



ATRA

Neue Dimensionen in
der Luftfahrtforschung





Einführung.....	4
Die Historie des Forschungsflugzeugs	6
Forschungsschwerpunkt Fluglärm	12
Forschungsschwerpunkt Passagierkomfort	14
Forschungsschwerpunkt Aerodynamik – Hochauftriebsforschung	16
Forschungsschwerpunkt Aerodynamik – Laminarforschung.....	18
Forschungsschwerpunkt Flugsystemtechnik.....	20
Forschungsschwerpunkt Messtechnik	22
Cockpit und Basismessanlage	24
Technische Daten.....	26
Impressum	27



Der Airbus wurde auf den Namen „Otto Lilienthal“ getauft

Forschungsflugzeug für die Luftfahrt der Zukunft

Allein am größten deutschen Flughafen in Frankfurt am Main starten durchschnittlich rund 700 Flugzeuge am Tag. Das bedeutet, alle zwei Minuten hebt eine Maschine am Frankfurter Flughafen ab. Um das unfallfrei abwickeln zu können, muss der Flugverkehr geregelt sein, vor allem aber müssen auch die Flugzeuge sicher und zuverlässig sein. Sicherheit, Effizienz, Umweltverträglichkeit und Passagierkomfort sind zentrale Forschungsthemen, um die Luftfahrt weltweit spürbar zu verbessern und weiterzuentwickeln.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreibt neben Grundlagenforschung vor allem anwendungsorientierte Luftfahrtforschung. Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit der nationalen

und europäischen Luftfahrtindustrie und Luftverkehrswirtschaft zu stärken und den Anforderungen von Politik und Gesellschaft nachzukommen.

Das DLR stellt sich der Herausforderung, den stark wachsenden Luftverkehr effizient, umweltfreundlich und nachhaltig zu gestalten. Mit der Kapazität seiner Institute, der Beteiligung an Windkanälen und der eigenen Forschungsflugzeugflotte kann das DLR das Lufttransportsystem als Ganzes betrachten. Die Forschung gliedert sich in die Gebiete Starrflügler, Drehflügler, Antriebssysteme, Air Traffic Management und Flugexperimente.

Mit 13 eigenen Flugzeugen und Hubschraubern ist das DLR der größte zivile Betreiber von Forschungsflugzeugen in Europa und aus der Luftfahrtforschung

nicht wegzudenken. Damit kann es fast jede Mission übernehmen, sei es für die DLR-Institute oder für externe Kunden. Das größte Forschungsflugzeug des DLR ist der Advanced Technology Research Aircraft (ATRA). Der Airbus A320 ist seit Ende 2008 für das DLR im Einsatz. ATRA ist eine moderne und flexible Flugversuchsplattform, die nicht nur größtmäßig einen neuen Maßstab für fliegende Versuchsträger in der europäischen Luftfahrtforschung setzt.

ATRA dient beispielsweise der Erprobung von aeroelastischen Messverfahren, der Erforschung der Innenraumakustik, der Messung von Umströmungslärm und Turbulenzen am Flügel und am Leitwerk sowie Atmosphären- und Triebwerksmessungen.

Doch auch für Versuche, die den Menschen direkt betreffen, wird ATRA genutzt, zum Beispiel zur Untersuchung der Arbeitsbelastung und der Arbeitsverteilung von Piloten im Cockpit. Ebenso werden Komfort- und Sicherheitskonzepte in der Kabine erforscht und neue Kommunikationstechnologien im Flug und am Boden erprobt.

Die Grundausstattung des Flugzeugs wird Schritt für Schritt weiterentwickelt und das Einsatzspektrum ausgedehnt. Viele Ein- und Umbauten im ATRA sind stark an einzelne Experimente gebunden und somit nur temporär. Durch die Flexibilität des Flugzeugs eignet es sich ausgezeichnet für die verschiedensten Missionen. Als moderne Forschungsplattform für Fragen der Aerodynamik, Avionik und Triebwerksforschung ist der ATRA einzigartig in Europa.



Die Turbine ist die treibende Kraft, um das Flugzeug in Bewegung zu setzen – und wesentliche Quelle für Lärm



Mit einer Flügelspannweite von 34,10 Metern ist der Airbus A320 das größte Forschungsflugzeug in Europa



In einer aufwändigen Messkampagne nutzen die Lärmforscher den ATRA für eine Reihe von Triebwerksstandläufen in der Lärmschutzhalle der Lufthansa Technik



Seit 2006 gehört der ATRA zur Forschungsflotte des DLR



Forschungsthema Lackierungstechnologie und gleichzeitig Hommage an Otto Lilienthal



Die Historie des Forschungsflugzeugs



Eckdaten zur Historie des ATRA:

1997 – 2006	Erstflug: März 1997 – Aero Lloyd Späterer Betreiber: FlyNiki
2006	14.03.2006: Unterzeichnung des Kaufvertrags für den Airbus A320-232 MSN 659 12.06.2006: D-ATRA landet erstmals in Braunschweig. Für Umbauten am Flugzeug wird die Halterschaftsverantwortung auf den Airbus-Entwicklungsbetrieb übertragen. Darauf folgen Modifikationen beim Hersteller: – erster Einsatz als Flugversuchsträger beim Hersteller, – Zertifizierung div. Retrofit-Kits mit Hilfe von ATRA, – Umbau vom Airliner zum Flugversuchsträger: – Einbau der Basissensorik und -messanlage, – Avionik-Upgrade, – Antennenmodifikationen (SatCom, S-Band Datenlink, GPS, ...).
2008	Der ATRA wird auf der ILA 2008 als Fuel Cell Demonstrator in Kooperation mit Airbus im Static Display ausgestellt Die Experimental-Brennstoffzelle wird während des Publikumbetriebs demonstriert: – elektrische Versorgung der „blauen“ Hydraulikpumpe, – Bewegung der Steuerflächen, – Demonstration der Betriebsparameter des aktiven Brennstoffzellensystems.
2009	Seit 2009: Unter Airbus-Halterschaft werden mehrere Projekte vom DLR auf ATRA durchgeführt: – TVT (Taxi Vibration Test/Aerolastikforschung): erster DLR-Versuch auf ATRA, – LINA (GBAS Anflugverfahren/Flugführungsforschung), – FAGI (Rollwegsführung am Flughafen/Flugführungsforschung), – SINTEG (Kabinenklimatechnikforschung), – SIMKAB (Kabinenakustikforschung), – ELBASYS (Demonstration eines elektrisch angetriebenen Bugrads, welches von einer DLR-Brennstoffzelle elektrisch versorgt wird (Brennstoffzellenforschung)).

Vom Ferienflieger zum Forschungsflugzeug

2006 ist das Geburtsjahr des größten DLR-Forschungsflugzeugs ATRA (Advanced Technology Research Aircraft). Nach intensiven Verhandlungen unterschrieb das DLR im März 2006 den Kaufvertrag für einen Airbus A320 aus dem Besitz des Leasingunternehmens GOAL mit Sitz in München. Das Flugzeug (Baujahr 1997) war zuvor für verschiedene Fluggesellschaften unterwegs. Als Ferienflieger flog es die Sonnenziele Europas an.

Der heutige ATRA mit der Seriennummer MSN 659 absolvierte mit dem vorläufigen Kennzeichen F-WWIN am 24. Januar 1997 seinen Erstflug in Toulouse und wurde knapp sechs Wochen später als D-ALAE an die Fluggesellschaft Aero Lloyd ausgeliefert. Nach deren Insolvenz 2003 ging die Maschine dann als OE-LOE an die österreichische Airline FlyNiki.

Die erste offizielle Präsentation als neue Forschungsplattform des DLR fand am 12. Juni 2006 in Braunschweig statt. Danach ging ATRA erst einmal in die Werft zur Wartung bei Lufthansa Technik in Berlin-Schönefeld und anschließend für den Umbau zum Forschungsflugzeug zu Airbus in Hamburg-Finkenwerder. Zu den dort vorgenommenen Modifikationen gehörte der Einbau der Basissensorenanlage als zentralem Element der permanent eingebauten Flight Test Installation (FTI) im vorderen Bereich der Kabine. Sie erfasst die Messdaten der ohnehin am ursprünglichen A320 vorhandenen Basissensoren sowie die Daten wech-

selnder Experimentaleinbauten. Zudem wurde eine zusätzliche Stromversorgung an Bord für bis zu acht Gerätestationen eingerichtet. Im Cockpit wurden Voraussetzungen geschaffen, um bei Bedarf ein zusätzliches Display zur Darstellung von Versuchsdaten für die Piloten installieren zu können. Dazu kamen zahlreiche Antennen sowie Vorkehrungen für die Anbringung von Kameras, Drucksensoren und Kabeln.

Mit der Anschaffung des A320 ATRA erreichte die Flotte der in Braunschweig stationierten Forschungsflugzeuge des DLR auch größtmäßig eine neue Dimension. Deshalb musste ein neuer Hangar gebaut werden, dessen Einweihung im April 2010 stattfand. Im Rahmen dieser Feierlichkeit wurde der ATRA, der die ersten Jahre noch in der alten Niki-Lackierung geflogen war, in seinem neuen Kleid in DLR-Farben und mit einem eigenen Namen der Öffentlichkeit vorgestellt. Der damalige DLR-Vorstandsvorsitzende Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner, der damalige DLR-Luftfahrtvorstand Prof. Dr.-Ing. Joachim Szodrich und die Flugzeugmechanikerin Regina Gebhard tauften den Airbus auf den Namen des Flugpioniers Otto Lilienthal.

Betrieben wird der ATRA wegen der Herstellerkompetenz im Hinblick auf die für Forschungseinsätze notwendigen Modifikationen an der Maschine in enger Kooperation zwischen dem DLR und Airbus, wobei sich die Partner die Nutzungsphasen teilen. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt hatte das

Flugzeug als Eigner während der ersten Umbauphase an Airbus verleast. Deshalb erhielt die Maschine vorübergehend die französische Zulassung F-WWDB und erst anschließend das endgültige deutsche Kennzeichen D-ATRA. Seit September 2012 liegt der Betrieb des ATRA voll in der Verantwortung des DLR. In Vorbereitung auf diese große Verantwortung war es notwendig, sowohl den DLR-Flugbetrieb als auch vor allem den eigenen luftfahrttechnischen Entwicklungsbetrieb im Hinblick auf den Betrieb eines Airbus A320 als Forschungsflugzeug zu ertüchtigen.

Seine öffentliche Premiere als Forschungsflugzeug erlebte der A320 ATRA bereits 2008 auf der Internationalen Luft- und Raumfahrtausstellung ILA auf dem Flughafen Berlin-Schönefeld als Fuel Cell Demonstrator. Im Rahmen einer Forschungs Kooperation mit dem DLR hatte Airbus die Maschine mit einem emissionsfreien Brennstoffzellensystem des Herstellers Michelin ausgestattet. Um den Einbau zu ermöglichen, erhielt der ATRA ein Frachtladesystem, mit dem die Experimental-Brennstoffzelle einschließlich der benötigten Infrastruktur und Wasserstoffversorgung im hinteren Frachtraum installiert und fixiert werden konnte. Dann galt es, die Computer und Messinstrumente für die Überwachung der Anlage während der Flugversuche in der Kabine einzubauen und mit der Basissensorenanlage zu vernetzen. Im Rahmen der anschließenden Flugversuche wurde das zentrale „blaue Hydrauliksystem“ des ATRA mit der elektrischen Energie

der Brennstoffzelle betrieben. Als Teil der gesamten Flugzeughydraulik ist dieses „blaue Hydrauliksystem“ ein zentrales Basissystem des Flugzeugs, welches für die Bewegung der Steuerflächen im Flug verantwortlich ist. Da die Brennstoffzelle somit einen gravierenden Anteil an der Steuerung des ATRA übernommen hat, wurde sie durch unterschiedlichste Flugmanöver auf Herz und Nieren geprüft.

Der nächste Meilenstein bei der Einführung des neuen Forschungsflugzeugs folgte 2009 mit dem Taxi Vibration Test (TVT). Damals noch in Airbus-Halterschaft war dies hinsichtlich Planung, Koordination und Durchführung die erste eigene Testkampagne des DLR mit dem ATRA auf dem Sonderflughafen Manching bei Ingolstadt bei der Wehrtechnischen Dienststelle 61. Für diesen TVT befestigten die Forscher nicht weniger als 140 Sensoren zur Messung der lokalen Beschleunigungen an Rumpf, Tragflächen, Triebwerken und Leitwerk des DLR-Jets. Beim TVT handelt es sich um eine Ergänzung des stationären Standschwingungsversuchs (Ground Vibration Test – GVT), mit dem Ziel, diesen für die Zulassung eines Flugzeugs vorgeschriebenen GVT in seinem Umfang zu reduzieren. Anstatt elektrodynamischer Schwingungserreger beim GVT nutzen die Forscher beim Rolltest die zufälligen Schwingungsanregungen des Flugzeugs durch die Unebenheiten auf dem Taxiway für ihre Messungen. So wird vor dem Erstflug eines Flugzeugs sichergestellt, dass es im Flug nicht durch eine Überlagerung verschiedener Eigenschwingungsformen

zu den gefürchteten Flattererscheinungen kommt, die im Extremfall zu einem Strukturbruch und zum Absturz führen können. Beim GVT wird deshalb überprüft, ob die zuvor per Computersimulation ermittelten Schwingungsfrequenzen und -formen mit denen am tatsächlichen Flugzeug übereinstimmen.

Ebenfalls im Jahr 2009 erprobte das DLR mit dem ATRA erstmals neue Anflugverfahren, die leiser sind und weniger Treibstoff verbrauchen. Am Forschungsflughafen Braunschweig-Wolfsburg erfolgten erste Anflüge mit anschließenden Durchstartmanövern. Geprüft wurde der Advanced Continuous Descent Approach (ACDA) – ein Verfahren, bei dem sich die Flugzeuge bis zur Landung nicht in Etappen, sondern kontinuierlich im Sinkflug befinden. Dabei absolvierten die Piloten sowohl vom Autopiloten als auch manuell gesteuerte Anflüge auf vorgegebenen Routen, die ihnen auf dem speziell für diese Anflugversuche zusätzlich im Cockpit installierten Display dargestellt wurden.

Im Sommer 2011 war der A320 ATRA auf dem Wertgelände der Lufthansa Technik am Flughafen Hamburg-Fuhlsbüttel, um erneut den Einsatz einer bord-eigenen Brennstoffzelle zu testen. Mit einer Leistung von 20 Kilowatt lieferte sie diesmal die Energie für einen vom DLR gemeinsam mit Airbus und Lufthansa Technik entwickelten Antrieb, der aus zwei Elektromotoren bestand, die in die beiden Felgen des Bugrads eingebaut wurden. In einer weltweit erstmaligen und einzigartigen Demonstration beweg-

te sich der ATRA bei abgeschalteten Triebwerken vollkommen eigenständig und zu 100 Prozent emissionsfrei mit dem über die Brennstoffzelle betriebenen elektrischen Bugrad.

Um die Bedürfnisse interner und externer Wissenschaftler zu koordinieren und eine hohe Auslastung der in Europa einmaligen fliegenden Forschungsplattform dieser Größenordnung zu gewährleisten, wurde beim DLR die Abteilung ATRA-Management gegründet. Ihr Aufgabenbereich erstreckt sich von der Akquisition von Nutzern über Belegungsplanung, Koordination der Flugversuche sowie Identifikation und Umsetzung versuchsrelevanter Modifikationen am Flugzeug bis hin zur „Full Service“-Betreuung der Nutzer bei den Forschungsprojekten. Bereits während der Einführungsphase und schließlich mit dem Halterschaftswechsel von Airbus zum DLR im September 2012 fanden zahlreiche weitere Testkampagnen mit dem ATRA statt, die in Forschungsschwerpunkten zusammengefasst in dieser Broschüre dargestellt sind.

Eckdaten zur Historie des ATRA (Fortsetzung):

2010	2010: Lackierung des ATRA im Livery der DLR-Flugzeugflotte 15.04.2010: – Einweihung des neuen Hangars in Braunschweig als Teil der Beschaffung von ATRA, – erstmalige Landung des ATRA im neuen Livery (nach der Lackierung) in Braunschweig, – Taufe auf den Namen „Otto Lilienthal“.
2012	2012: HINVA FV I: erstes gemeinsames LuFo-Projekt in Kooperation mit Airbus durchgeführt 13.09.2012: erster Halterschaftswechsel und erstmalige Übernahme des ATRA in den DLR-Entwicklungsbetrieb 09/2012: SIMKAB FV II: erstes vom DLR vollständig in Eigenverantwortung unter DLR-Halterschaft durchgeführtes Flugversuchsprojekt
2013 bis heute	2013: SANDRA: erstes auf dem ATRA durchgeführtes EU-Projekt, Thema: autonome Datenkommunikation 2014: WEAA: Projekt Wake Encounter Avoidance and Advisory System; erster gemeinsamer Flugversuch mit zwei DLR-Forschungsflugzeugen (Falcon D-CMET) zur Wirbelschleppenforschung 2014: ProWingS – LuFo-Voruntersuchung – Laminaforschung 2012 – 2014: mehrfache Nutzung des Flugzeugs als Development Aircraft bei Airbus mit entsprechend alternierender Halterschaftsverantwortung 2015: HINVA FV II: Weiterführung des LuFo-Projekts HINVA in Kooperation mit Airbus. Erstmalige Durchführung eines komplexen Flugversuchsprojekts in DLR-Halterschaftsverantwortung Bis heute: intensive Nutzung des Flugzeugs als Flugversuchsträger innerhalb des DLR und in Förderprojekten mit der Luftfahrt-Industrie





Flugvorbereitung für Testflüge zu lärmoptimierten Anflugverfahren

Forschungsschwerpunkt Fluglärm

Lärminderungsmaßnahmen an Flugzeugschallquellen

Seit etwa 20 Jahren sind Forschungsprojekte zur Minderung des Flugzeugaußengeräusches fester Bestandteil der nationalen und EU-weiten Forschungslandschaft.

Der mittlerweile für zahlreiche Lärminderungstechnologien und -methoden erreichte hohe Reifegrad dokumentiert den erzielten Fortschritt und damit die Notwendigkeit zur Durchführung von Flugversuchen im Sinne einer konsequenten Fortentwicklung und Validierung dieser Maßnahmen zur Reduzierung der komplexen aerodynamischen Schallquellen.

Nur mittels Flugversuchen kann die effektive Absenkung des Flugzeugesamtgeräusches am Boden, das heißt, der Nutzen für Anwohner in der Umgebung von Flughäfen, quantifiziert werden.

Betrachtet man das Triebwerkgeräusch, welches gemeinhin in diesem Zusammenhang als Erstes genannt wird, so kann zum Beispiel das Strahlgeräusch mittels modifizierter Düsenhinterkanten gemindert werden. Teilweise luftdurchlässige Bauteilabschirmungen an Fahrwerken oder die Anbringung poröser Werkstoffe an den Seitenkanten der Landeklappen sind zwei Beispiele für Maßnahmen zur Reduktion des sogenannten Umströmungsgeräusches, welches in Teilen des Landeanflugs die dominante Lärmquelle

eines Verkehrsflugzeugs ist. Zur Durchführung akustischer Überflugmessungen müssen zunächst alle Maßnahmen auf ein Flugzeug übertragen und dann für den Flugversuch vorbereitet werden.

Dass derartige, zum Teil sehr tiefgreifende Änderungen an einem Linienflugzeug nicht erprobt werden können, ist offensichtlich. Mit dem Forschungsflugzeug ATRA verfügt das DLR über einen Versuchsträger, der mit diesen innovativen Lärminderungsmaßnahmen ausgerüstet werden kann und so für akustische Überflugversuche einsetzbar ist. Die Nutzung des ATRA als Versuchsträger für Lärminderungsmaßnahmen erfolgt sowohl im Rahmen von EU-Forschungsprojekten als auch im Rahmen der DLR-internen Lärmforschung.

Minderung der Lärmverteilung am Boden durch lärmoptimierte Anflugprozeduren

DLR-Wissenschaftler betreiben ingenieurwissenschaftliche Forschungen im Vorfeld industrieller Entwicklungen. Sie sind auf den Gebieten der Flugführung und des Luftverkehrsmanagements tätig. Ein Schwerpunkt ist der Bereich „Operationelle Verfahren“.

Durch das immer größer werdende Verkehrsaufkommen im zivilen Luftverkehr werden Themen wie Fluglärm und Umweltverträglichkeit immer wichtiger. Durch die Entwicklung neuer Systeme zur Unterstützung von Präzisionsanflugverfahren ergeben sich Möglichkeiten für geänderte Anflüge, die die Lärmbelastung am Boden vermindern. In diesem Zusammenhang werden Anflüge untersucht, die zwei verschiedene Gleitpfadwinkel besitzen. Bei Anflügen mit einem

zunächst steileren Anflugwinkel befindet sich das Flugzeug in größerer Höhe über Grund. So kann der Lärmpegel am Boden im Vergleich zu flacheren Anflügen reduziert werden. Der finale Teil des Landeanflugs erfolgt dann mit einem standardisierten Anflugwinkel.

Um diese Anflugverfahren auch in der Realität testen zu können, wurde das DLR-Forschungsflugzeug ATRA modifiziert und die Anflüge am Forschungsflughafen Braunschweig-Wolfsburg durchgeführt. Damit wurden die Grundlagen geschaffen, um sie anschließend auch mit Linienflugzeugen zu untersuchen. Aktuell werden die Verfahren in Kooperation mit Fluggesellschaften im täglichen Betrieb getestet.

Assistenzsystem für lärmoptimierte Anflugverfahren

Fluglärm über bewohntem Gebiet vermindern: Das ist das Ziel eines Forschungsvorhabens, welches das DLR gemeinsam mit einem deutschen Verkehrsflughafen durchführt. Hierbei wird ein Pilotenassistenzsystem für ein lärmoptimiertes Anflugverfahren entwickelt und im realen Anflugbetrieb getestet. Oft ist es für Piloten schwierig, während der Landung, der allgemein arbeitsintensivsten Phase eines Flugs, unter Berücksichtigung der vorgegebenen Geschwindigkeiten die optimalen Zeitpunkte zum Ausfahren der Klappen und des Fahrwerks so zu wählen, dass ein Teil der Landephase komplett im besonders leisen und treibstoffsparenden Leerlauf stattfinden kann.

Um die Piloten bei der Umsetzung der Handlungsabläufe für einen möglichst lärmarmen Anflug zu unterstützen,

wurde von DLR-Wissenschaftlern in Braunschweig ein geeignetes Pilotenassistenzsystem entwickelt. Dieses System zeigt dem Piloten über ein Display im Cockpit an, wann exakt welche Handlung (Geschwindigkeitsänderung, Klappeneinstellung, Ausfahren des Fahrwerks) durchzuführen ist. Das System wurde bisher schon erfolgreich im Simulator und mit dem A320 ATRA bei Forschungsflügen ohne anderen umgebenden Flugverkehr an einem regionalen Verkehrsflughafen getestet. Der nächste Schritt war, das Assistenzsystem im Rahmen eines Realitätstests im Hochbetrieb eines europäischen Großflughafens auf seine Praxistauglichkeit hin zu testen.

Die Wetterlage, schlechte Sichtbedingungen, das Gewicht eines Flugzeugs oder auch die Vorgaben der Flugsicherung beeinflussen jede Landung auf ihre Weise. Die DLR-Forscher wollen erfahren, wie sich diese schwankenden Einflüsse auf das neue Assistenzsystem auswirken und wie Berufspiloten auf das System reagieren. Deshalb werden Piloten verschiedener Airlines nacheinander im Cockpit des ATRA neben einem DLR-Testpiloten Platz nehmen und die Anflüge durchführen. Vor den eigentlichen Flugtests werden umfassende Versuche im DLR-Forschungssimulator AVES (Air Vehicle Simulator) absolviert. Ein Großflughafen mit seinem hohen Flugverkehrsaufkommen ist eine ideale Bewährungsprobe für das neue Assistenzsystem. Bei den Tests kann über die bestehenden Lärm-Messstellen im Umfeld des Flughafens sehr gut bestimmt werden, wie deutlich die Lärminderung mittels der optimierten Anflugverfahren ausfällt.



ATRA im niedrigen Überflug während einer Lärmesskampagne



Mit Hilfe von Satellitennavigation und modernsten Flugzeugsystemen lassen sich Kurven mit festen Radien zwischen zwei Wegpunkten exakt planen und so gekrümmte Landeanflüge hochpräzise fliegen





Installation von Beschleunigungsaufnehmern an freigelegter Außenhaut der Flugzeugstruktur des ATRA

Forschungsschwerpunkt Passagierkomfort

Ob sich der Passagier auf einem Flug wohlfühlt, hängt in entscheidender Weise von der Geräuschkulisse innerhalb der Passagierkabine ab.

Um die Flugzeugkabine zu optimieren und für mehr Komfort zu sorgen, ist ein genaues Verständnis der lärmverursachenden Schallquellen und deren Übertragungswegen hin zum Passagier zwingend erforderlich. Dabei können je nach Flugzustand und Position im Innenraum unterschiedliche Geräusche dominieren. Von außen regen die Geräusche der Triebwerke und auch dynamische Effekte in der Rumpfgrenzschicht die Flugzeugstruktur zu Schwingungen an. Diese Schwingungen werden über die Rumpfstuktur an die Luft im Kabineninnenraum weitergeleitet und dort an den verschiedenen Sitzpositionen subjektiv als Kabinenlärm wahrgenommen. Als weitere Schallquelle wirkt das Klimaanlage-System im Innenraum.

Die bei modernen Verkehrsflugzeugen bisher noch weitestgehend unbekanntesten Anteile der einzelnen Schallquellen am Kabinenlärm werden mit dem ATRA in Messflügen untersucht. Dazu sind Messungen, in Abhängigkeit vom Flugzustand und der Position, an verschiedenen Rumpfssektionen der seriennahen Kabine nötig.

So kann sowohl die Stärke der einzelnen Quellen quantifiziert als auch das Übertragungsverhalten der Flugzeugzelle hinsichtlich der jeweiligen Quellen, Schalldrücke und -frequenzen bestimmt werden. In bisherigen Projekten konnte das DLR bereits erfolgreich bei unterschiedlichen Flugzuständen die akustisch relevanten Quellen, die lokalen Schwingungseffekte der Rumpfstuktur und den an den Passagierpositionen ankommenden Schalldruck aufzeichnen. Für die Messungen wurde ein komplexes akustisches Messsystem mit mehr als 250 Mikrofonen und Beschleunigungssensoren verwendet. Die erzielten Ergebnisse werden als Validierungsdaten für die numerische Modellierung des Kabinenlärms und somit zur Verbesserung der Simulations- und Auslegungstools für die Kabinenakustik von zukünftigen Verkehrsflugzeugen verwendet.

Das DLR erforscht im Rahmen von Flugversuchen mit dem ATRA auch neuartige Belüftungssysteme, die eine effiziente Wärmeabfuhr bei gleichzeitig hohem thermischem Passagierkomfort ermöglichen.

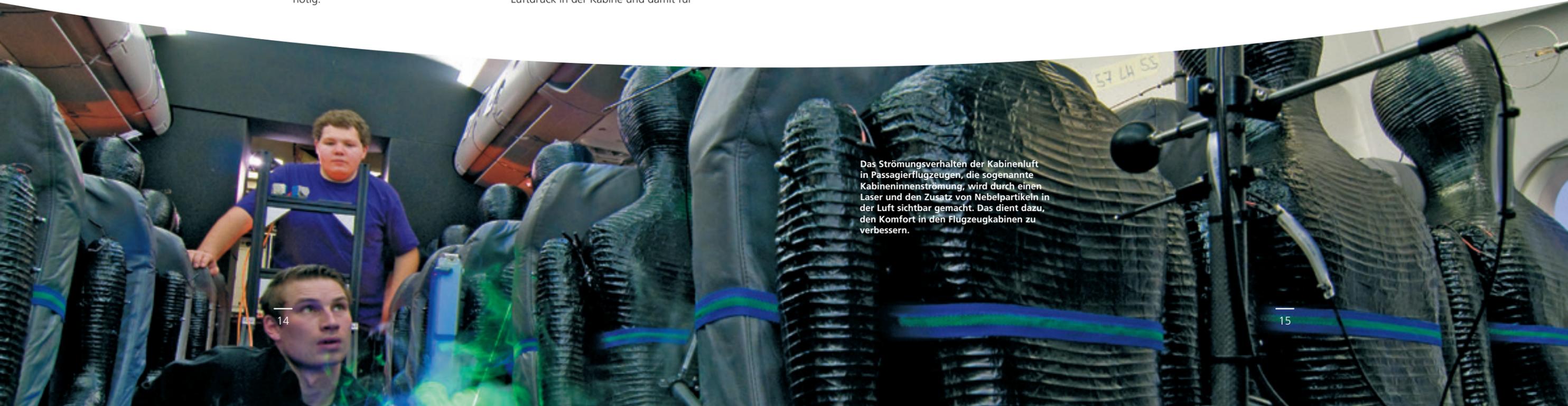
Die Klimaanlage moderner Passagierflugzeuge ist verantwortlich für den Luftdruck in der Kabine und damit für



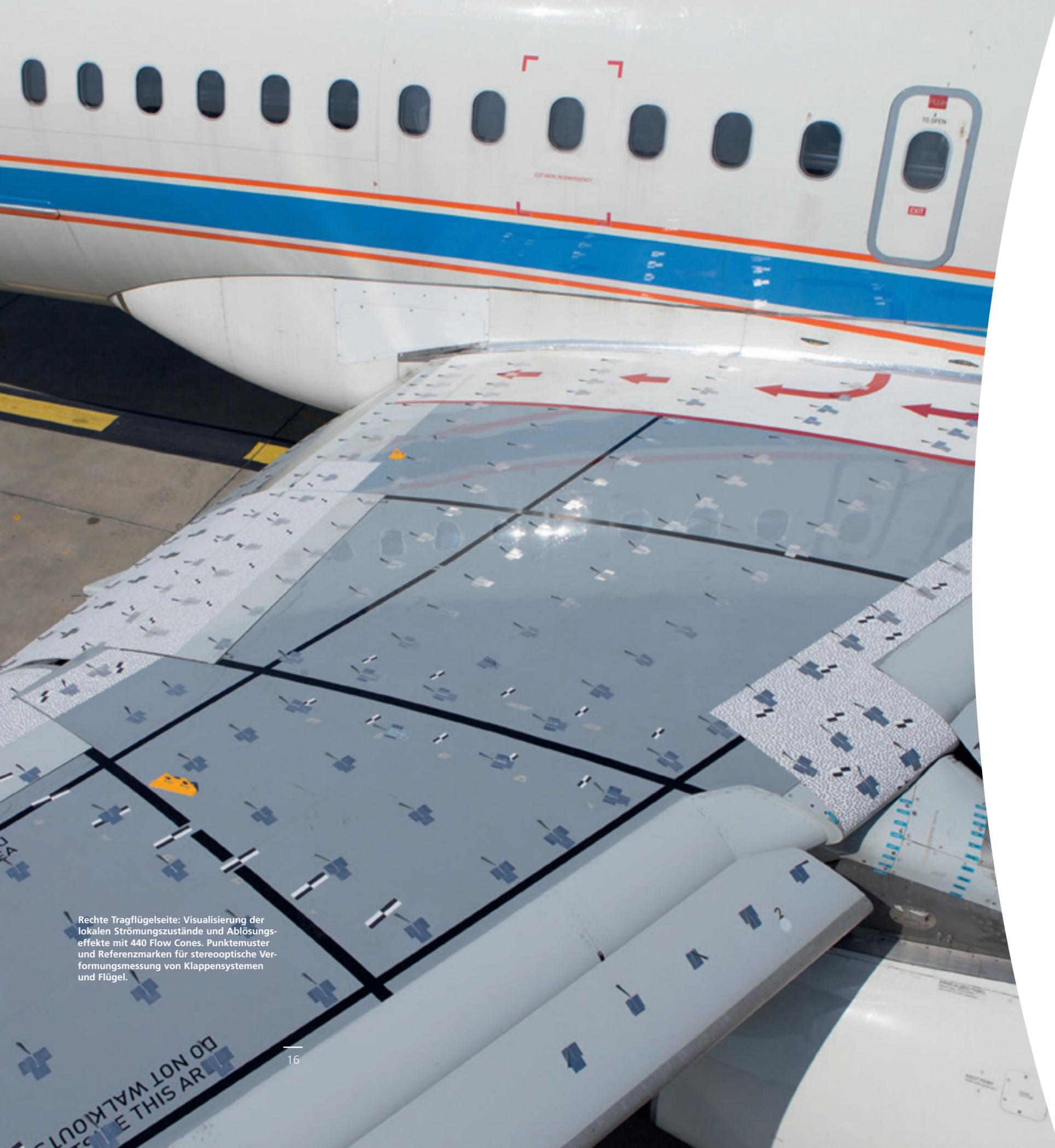
Messektion der mit stationären Mikrofonen instrumentierten Kabine. Akustische Trennung vom übrigen Teil der Kabine mittels Schaumtrennwand.

die Sauerstoffversorgung der Passagiere. Gleichzeitig hat sie die Aufgabe, die überschüssige Eigenwärme der Passagiere und der Bordelektronik abzuführen, um die Kabinentemperatur auf einem komfortablen Niveau zu stabilisieren. Steigende Passagierzahlen und der zunehmende Einsatz von Unterhaltungselektronik in modernen Passagierflugzeugkabinen erfordern hocheffiziente und gleichzeitig komfortable Belüftungssysteme.

Konventionellen Verfahren, die auf dem Prinzip der Mischlüftung beruhen, sind hierbei natürliche Grenzen gesetzt. Aus diesem Grund entwickelten die Forscher eine spezialisierte Kabinenmessanlage zur experimentellen Darstellung und Erfassung des Kabinenklimas, mit deren Hilfe neuartige Quelllüftungsverfahren sowie konventionelle Mischlüftungsverfahren unter realen Bedingungen untersucht werden.



Das Strömungsverhalten der Kabinenluft in Passagierflugzeugen, die sogenannte Kabineninnenströmung, wird durch einen Laser und den Zusatz von Nebelpartikeln in der Luft sichtbar gemacht. Das dient dazu, den Komfort in den Flugzeugkabinen zu verbessern.



Rechte Tragflügel­seite: Visualisierung der lokalen Strömungszustände und Ablösungs­effekte mit 440 Flow Cones. Punktemuster und Referenzmarken für stereooptische Ver­formungsmessung von Klappensystemen und Flügel.

Forschungs­schwerpunkt Aerodynamik

Hochauftriebsforschung

Hochauftriebssysteme bestimmen maß­geblich, wie langsam, steil und auch leise ein Flugzeug anfliegen kann. Um die äußerst komplexen Strömungsphänome­ne in dieser Phase eines Flugs zu verste­hen und die aerodynamischen Vorhersa­gemethoden für den Maximalauftrieb zu verbessern, wurden in einem vom DLR geleiteten Verbundprojekt die derzeit fortschrittlichsten industriell genutzten numerischen und experimentellen Simu­lationsmethoden eingesetzt.

Eine genauere Vorhersage und Verläss­lichkeit der angewandten Methoden zur Einschätzung der Flugleistungen ist die Basis für effizientere und letztlich leichtere und umweltfreundlichere Flug­zeuge. Doch insbesondere wenn es an komplexe Grenzbereiche geht und das Flugzeug etwa sehr langsam fliegt, kann es für die Wissenschaftler schwierig wer­den, verlässliche Werte zu ermitteln. Um die Leistung von Flugzeugen und ihren Systemen künftig besser bewerten und weiterentwickeln zu können, müssen sie die komplexen aerodynamischen Vorgän­ge zunächst einmal besser verstehen, das heißt, sie brauchen mehr Untersuchungs­daten. Dafür schlugen die beteiligten Forscher des Projekts einen neuen Weg ein: Sie führten die drei maßgeblichen Vorhersagemethoden – die numerische Simulation (CFD), das Windkanalexperi­ment und den Flugversuch – zusammen. Erstmals veranlassten die Wissenschaftler in einem einzigen Projekt identische Mes­ungen beziehungsweise Rechnungen mit einer kompletten Flugzeugkonfigura­tion. Als gemeinsame konfigurative Basis diente der A320-232 ATRA des DLR.

Mit dem DLR-Forschungsflugzeug wur­den zwei Flugversuchskampagnen in Frankreich und Deutschland durchge­

führt. Dabei erfolgten unter anderem sta­tische und dynamische Druckmessungen, Grenzschichtmessungen mit Heißfilmen sowie Strömungsvisualisierungen und mechanische Verformungsmessungen an Flügeln und Klappensystemen des ATRA. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in die Erstellung der Windkanal- und CFD-Modelle ein, sodass mit beiden komplementären Methoden exakt die Situation des Flugversuchs nachgestellt und im Modell mit wissenschaftlichen Methoden untersucht werden konnte. Dabei wurden mit dem ATRA erstmals Überziehflugversuche im Bereich des Maximalauftriebs durchgeführt. An der Grenze des Machbaren konnte die Luftströmung an den Flügeln und Klappensystemen im extremen Langsamflug in hoher Genauigkeit vermessen werden. Auch gelang es erstmals, im Flug die Luftströmung an der Tragfläche eines Verkehrsflugzeugs mit der vom DLR weiterentwickelten Lasermesstechnik PIV (Particle Image Velocimetry) sichtbar zu machen.

Gemeinsam mit den Flugversuchen lieferten die numerischen Simulationen und Windkanaltests eine Datenbasis, die es durch ein synergetisches Zusammen­spiel aller drei Methoden gestattet, die wesentlichen Parameter der den Maxi­mal­auftrieb beeinflussenden Effekte zu bestimmen. Diese Erkenntnisse fließen in eine neuartige Simulationsstrategie für den Einsatz numerischer Verfahren und des Europäischen Transsonischen Wind­kanals (ETW) ein, um den Maximalauf­trieb einer Verkehrsflugzeugkonfigura­tion mit einer Abweichung unter 2 Prozent bestimmen zu können.

Laminarforschung

Für die Aerodynamiker ist klar: Die Laminarhaltung spielt eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung wirtschaftlicher und umweltfreundlicher Flugzeuge. Sie gilt als der letzte große Sprung in der Aerodynamik, um das Fliegen effizienter zu machen. Wie der Reibungswiderstand während des Flugs reduziert und Fortschritte in der Laminartechnologie erreicht werden können, wurde in zwei Projekten untersucht:

In einem dieser Projekte fanden gleich mehrere Windkanal- und Flugversuche statt. So etwa die als „Mückenfangflugversuche“ bekannt gewordenen Tests mit dem A320 ATRA des DLR, bei denen im Rahmen eines LuFo-Projekts die Auswirkungen von Insektenverschmutzung auf der Flugzeugoberfläche untersucht wurden. Mit einem speziellen Kamerasystem wurde die Flügelvorderkante zur Onlinebewertung während des Flugversuchs beobachtet. Die anschließende zeitunkritische Auswertung der auf der Oberfläche befindlichen Insekten wurde über dünne, abziehbare – und damit im Labor auswertbare – Folien realisiert. Dazu wurden acht verschiedene Testpunkte geflogen, bei denen die Geschwindigkeit, die Klappenkonfiguration sowie das Gewicht variierten. Pro Testpunkt wurden mit eingefahrenem Fahrwerk sechs bis zwölf tiefe Überflüge seitlich versetzt zur Landebahn in einer Höhe von lediglich rund 15 Metern geflogen. Die Ergebnisse werden nun genutzt, um Computermodelle zu kalibrieren. Die daraus gewonnenen Fähigkeiten sollen im weiteren Verlauf in die Entwicklung von Vorderkantenklappen zum Schutz des Flügels gegen Insektenkontamination einfließen.

Einen weiteren wichtigen Beitrag zur angestrebten Senkung des Treibstoffverbrauchs und der Schadstoffemissionen

leistet die Aerodynamik mit einem Forschungsschwerpunkt in der Hybridlaminarisierung (HLFC – Hybrid Laminar Flow Control). Bei dieser Technologie wird ein geringer Anteil an Luft im Bereich der Grenzschicht durch die mikroperforierte Außenhaut des umströmten Körpers, also die Flugzeugoberfläche, abgesaugt. Hierdurch gelingt es bei den hohen Reynolds-Zahlen, den Anteil laminarer, reibungsarmer Strömungsbereiche auf dem Flügel deutlich über das Maß hinaus zu steigern, das mit reiner Formgebung der Profilgeometrie – der sogenannten natürlichen Laminarhaltung – erreichbar wäre. Damit können auch bei den hohen Reisefluggeschwindigkeiten heutiger Langstreckenflugzeuge große laminare Lauflängen auf den Tragflügeln erreicht werden.

Die aerodynamische Machbarkeit eines HLFC-Systems konnte erstmals 1998 im Flugversuch an einem Seitenleitwerk bei hohen Reiseflug-Machzahlen gezeigt werden. Allerdings war das damalige HLFC-System sehr aufwändig, schwer und teuer. Im Rahmen eines EU-Projekts soll nun ein vereinfachtes und verbessertes Absaugsystem erstmals im Flug unter realistischen Umwelt- und Flugbedingungen erprobt werden. Hierzu wird das HLFC-System in das mittlere Nasensegment des Seitenleitwerks am Flugversuchsträger A320 ATRA integriert. Die speziell dafür entwickelte Instrumentierung ermöglicht bei den Testflügen eine Funktionsverifikation und die erforderlichen Daten für eine Validierung der Ergebnisse nach den Flügen. Weist dieser Versuch die Funktionsfähigkeit des vereinfachten Absaugsystems auch unter realen Flugbedingungen nach, ist die Entwicklung einer HLFC-Technologie für den Tragflügel der nächste konsequente Schritt, das Potenzial der HLFC-Technologie bestmöglich auszuschöpfen.



ATRA im Tiefflug in 15 Meter Höhe mit eingefahrenem Fahrwerk



Sichtbar gemachte Wirbelschleppe im Flugversuch

Forschungsschwerpunkt Flugsystemtechnik

Wake Encounter Avoidance and Advisory System – WEAA

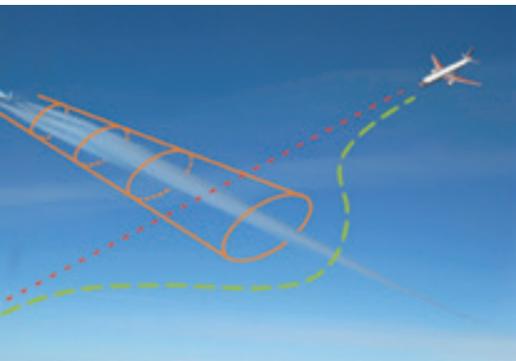
Dem Phänomen der Wirbelschleppen wird im Flugverkehr aus Sicherheitsgründen durch Mindestabstände begegnet, die das Risiko eines Einflugs minimieren sollen. Um Passagierkomfort und Flugsicherheit weiter zu erhöhen, arbeitet das DLR an einem Wake Encounter Avoidance and Advisory System (WEAA). Dessen Ziel ist es, einen drohenden Wirbelschleppeneinflug bordautonom zu detektieren und geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Das WEAA-System empfängt Verkehrs- und Wetterdaten von benachbarten Flugzeugen und den eigenen Bordsystemen, betreibt eine Datenfusion der nötigen meteorologischen Größen und prognostiziert auf dieser Basis die Bahnen der beteiligten Flugzeuge sowie Entwicklung

und Transport der Wirbelschleppen. Bei Konflikten kann gegebenenfalls ein kleinräumiges Ausweichmanöver berechnet, dargestellt und umgesetzt werden.

Das System wird von DLR-Wissenschaftlern entwickelt und erprobt, teilweise auch im Auftrag von Airbus, außerdem begleitet durch Kooperationen mit internationalen Normungsgremien (SAE, RTCA), Flugsicherungsorganisationen und potentiellen Anwendern.

Bei der Systemauslegung wird eine gute Integration in die Avionikarchitektur heutiger Verkehrsflugzeuge angestrebt. Ein Ziel der Entwicklungsarbeiten ist der Nachweis der Systemfunktion unter Praxisbedingungen.



Wirbelschleppenkonflikt mit Ausweichszenario



Integration des WEAA-Displays im ATRA

Eine erste Integrationsstufe von WEAA wurde mit dem DLR-Forschungsflugzeug A320 ATRA als Systemträger für WEAA und mit der Falcon 20E als Wirbelerzeuger im Flugversuch getestet. Für die Datenverarbeitung an Bord des ATRA wurde ein universell ausgelegtes Experimentatorenrack genutzt, das Rechenkapazität, Bildschirme und die Eingabe-

geräte für das Experiment bereitstellt. Die Pilotenanzeigen wurden im Cockpit auf dem experimentellen Klappdisplay des Testpiloten dargestellt. Im Flugversuch konnte eine sehr gute Funktionalität der Wirbelprognose und Konfliktdetektion unter operationellen Randbedingungen demonstriert werden.

Die weitere Umsetzung der Systemfunktionen wird nach erfolgreicher Erprobung im DLR-Flugsimulator AVES (Air Vehicle Simulator) von zusätzlichen Flugversuchen flankiert.





Akustische Messung in der Kabine

Forschungsschwerpunkt Messtechnik

Für die Flugversuche mit dem A320 ATRA steht eine große Bandbreite von Messtechniken für unterschiedliche Missionsziele zur Verfügung. Damit sind Strömungsvermessungen sowohl außen am Flugzeug an Tragflächen, an Leitwerken oder am Triebwerk als auch innerhalb der Kabine möglich. Mit diesen eigens im DLR entwickelten Messtechniken können Messungen zur Reduzierung des Kabinenlärms einerseits und zur Verbesserung des Kabinenklimas andererseits wie auch zur Vermessung des Außengeräusches und der Aerodynamik des Luftfahrzeugs durchgeführt werden.

Meist haben diese Methoden ihre Wurzeln im Labor und waren nur bedingt für die anspruchsvollen praxisnahen Messungen mit dem A320 ATRA tauglich. Durch kontinuierliche Weiterentwicklung und Versuche sowohl am Boden als auch in Flugkampagnen konnte das DLR in den letzten Jahren diese Messtechniken zu einem weltweit einzigartigen Reifegrad bringen.

Optische Verfahren wie Particle Image Velocimetry (PIV) und die Hintergrund Schlieren Methode (Background Oriented Schlieren Method, BOS), statische und dynamische Druckmessungen und Grenzschichtmessungen mit Heißfilmen kommen für die Strömungsvermessung bzw. -visualisierung zum Einsatz. Durch Messungen zum Strömungsverhalten an den Tragflächen und Landeklappen im Langsamflug sowie insbesondere im Bereich der Triebwerksgondeln lassen sich zukünftige Tragflächen für langsamere und leisere Anflüge optimieren.

Mit der am DLR entwickelten Lasermesstechnik PIV ist es möglich, mit Hochleistungskameras die Echtzeitbewegung von Mikrometergroßen Partikeln zu erfassen und damit lokale Strömungsfelder zu visualisieren. Im Flugversuch können die DLR-Forscher anstatt künstlicher Partikel die natürlich vorhandenen Tröpfchen der Wolken verwenden. Mit Hilfe einer speziell entwickelten Software lässt sich so das gesamte betrachtete Strömungsfeld flächig bestimmen und darstellen. So können die Wissenschaftler an einem

Passagierjet alle drei Geschwindigkeitskomponenten der Umströmung einer Tragfläche unter realen Flugbedingungen flächig vermessen.

Auch die Lärmquellen im Triebwerksstrahl und am Fan können mit DLR-Technik untersucht werden. In aufwändigen Messkampagnen nutzten die Lärmforscher den A320 ATRA für eine Reihe von Triebwerksstandläufen.

So gelang es, die am ATRA montierten Triebwerke mit einem Array von Mikrofonen und laseroptischen Feldmessverfahren zeitgleich zu untersuchen. Mittels Laserlicht konnten schallverursachende turbulente Strömungen im Abstrahlbereich gemessen werden. So wird gezeigt, an welchen Stellen der Triebwerksströmung der Lärm durch große turbulente Geschwindigkeits- und Dichteschwankungen verursacht wird. Die umliegend aufgebauten Mikrofone lieferten den Wissenschaftlern dabei den Lautstärkepegel zu den im Laserlicht sichtbar werdenden Strömungsphänomenen.



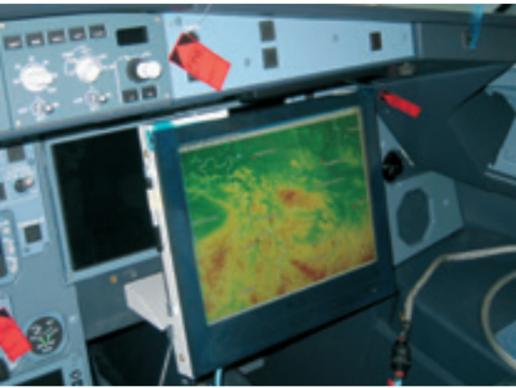
Lasermessungen über der Tragfläche

Durch Versuche mit hochmoderner Messtechnik werden Erkenntnisse gewonnen, die später zur Steigerung der Effizienz eines Luftfahrzeugs in die Produktion neuer Flugzeuge oder Umrüstlösungen für bestehende Modelle einfließen.

Weiterhin führen die auf diesen Erkenntnissen aufbauenden technischen Neuerungen zu erheblichen Lärmreduktionen sowohl in der Kabine zur Komfortsteigerung als auch außerhalb des Flugzeugs zur Steigerung der Umweltverträglichkeit.



Simultane Lärm- und Strömungsmessung am Triebwerk



Experimentaldisplay im Cockpit

Cockpit und Basismessanlage

Schnittstellen zwischen Forschungsflugzeug und Forschern

Der A320 ATRA ist ein vielseitiges Forschungsflugzeug, in dem die Wissenschaftler je nach Fragestellung unterschiedlichste Instrumente und Sensoren einbauen. Doch welche Forschungsgeräte auch im ATRA installiert werden, alle Daten laufen in der Basismessanlage zusammen, die im vorderen Bereich der Kabine fest installiert ist. Ausgestattet mit insgesamt sechs Bildschirmen können zwei Mess- oder Flugversuchingenieure vor der Basismessanlage Platz nehmen, den Flugversuch leiten und sich experiment- oder flugzeugbezogen die verschiedensten Daten anzeigen lassen. Zudem laufen hier die Messdaten der ohnehin am A320 vorhandenen Sensoren sowie die Basisflugdaten zusammen, die an die individuell eingerichteten Arbeitsplätze der Versuchingenieure und Wissenschaftler weitergegeben werden.

Diesen stehen acht flexibel installierbare Stationen mit Racks, Konsolen, Computern sowie Eingabe- und Visualisierungsgeräten zur Verfügung. Eine zusätzliche Stromversorgung an Bord liefert die notwendige Leistung für die Messeinbauten in der Kabine.

Im Cockpit verfügt der Copilot der beiden Testpiloten über ein zusätzliches Display, das aktuelle Daten des jeweiligen Flugexperiments anzeigt. Über diese zusätzliche Schnittstelle sind die Piloten während eines Testflugs ebenfalls direkt in die Experimentaldatenerfassung eingebunden. Weitere Instrumente sind im Cockpit auf dem sogenannten „Glareshield“ eingebaut. Dabei handelt es sich um eine schmale, brettartige Instrumentenkonsolle direkt unter den Frontscheiben des Cockpits. Dort werden zusätzliche Messwerte zum Anstell- und Schiebewinkel im Flug angezeigt. Daneben befindet sich eine Anzeige für auf die Crew wirkende G-Kräfte, die etwa bei engen Flugmanövern besonders hoch sind und üblicherweise als Vielfaches der Erdbeschleunigung angegeben werden. Über ein Head-up-Display verfügt der ATRA ebenfalls. Die Soft- und Hardware der Anlage ermöglicht eine personalisierte und variable Gestaltung, angepasst an die jeweilige Erprobung.

Wissenschaftler benötigen zusätzlich aufbereitete Flugversuchsdaten für die wissenschaftliche Veröffentlichung der Messergebnisse. Diese stellt die Einrichtung Flugexperimente nach jedem Forschungsflug bereit.



Arbeitsplatz des Wissenschaftlers



Panoramablick in die Flugzeugkabine: Die vorderen Reihen des ATRA wurden durch die Basismessanlage ersetzt und ermöglichen die unterschiedlichsten Forschungen und Missionen



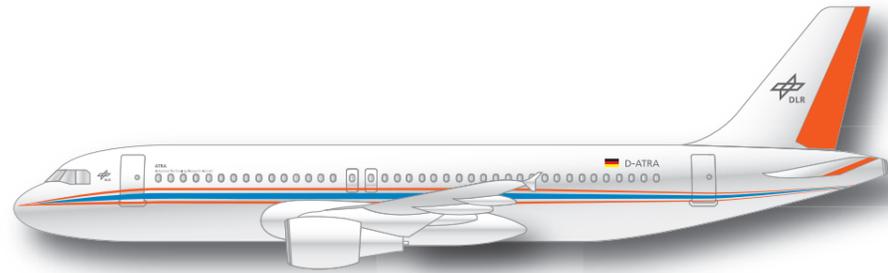
Die Basismessanlage in der ATRA-Kabine. Hier laufen die Flugversuchsdaten zusammen.



Das Cockpit des ATRA mit den zusätzlich eingebauten Instrumenten



Halbe Flügelspannweite: 17,05 m
Spurbreite (Hauptfahrwerk): 7,59 m



Rumpflänge: 37,57 m



Airbus A320-232 D-ATRA

Technische Daten Airbus A320 D-ATRA

Länge:	37,57 Meter	Antrieb:	zwei Triebwerke von International Aero Engine V2500
Höhe:	11,76 Meter	Schub:	je 111 Kilonewton
Spannweite:	34,10 Meter	Reichweite:	4.800 Kilometer bis 5.700 Kilometer
Kabinenlänge:	29,10 Meter	Flughöhe:	maximal 11.800 Meter (39.000 Fuß)
Kabinenbreite:	3,7 Meter	Geschwindigkeit:	maximal 840 Kilometer pro Stunde
Kabinenhöhe:	2,4 Meter	Flugdauer:	für Testbetriebe bis zu 2:30 Stunden
Sitzplätze:	maximal 179	Tankkapazität:	23.858 Liter
Leergewicht:	42,3 Tonnen	Ursprüngliche Nutzung:	zivile Nutzung – Passagierflugzeug
Gesamtgewicht:	maximal 75,5 Tonnen	DLR-Flugbetrieb:	Braunschweig

Impressum

Herausgeber
Deutsches Zentrum für
Luft- und Raumfahrt e. V.

Anschrift

Linder Höhe
51147 Köln

Redaktion

DLR-Kommunikation
Fiona Lenz, Falk Dambowsky, Fabian Locher,
Petra Fleischhauer, Gerald Ernst, André Krajewski

Gestaltung

CD Werbeagentur GmbH,
Troisdorf

Druck

Meinders & Elstermann GmbH & Co. KG
49191 Belm

Drucklegung

Köln, Mai 2016

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger
Absprache mit dem DLR gestattet.

Bilder

Soweit nicht anders angegeben,
alle Bilder © DLR.

DLR/Evi Blink	Seite 1
Berni Müller	Seite 8
DLR/Maasewerd	Seite 12 oben
DLR/Kruszewski	Seite 12
DLR/Maasewerd	Seite 13
DLR/Airbus	Seite 12/13 Bogen
Airbus	Seite 16/17
DLR/Kruszewski	Seite 18/19
DLR/Maasewerd	Seite 24 Mitte
DLR/Kruszewski	Seite 25 Mitte

DLR.de

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 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio 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.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Linder Höhe
51147 Köln

DLR.de