

# Geplante Experimente und Simulationen für Lärminderungsmaßnahmen im DLR-Projekt LU(FT)<sup>2</sup> 2030

Michael Mößner<sup>1</sup>, Jan W. Delfs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, 38108 Braunschweig, Deutschland, Email: michael.moessner@dlr.de

<sup>2</sup> DLR, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, 38108 Braunschweig, Deutschland

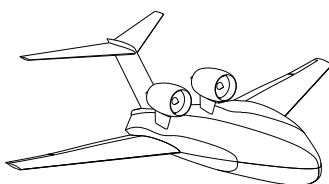
## Einleitung

Das DLR-Projekt LU(FT)<sup>2</sup> 2030 steht für *Leises Umwelt-Freundliches Transportflugzeug durch Fortschrittliche Technologiesimulation für 2030*. In einer Projektdauer von 4 Jahren (Anfang 2024 - Ende 2027) geht es um die Etablierung von Methoden, mit dem Ziel, zuverlässig Lärminderung am Gesamtflugzeug durch Simulation zu betreiben. Das Ganze soll im Gesamtkontext betrachtet werden, also nicht nur das Flugzeug als Lärmquelle selbst, sondern auch die Wirkung des Flugverkehrs auf Bewohner.

Wozu Forschung an lärmarmen Flugzeugen? Nimmt man das EU-Dokument Flightpath 2050[1] als Ausgangspunkt, so wird dort eine Lärmreduktion von 65 % bezogen auf das Jahr 2000 gefordert, was grob einer Lärmabsenkung um 15 dB entspricht. Dieser Wert ist sehr ambitioniert, erscheint aber sinnvoll, denn Menschen in Flughafennähe sind derzeit Lärmpegeln ausgesetzt, welche die Empfehlungen der WHO um ca. 10 dB übersteigt. Sollen also die gesundheitlichen Auswirkungen eingegrenzt werden sowie Flugverbote vermieden werden, insbesondere bei steigendem Verkehrsaufkommen, ist Lärminderungsforschung unerlässlich.

## Eingrenzung

Für Lärminderungsziele im Bereich von 15 dB sind neue Flugzeugkonzepte nötig, welche gezielt Lärmquellen vermeiden oder die Abstrahlung zum Boden hin vermeiden. Ein solches Konzept als A320-Nachfolger wird beispielsweise im DLR-Projekt SIAM[2] untersucht (Abbildung 1). Solche kompromisslos lärmarmen Flugzeuge gehen jedoch auf Kosten der Effizienz und der Klimawirkung. Auch sind die Designunsicherheiten verhältnismäßig hoch, was die Einführung eines solchen Flugzeugs kurzfristig fast unmöglich macht. Für eine nennenswerte Lärminderung müssen zudem ganze Flugzeugflotten ersetzt werden, was eine spürbare Verbesserung weiter in die Ferne rückt.



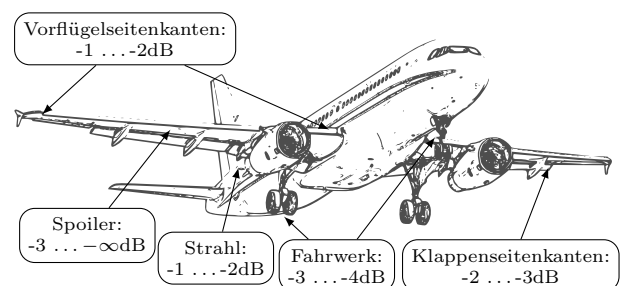
**Abbildung 1:** Hybrid wing body als lärmarme Konfiguration.

Während das Projekt SIAM dem Ziel des technisch

Möglichen gewidmet war, konzentriert sich LU(FT)<sup>2</sup> 2030 nun auf kurzfristige Ziele. Zudem wird der weltpolitisch aktuellen Lage stärker Rechnung getragen, welche Klimawirkung und damit auch Effizienz klar in den Vordergrund stellt. Insbesondere im Bereich der Mittelstreckenflugzeuge, mit Passagierzahlen bis ca. 200, ist die Effizienz klassischer Drachenflugzeuge nur sehr schwer zu überbieten. Neue Konzepte müssen deshalb mit Lärm als schwache Nebenbedingung etabliert werden. Ziel von LU(FT)<sup>2</sup> 2030 ist deshalb Lärminderung an bestehenden Flugzeugen zu erreichen. Dabei ist es in erster Linie egal, ob es sich um ein Drachenflugzeug mit Turbofan handelt oder um revolutionär neue Konzepte. Die Methoden und Vorgehen müssen so allgemein sein, dass sie generell angewendet werden können.

## Low noise ATRA

Das DLR Projekt LNATRA[3] untersuchte bereits verschiedene Lärminderungsmaßnahmen am realen Flugzeug. Seitenkanten von Klappen und Vorflügel wurden aufgefüllt, die lokale Strömung um die Fahrwerke modifiziert, der Triebwerksjet leiser gemacht und Spoiler nach unten abgeschattet. Abbildung 2 zeigt die grob erreichten Lärminderung nach Quellen aufgeschlüsselt. Durch diese Maßnahmen wurde der Breitbandlärm im Anflug um mehr als 3 dB reduziert und während des Abfluges um mindestens 2 dB. Die vielversprechendste Maßnahme, ein Vorflügel mit reduziertem Spalt, war weitgehend geplant, konnte aber letztendlich nicht mehr geflogen werden.



**Abbildung 2:** Low noise ATRA, gemessene Lärminderung für verschiedene Quellen.

Die Flugerprobung von Maßnahmen ist so aufwändig und teuer, dass die Untersuchung von weiteren Maßnahmen am Gesamtflugzeug zwingend im Windkanal und besser noch durch Simulationen erfolgen muss. Dazu wurden bereits im DLR-Projekt SIAM[2] im Windkanalversuch die Lärminderungsmaßnahmen aus LNATRA nachvollzogen, jedoch mit Durchflussgondel. Das Modell hat eine Halbspannweite von 1,8 m und wurde mit einem neuarti-

gen Mikrofon-Array mit 7200 Mikrofonen vermessen (siehe Abbildung 3). Triebwerkslärm wurde nicht betrachtet.

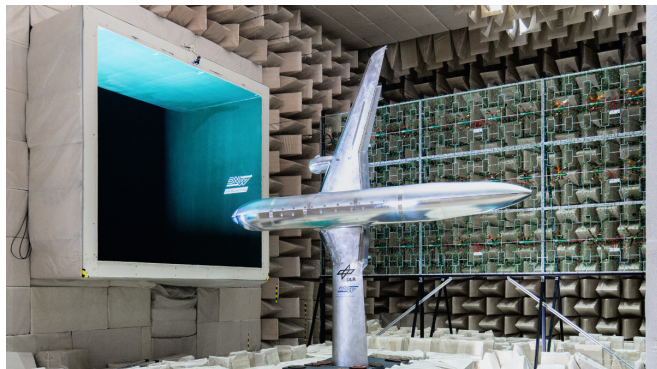


Abbildung 3: Low noise ATRA im Windkanal DNW-NWB.

### Projektausrichtung

Ein großer Teil des Projektes  $LU(FT)^2$  2030 dreht sich darum, die bestehenden Daten als Ausgangspunkt für Validierungszwecke weiter auszuwerten und den Datensatz wo nötig zu erweitern. Durch den Dreiklang der Überflugmessungen, Windkanalmessungen und Simulation ist jeweils eine gegenseitige Überprüfung möglich, in dem jede Disziplin ihre Stärken ausspielen und gleichzeitig die Schwächen der anderen Disziplinen kompensieren soll:

**Überflugversuche** Sehr nah an der Realität, allerdings sehr teuer und aufwändig, bei einer verhältnismäßig großen Unschärfe.

**Windkanalversuche** Laborsituation unter sehr kontrollierten Bedingungen. Variationen von einzelnen Maßnahmen ist hier sehr viel einfacher als bei Überflugversuchen. Durch das skalierte Modell bilden die Ergebnisse natürlich nur begrenzt die Realität ab.

**Simulation** Sehr flexibel und verhältnismäßig günstig. Allerdings muss sichergestellt werden, dass die Ergebnisse zuverlässig die Realität wiedergeben, was besonders im Bereich der Akustik sehr herausfordernd ist.

Ziel ist, Technologieentwurf & -nachweis mittels Simulation zu betreiben, mit belastbaren Ergebnissen. Durch Validierung mit Überflug- und Windkanalversuchen soll diesem Ziel im Projekt  $LU(FT)^2$  2030 deutlich näher gekommen werden.

Die geschaffene Fähigkeiten sollen Projekt anhand von verbesserter Lärminderung demonstriert werden. Die geplanten Arbeiten beschränken sich jedoch nicht nur auf als Flugzeug als Schallquelle, sondern umfassen einen weit umfassenderen Kontext. Dazu gehört das Flugzeugumfeld während des An-/Abflugs, sowie die Lärmwirkung selbst (Abbildung 4). Konkrete Pläne und Ideen werden im Folgenden detaillierter beschrieben.

### Windkanalexperimente

Wie bereits erwähnt, wurden im Projekt SIAM umfassende Windkanalversuche durchgeführt. Allerdings fehlte

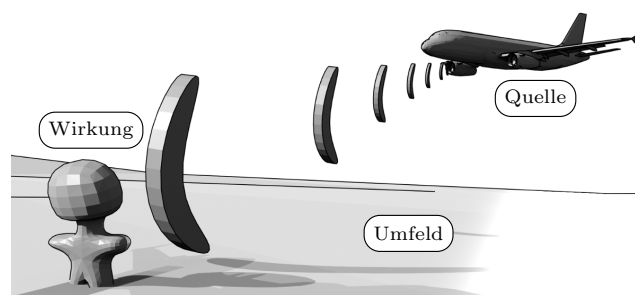


Abbildung 4:  $LU(FT)^2$  2030 behandelt neben der Quelle auch das Umfeld und die Wirkung.

hier noch der Triebwerkslärm. In  $LU(FT)^2$  2030 soll diese Lücke nun geschlossen werden. Das Windkanalmodell soll mit einem Triebwerkssimulator ausgestattet werden, welcher akustische Ähnlichkeit zu einem Originaltriebwerk aufweist. Aufgrund von Bauraumbeschränkungen wird das Triebwerk mit hohem Nebenstromverhältnis ausgeführt, ist dementsprechend größer und peilt so auf neuere Flugzeuggenerationen. Blattspitzenmachzahl und Blattzahl sind ähnlich einem Fan im Originalmaßstab ausgeführt, so dass auch eine ähnliche Akustik zu erwarten ist. Der Triebwerkssimulator selbst hat eine Dauerwellenleistung von ca. 290 kW, der Fandurchmesser beträgt ca. 0,23 m. Das Triebwerk ist elektrisch betrieben.

Gemessen wird wie im Projekt SIAM das Schallfeld unter dem Flugzeug mit hochauflösenden Mikrofonarrays sowie der Schall im Triebwerkseinlass selbst. Zusätzlich soll auch die Strömung mit Hilfe von Stereo-PIV gemessen werden, idealerweise zeitsynchron zur Schallmessung. Neben dem Triebwerksschall selbst ist auch Interaktionsschall mit der Klappe zu erwarten. Damit sind alle relevanten Schallquellen abgedeckt.

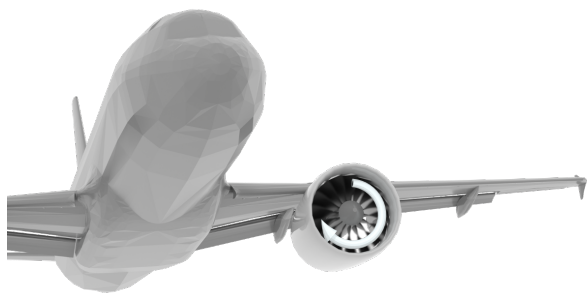
### Simulationsstrategien und Validierung

Nachrechnung und Validierung sind in verschiedenen Disziplinen geplant. Dazu gehören

- Aerodynamische Nachrechnungen des Gesamtflugzeugs sowie der Triebwerksinnenströmung.
- Akustische Nachrechnung im gesamten Spektrum, von rechenaufwändigen skalenaufösenden Simulationen bis hin zu Verwendung schneller empirischer Modelle.
- Auralisierung von Schallquellen.

Die aerodynamischen Berechnungen erfolgen mit URANS (unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes) und auch der Einsatz von modernen Strömungslösern soll geprüft werden. Das Gesamtflugzeug soll dabei mit drehendem Fan berechnet werden (Abbildung 5), was insbesondere für aerodynamische Nachrechnungen von Bedeutung ist, aber auch für die Validierung von schnelleren Methoden, welche den drehenden Fan durch Wirkscheiben oder Volumenkräften ersetzen.

Neben dem Gesamtflugzeug sollen auch bereits durchgeführte Vorhersagen bei der Fanauslegung durch entsprechende Instrumentierung am Modelltriebwerk vali-



**Abbildung 5:** Zu den geplanten Arbeiten gehören Strömungssimulationen des Gesamtflugzeugs mit rotierendem Fan.

diert werden.

Die geplanten akustische Nachrechnungen decken ein großes Methodenspektrum am:

**Skalenauflösende Verfahren** Durch skalenauflösende Verfahren wie finite Volumen Large Eddy Simulation oder Lattice Boltzmann Verfahren lässt sich die Physik der Schallquellen detailgenau nachvollziehen. Diese Verfahren werden sehr gezielt eingesetzt, da sie hohe Rechenkapazitäten fordern.

**Rekonstruktion von Turbulenz** Auf Basis von RANS-Strömungssimulationen kann räumlich begrenzt die Turbulenz rekonstruiert und als Schallquelle verwendet werden. Das erlaubt Einsparung von Rechenzeit im Vergleich zu skalenauflösenden Rechnungen. Zudem können Schallquellen sehr gezielt und lokal betrachtet werden.

**Analytische Modelle** Analytische Modelle sollen insbesondere im Bereich von Triebwerkslärm eingesetzt werden. Solche Modelle sind rechentechnisch verhältnismäßig günstig und damit gut geeignet für Designstudien und Optimierungsaufgaben.

**Empirische Verfahren** Analytische Modelle können durch Verwendung von empirischen Modellen soweit vervollständigt werden, dass das Flugzeug als Gesamtschallquelle sehr schnell nachgerechnet werden kann. Dies ist dann Basis für gesamte Überflugsimulationen oder sogar Flottenbewegungen im Flughafenumfeld.

Neben der Vorhersage von Lärm selbst soll am Ende auch die Streuung der erwarteten Werte bestimmt werden, auch als Unsicherheit bekannt.

## Lärmwirkung

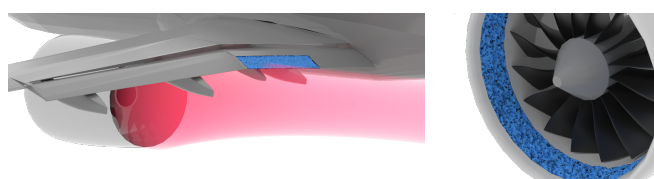
Für fundierte Aussagen über die Lärmstörung ist es essentiell, dass ein geeignetes Bewertungsmaß herangezogen wird. Grundlage dafür soll die tatsächliche Wirkung sein und es ist naheliegend diese durch den tatsächlichen Höreindruck zu bestimmen. Die Ergebnisse aus üblichen Lärmvorhersagen lassen sich jedoch meist nicht direkt anhören. Entweder sind die Ergebnisse nicht allgemein genug (punktuelle Vorhersagen anstatt kompletter Überflüge) oder sie liegen in reduzierter Form vor (z.B. als Frequenzspektren). In einem zusätzlichen Schritt wer-

den die Simulations-Daten deshalb weiter aufbereitet. Durch das Treffen von Annahmen – wo Informationen fehlen, werden sie passend modelliert – sollen realistisch klingende Soundsamples erzeugt werden, die dann für Wirkungsstudien geeignet sind. Die Eignung der Soundsamples soll unter anderem dadurch festgestellt werden, indem die low-noise ATRA Überflugmessungen virtuell nachgerechnet, auralisiert und dann in Hörstudien verglichen werden.

Durch gezielte Manipulationen von Lärmquellen und mit Hilfe von Probandenstudien soll am Ende ein Lärmmaß ermittelt werden, welches für Studien von Lärminderungsmaßnahmen geeignet ist. Idealerweise erlaubt diese Berechnungsvorschrift dann eine automatische Optimierung von Technologien. Klassischerweise wird hier der effektiv wahrgenommene Lärmpegel (EPNL) an Zertifizierungspunkten verwendet, idealerweise führen die Projektergebnisse zu genaueren Aussagen, wie allgemein solche Regeln sind, wo die höchsten Sensitivitäten sind und evt. sogar zu Vorschlägen für eine verbesserte Lärmmetrik.

## Quelllärmminderung

In Kombination mit Vorgängerprojekten wie LNATRA soll das Projekt  $LU(FT)^2$  2030 eine ideale Ausgangsbasis für Entwicklung von Lärminderungsstechnologien durch Simulation bieten. Erste Studien sollen diese Fähigkeiten bereits demonstrieren. Im Bereich der Lärminderung werden die vielversprechendsten Technologien untersucht und weiterentwickelt. Die Erfahrung zeigt, dass der Einsatz poröser Medien in verschiedensten Bereichen großes Potential zeigt. Bereits in im Projekt LNATRA wurden solche Materialien an Klappenseitenkanten und im Fahrwerksbereich eingesetzt. Weitere Ideen sind hier der Einsatz poröser Liner im Speziellen an Modelltriebwerken, oder poröse Klappen-Hinterkanten zur Reduzierung von Interaktionslärm[4] (Abbildung 6).

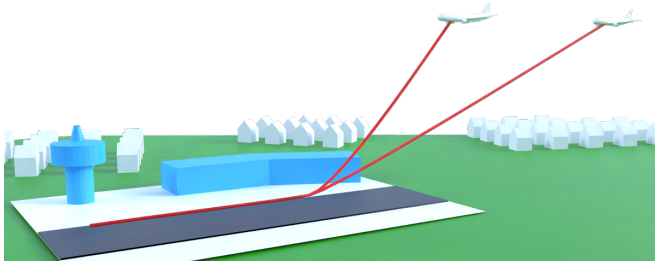


**Abbildung 6:** Strategien zur Quelllärmminderung durch poröse Medien: Verminderung von Interaktionslärm und Schalldämpfung.

## Lärmarme An- und Abflugverfahren

Neben der Untersuchung von Maßnahmen zur Quelllärmreduzierung sollen auch indirektere Maßnahmen untersucht werden. Dazu gehören Technologien, die lärmärmere An- und Abflugverfahren erlauben. Üblicherweise wird dies mit steileren An-/Abflügen in Verbindung gebracht, da sich damit der Abstand von Flugzeug zu Flughafenanwohner vergrößert wird (Abbildung 7). Allerdings sind die Variationsmöglichkeiten vielfältig, denn ein steiler Anflug bringt wenig, wenn dafür das Flugzeug als Quelle viel lauter wird (z.B. durch zusätzlichen Schub oder dem Einsatz von Hoch-

auftriebshilfen).



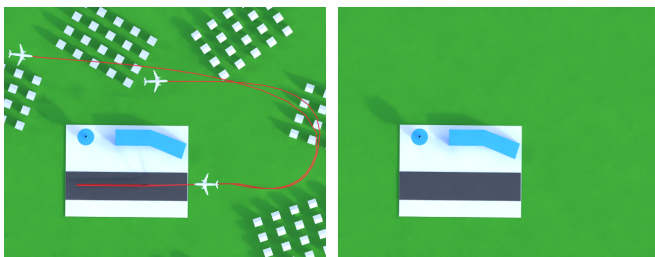
**Abbildung 7:** Es sollten Technologien für lärmärmere Anflugverfahren untersucht werden.

Ideen sind hier z.B. die Einführung von stufenlosen Hochauftriebshilfen, die einen passgenaueren Einsatz ermöglichen. Zudem soll auch das Potential elektrischer Triebwerke untersucht werden. Solche Triebwerke zielen zwar nicht ganz auf 2030, sie sind allerdings in aktuellen Diskussionen rund um klimafreundliche Flugzeuge sehr relevant. Vielversprechend sind Möglichkeiten wie Windmilling oder die Reduktion von Leerlaufschub.

Neue Flugverfahren sind nur hilfreich, wenn sie im Alltag auch geflogen werden können. Eine erste Bewertung für Fliegarkeit soll hier von Piloten abgegeben werden. Dazu sind Versuche im Flugsimulator geplant.

### Greenfield-Studie

Wenn aus einem bestehenden Flugführungs-Konzept heraus evolutionäre Verbesserungen vorgeschlagen werden, stößt dies schnell auf Widerstand. Denn während für eine Mehrheit die Situation verbessert wird, verschlechtert sich in den meisten Fällen die Situation zumindest für einige wenige andere. Die Idee der Greenfield-Studie umgeht diese Einschränkung bewusst, indem die Verkehrsführung von Grund auf (bzw. ausgehend von einem leeren grünen Feld) neu konzipiert wird (Abbildung 8). Als finales Ergebnis lässt sich dann einfacher die Gesamtverbesserung herausarbeiten und damit das Potential neuer Flugverfahren besser bewerten.



**Abbildung 8:** Greenfield-Studie: Von Grund auf neu Flugverfahren entwickeln.

Das Projekt  $LU(FT)^2$  2030 plant eine Greenfield-Studie für einen ausgewählten Flughafen und will dabei auch die Auswirkungen untersuchen, wenn neue lärmarme Flugzeuge in die Flotte eingebracht werden.

### Gesamtbewertung

Letztendlich sollen die Ergebnisse für die Lärminderung in eine Gesamtbewertung einflie-

ßen. Fragen, was Quelllärmminderung am Einzelflugzeug am Ende für den Anwohner an Verbesserung bringt sollen beantwortet werden. Auch was verbesserte Flugverfahren an Vorteil bringen und wie dies im Kontext der Flugverkehrsentwicklung in der Zukunft zu bewerten ist.

### Zusammenfassung

Das Projekt  $LU(FT)^2$  2030 setzt sich zum Ziel, Lärminderung an bestehenden Flugzeug zu erforschen. Und zwar mit einer Umsetzungs-Perspektive für das Jahr 2030 und ohne nennenswerte Kompromisse bei der Effizienz und Klimawirkung. Nach Einschätzung der Projektplaner ist das einzig dafür realistische Szenario die Verbesserung der Situation an bestehenden Flugzeugkonfigurationen. Die Methodik soll trotzdem so allgemein gehalten werden, dass sie auch für andere Konzepte Bestand hält. Dies wird unter anderem erreicht durch Kombination verschiedener Verfahren, rechenaufwändigen hochauflösende Simulationen und schnellen empirischen Methoden.

Für die Validierung der Methoden wird auf einer bestehenden aufwändig erzeugten Datenbasis aufgebaut, welche Überflug- und Windkanalmessungen beinhaltet. Die Datenbasis wird durch weitere Windkanalmessungen erweitert, im Speziellen durch den Einsatz eines akustisch ähnlichen Triebwerksimulators.

Neben Quelllärmminderung wird auch die Wirkung von Lärm berücksichtigt und das Flugzeug als Einzelschallquelle im Gesamtkontext betrachtet, inklusive An- und Abflugverfahren sowie dem Flugverkehr heute und in Zukunft.

### Danksagung

Ein großer Dank geht an alle beteiligten DLR-Institute sowie der DLR-Programmdirektion, welche die Planung dieses Projektes möglich gemacht haben und letztendlich für die eigentlichen Inhalte dieser Papers gesorgt haben.

### Literatur

- [1] Flightpath 2050: Europe's Vision for Aviation Report of the High-Level group on Aviation Reserach, European Commision, 2012
- [2] F. Wienke, L. Bertsch, M. Iwanizki, P. Balack und J. Häßy: System noise assessment of conceptual tube-and-wing and blended-wing-body aircraft designs. AIAA Aviation Forum, 2023
- [3] M. Pott-Pollenske, D. Almoneit und H. Buchholz: Low Noise ATRA – An Aircraft Noise Reduction Study based on Retro-Fit Technologies. AIAA Aviation Forum, 2021
- [4] C. Jente, J. Schmidt, J. Delfs, K.-S. Rossignol, M. Pott-Pollenske und H. A. Siller: Noise reduction potential of flow permeable materials for jet-flap interaction noise. 28th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2022