



Forschungsverbund **Leiser Verkehr**
Bereich 5000 **Leises Verkehrsflugzeug**

Verbundprojekt

*Forschung zur **Reduktion** und **Ermittlung** des **QU**elllärms mittels
Experiment und **Numerik** bei **Zivilverkehrsflugzeugen***



Schlussbericht

Ausführende Stelle:

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Autoren:

Dr.-Ing. Roland Ewert
Dipl.-Ing. Michael Pott-Pollenske
Dr.-Ing. Henri Siller
Dr. Reinhard König

Förderkennzeichen: 20A0304B

Förderung des Vorhabens:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie**

Im März 2009

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	3
Am Projekt <i>FREQUENZ</i> beteiligte Einrichtungen/ Abteilungen im DLR	4
1. Einleitung	5
2. TP 5400 Berechnung lärmarmen Flugzeugkomponenten (Teilprojekt 1).....	6
2.1. AP 5410 Vorhersage von Vorflügelärm und Potential von Minderungsmaßnahmen.....	8
2.1.1. EA 5411 Vorflügel – Referenzgeometrien	8
2.1.1.1. EA 5411-1 Spezifikation Geometrien	8
2.1.1.2. EA 5411-2 RANS Simulationen	9
2.1.1.3. EA 5411-3 Störungssimulation	9
2.1.2. EA 5412 Vorflügel – Minderungsmaßnahme	29
2.1.2.1. EA 5412-2 Störungssimulationen	29
2.2. AP 5420 Vorhersage des Lärms von MiniTEDs	33
2.3. AP 5430 Berechnung der Wirkung von Düsenrandgeometrien auf Strahlärm	33
2.3.1. EA 5431 Düsenrand – Referenzgeometrien	33
2.3.1.1. EA 5431-1 Spezifikation Geometrien	35
2.3.1.2. EA 5431-2 RANS-Simulationen	36
2.3.1.3. EA 5431-3 Störungssimulation	36
2.3.2. EA 5432 Düsenrand – verbesserte Variante	39
2.3.2.1. EA 5432-1 Spezifikation Geometrien/RANS Simulationen.....	39
2.3.2.2. EA 5432-2 Störungssimulation	39
3. TP 5200 Aerodynamischer Lärm (Teilprojekt 2)	40
4. TP 5500 Entwicklung von Nachrüstmaßnahmen für Verkehrsflugzeuge (Teilprojekt 3).....	41
4.1. AP 5510 Lärminderungspotenziale für wide-body Flugzeuge am Beispiel MD11	42
4.1.1. EA 5511 Detailauswertung der MD-11 Überflugmessungen.....	44
4.1.1.1. EA 5511-1 Analyse der Einzelmikrofondaten.....	44
4.1.1.2. EA 5511-2 Analyse der Array-Daten.....	45
4.1.1.3. EA 5511-3 Rangfolge und Charakteristik von Einzelquellen der MD11F.....	49
4.1.2. EA 5512 Bewertung der Ergebnisse und Erarbeitung umsetzbarer Konzepte zur Lärminderung und Rezertifizierung.....	54
4.1.2.1. EA 5512-1 Asymmetrische Schubsetzung im Anflug	54
4.1.2.2. EA 5512-2 Verminderter Klappenausschlag im Anflug.....	54
4.1.2.3. EA 5512-3 Konfigurationsmaßnahmen an Zellenkomponenten	55
4.1.2.4. EA 5512-4 Maßnahmen zur Tonbeseitigung bei den Flügeltriebwerken	57
4.1.2.5. EA 5512-5 Prognose zur Wirkung veränderter Statorblattzahl auf die Lärmemission	61
4.2. AP 5520 Lärminderungspotenziale für narrow-body Flugzeuge am Beispiel der A320 Familie	61
4.2.1. EA 5521 Entwicklung einer Retrofit Lösung für die Modifikation der Tankdruckausgleichsöffnungen.....	61
4.2.1.1. EA 5521-1 Designoptimierung im Kleinwindkanal (AWB)	63
4.2.1.2. EA 5521-2 Erarbeitung eines Zertifizierungskonzepts.....	65
4.2.2. EA 5522 Minderung / Beseitigung tonaler Lärmquellen im Bereich des	

	Flügels, des Bugfahrwerks und am Triebwerk.....	65
4.2.2.1.	EA 5522-1 Tonquellen am Flügel	65
4.2.2.2.	EA 5522-2 Tonquellen am Bugfahrwerk	65
4.2.2.3.	EA 5522-3 Tonabstrahlung vom Triebwerkseinlass CFM-56	67
4.2.2.4.	EA 5522-4 Wirkung von Modifikationen des Casingliners	68
4.2.3.	EA 5523 Entwicklung von Prototyplösungen zur Lärminderung am Vorflügel (slat).....	71
4.2.3.1.	EA 5523-1 Bürstenlösung zur Abdichtung der slat-track Öffnungen.....	71
4.2.3.2.	EA 5523-2 Balglösung zur Profilierung der Vorflügelrückseite	72
4.2.3.3.	EA 5523-3 Bürstenlösung für obere Vorflügel-Hinterkante.....	73
4.3.	AP 5530 Vergleich der Lärmquellen von wide- und narrow-body Flugzeugen	74
4.3.1.	EA 5530-1 Vergleich der Rangfolge von Einzelquellen	75
4.3.2.	EA 5530-2 Bewertung der Ergebnisse im Sinne der Übertragbarkeit auf andere Flugzeuge	79
4.4.	AP 5540 Überfluglärmmessungen zur Validierung von realisierten Lärminderungsmaßnahmen.....	82
4.5.	AP 5540-2 Überfluglärmmessung an einer Boeing B747 zur Absicherung der Erkenntnisse hinsichtlich der Allgemeingültigkeit von Lärminderungspotenzialen und Übertragbarkeit der Messergebnisse am A319 und der MD11F	82
4.5.1.	EA 5540-2.1 Überfluglärmmessung	82
4.5.2.	EA 5540-2.2 Datenanalyse	87
	Erfassung und Analyse der akustischen Fernfelddaten	87
	Erfassung und Auswertung der Arraydaten	90
	Entwicklung und Erprobung von lärmreduzierten An- und Abflugverfahren:.....	90
4.6.	AP 5550 Bewertung experimenteller und theoretischer Ergebnisse zur Strahlärminderung durch gezahnte Düsen.....	92
4.6.1.	EA 5551 Analyse der Ergebnisse aus Teilprojekt 1 und LEXMOS	92
4.6.2.	EA 5552 Vergleich mit Prüfstandsmessungen von GE.....	95
5.	Zusammenfassung	96
6.	Literatur	99

Abkürzungen

AD	Airbus Deutschland
AIA	Aerodynamisches Institut Aachen
AP	Arbeitspaket
APE	Acoustic Perturbation Equations
BPF	Blattfolgefrequenz des Triebwerksfans
CAA	Computational Aeroacoustics
DES	Detached Eddy Simulation
DLH	Deutsche Lufthansa AG
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DLR-AS-TA	DLR – Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Abt. Technische Akustik, Braunschweig
DLR-AT-TA	DLR – Institut für Antriebstechnik, Abt. Triebwerksakustik, Berlin
DLR-FT	DLR – Institut für Flugsystemtechnik
EA	Einzelaufgabe
EADS-IW	EADS Innovation Works
FPM	Flughafen Schwerin Parchim (Baltic Airport)
FWH	Ffowcs-Williams Hawkings
GE	General Electric
IAG	Institut für Aerodynamik und Gasdynamik, Uni. Stuttgart
ISTA	Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, TU Berlin
IBB	Intermittent Bathtub Bufferzone
IHK	Innovative Hochauftriebskonfigurationen
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LAnAb	Verbundforschungsprojekt gefördert vom BMWT: <i>Lärmoptimierte An- und Abflugverfahren</i>
LEE	Linearized Euler Equations
LES	Large Eddy Simulation
LEXMOS	Leise Düsenaustrittssysteme und moderne Schallquellenortung
LFT	Lufthansa Flight Training
LHT	Lufthansa Technik AG
LUFO3	3. nationales Luftfahrtforschungsprogramm
RANS	Reynolds Averaged Navier Stokes
RR-D	Rolls-Royce Deutschland
RPM	Random Particle Mesh Methode
NASA	National Aeronautics and Space Administration
SILENCER	Significantly Lower Community Exposure to Aircraft Noise
TA	Tam & Auriault
TIMPAN	Technology for Improved Airframe Noise