf. Dadurch ist gewährleistet, dass die klassischen Nachteile eines Nasenmastes bzw. der üblicherweise notwendigen langen Schlauchverbindungen bei HALO nicht zum Tragen kommen. Der Mast enthält zusätzlich zwei Leerrohre für Spannungsversorgung und Datenleitungen dieses Sensorpakets.

3.6.2. Enlarged Tailcone

HALO ist dafür vorbereitet, dass der vorhandene Heckkonus durch ein größeres Exemplar ersetzt werden kann, um beispielsweise größere Instrumente an den darunter befindlichen Hardpoints zu befestigen oder Installationen (wie z.B. Fenster) zu realisieren, die mit der originalen Form des Konus nicht möglich sind.

3.6.3. Modifikationen am Druckspant

An vielen Stellen müssen elektrische Verbindungen zu Installationen in unbedruckten Bereichen (z.B. Nase, Heck, Flügel, Unterrumpfbehälter) geschaffen werden. Um solche Installationen an Druckschotts zu vereinfachen, befinden sich an allen relevanten Übergängen druckdicht verschraubte Metallplatten, die relativ einfach entnommen, mit entsprechenden Steckern bestückt wieder eingesetzt oder ganz ausgetauscht werden können.

3.6.4. Leerrohre und Kabelkanäle

Neben den großen Kabelkanälen in der Kabine gibt es zu jedem Befestigungspunkt am Flugzeug geeignete Kabelverlegerohre, die missionspezifisch genutzt werden können. Rohre führen z.B. zu:

- Flugzeughase
- Flugzeugheck
- Heckkonus
- Leitwerk
- Winglet
- und allen Flügelstationen.

3.6.5. Vorverlegte Kabelinstallationen

Durch den Flugzeughersteller wurden bereits umfangreiche Signalkabel zu exponierten Stellen verlegt, um die vorhandenen Leerrohre nicht von Anfang an zu blockieren. Dies betrifft die Messleitungen zur Basissensorik in Flugzeughase+Nasenmast, Datenleitungen in das Flugzeugheck, aber auch Ethernet und optische Signalkabel zu jeder einzelnen Flügelstation.

3.6.6. Sensorträger auf der Flugzeughase

HALO trägt 6 sogenannte Total Air Temperature (TAT) Gehäuse im vorderen Bereich der Flugzeughase, die für Temperaturmessungen, aber auch als Einlasssystem für Feuchtemessungen genutzt werden.

3.6.7. Experiment-Kühlsystem

Es ist geplant elektrische Großverbraucher wie z.B. Hochleistungslasersysteme oder Radargeräte auf HALO zu fliegen. Da diese Systeme in der Regel erhebliche Abwärme produzieren, verfügt HALO über ein Kühlungssystem, das diese Energie effizient über einen Flüssigkeitswärmetauscher aus der Kabine abführt. Der zugehörige Kühler sitzt in einem Luteinlasssystem, das in der rechten Flügelwurzel untergebracht ist.

3.6.8. Flugzeuginterfaces und Kommunikation

Um möglichst viele Daten auch zum Zustand des

Flugzeuges selbst zu erhalten, bietet HALO diverse Schnittstellen zu Flugzeugsystemen an, die von der bordeigenen Messanlage aufgezeichnet werden. Hierzu zählen:

- Air Data Computer
- Inertial Reference System
- TCAS
- Lightning Sensor System
- GPS
- Flight Management Parameter
- Wetterradar
- Sämtliche Kameras des Flugzeuges
- Kamera des Enhanced Vision Systems bzw. Headup Displays

Die meisten Signale laufen an einem zentralen Interface Panel in der Kabine auf, wo sie von der Messanlage abgegriffen werden.

Eine weitere sehr wichtige Schnittstelle gibt es zum zentralen Flugzeug-Datenbus, auf der praktisch alle relevanten Flugzeugparameter sichtbar sind.

HALO verfügt über eine leistungsfähige Satellitenkommunikationsanlage mit einer Übertragungsbandbreite von 256kb/s. Damit eröffnen sich zahlreiche Kommunikationsmöglichkeiten im Flug. So ist es möglich aktuelle Daten des Flugzeuges zum Boden zu schicken oder beispielsweise die Missionsplanung noch während eines Fluges zu optimieren, indem aktuelle Wetter- und Satellitendaten im Internet eingesehen werden können. Mehrere Iridium Systeme gewährleisten zusätzliche telefonische Kommunikation im Flug.

3.6.9. Messanlage und Basissensorik

Vom DLR-Flugbetrieb wurde für HALO eine Grundausrüstung meteorologischer Sensoren sowie eine zentrale Datenerfassung entwickelt, gebaut und installiert. Das Sensorpaket beinhaltet Strömungs- und Druckmesstechnik für Windmessungen, Temperaturmesstechnik sowie eine anspruchsvolle Feuchteanalyse.

Die Datenerfassung zeichnet analoge und digitale Sensoren mit bis zu 1kHz auf. Weitere Datenschnittstellen sind ARINC 429 und ASCB-D sowie analoge Videosignale. Die Anlage ist dafür vorbereitet Fremdsignale - beispielsweise von einzelnen Experimenten an Bord aufzuzeichnen. Dazu sind umfangreiche Schnittstellen auf einem Interface-Panel in der Kabine zugänglich. Auch die Verhältnisse im Flugzeug werden permanent erfasst, wobei z.B. bei der Überwachung der Experiment-Spannungsversorgung statistische Kenngrößen vorprozessiert und aufgezeichnet werden.

Teil des Systems ist ein hochpräzises Lagereferenzsystem, dessen Messkopf direkt unterhalb des Nasenmastes untergebracht ist, sowie ein Zeitserver, der für alle Experimente an Bord das Zeitnormal definiert. Ein separater Rechner prozessiert in Echtzeit die Daten der vorhandenen Sensoren und stellt sie über einen Netzwerkring in der Kabine als Quicklook zur Verfügung. Die endgültige Auswertung von Flugzeugdaten erfolgt zeitnah direkt nach jedem Flug.