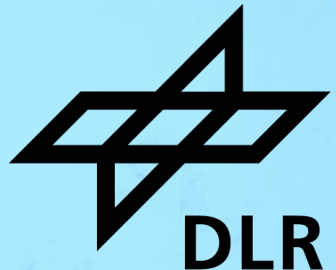


DLR PROJEKT VIRLWINT

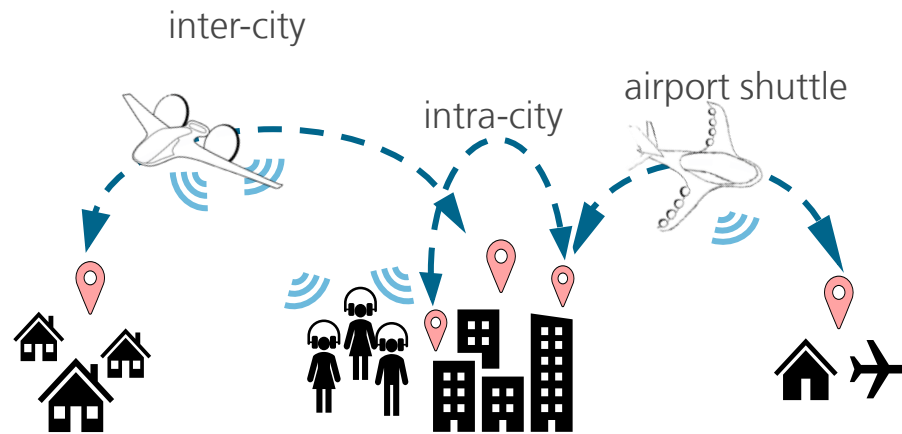
[Virtueller akustischer Zwilling verteilter Antriebe]

DLRK 2024, Übersicht zu aktuellen DLR Projekten im Fluglärmkontext II

Stephen Schade



Akustik als Schlüsselfaktor für Akzeptanz



Zukunftsvision

UAM Höreindruck weitgehend unbekannt

Risiko: unangenehmer Klang

Akustik Schlüsselfaktor für Akzeptanz

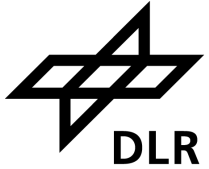


Akustische und psychoakustische Effekte dominant für verteilte Antriebssysteme (Modulation, Interferenz, ...)



Im Projekt VIRLWINT wird die psychoakustische Wahrnehmung von verteilten, installierten Propulsoren mit elektrifiziertem Antriebsstrang adressiert

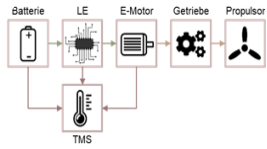
VIRLWINT Projektübersicht



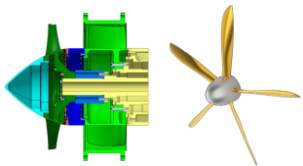
Konzeptentwurf



UAM Flugzeug

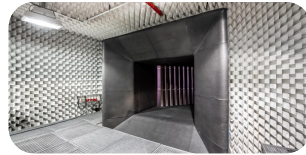


Antriebsstrang

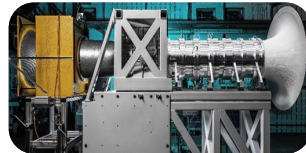


Fan & Propeller

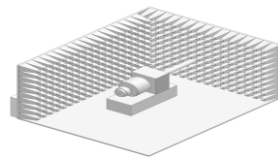
Einzelmessungen



Windkanal



Fanprüfstand

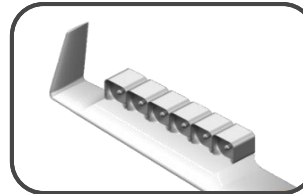


Antriebsstrangprüfstand

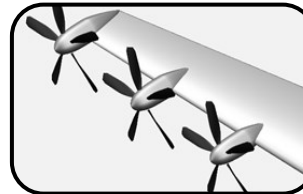
Von Einzelmessungen zu verteilten Antrieben



Flügelspitzenpropeller

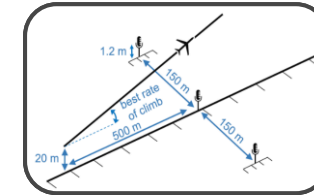


verteilte Fanstufen

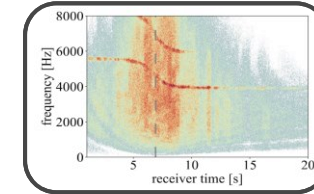


installierte Propeller

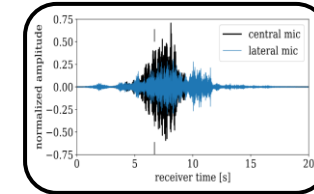
Überflugsimulation und Auralisierung



Trajektorien



Spektrogramme

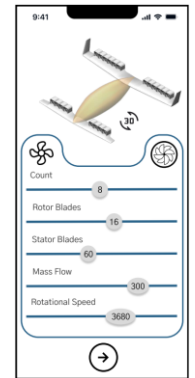


Zeitsignale

psychoakustische Studien



Hörversuche



App

2023

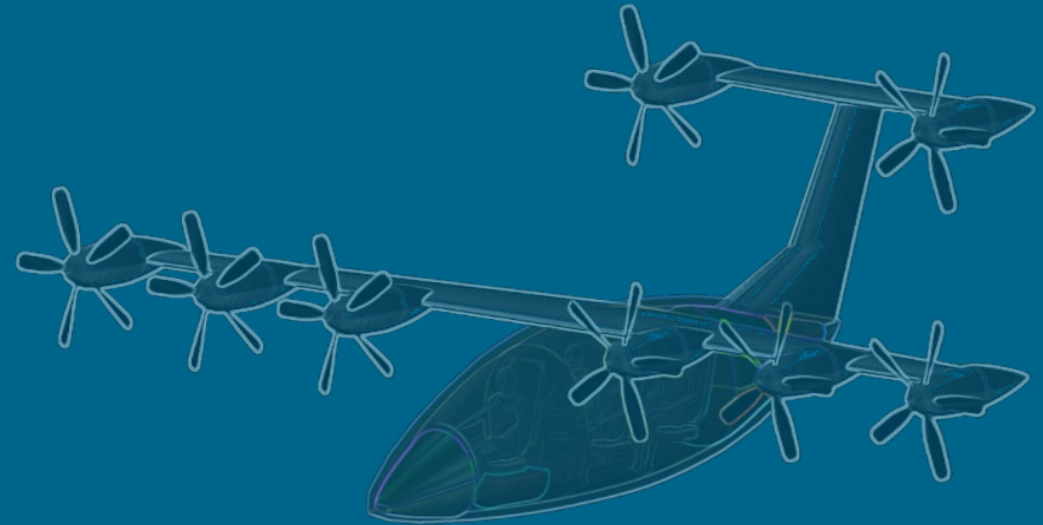
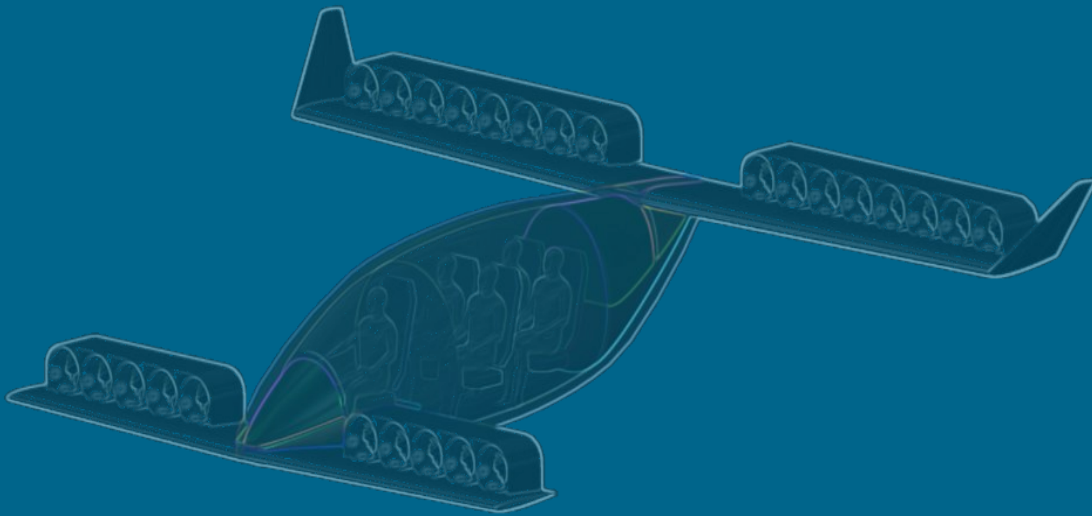
2024

2025

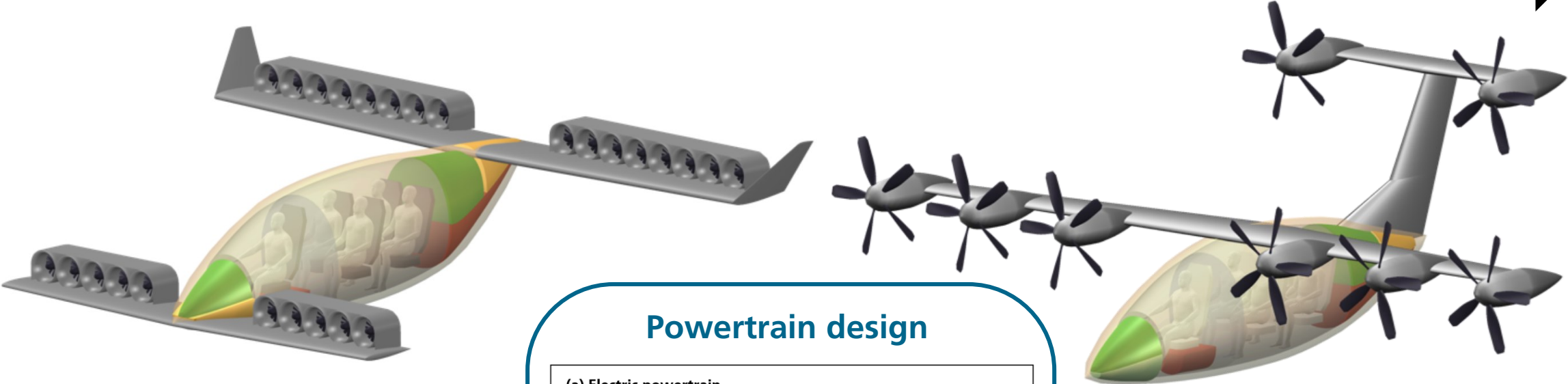
2026



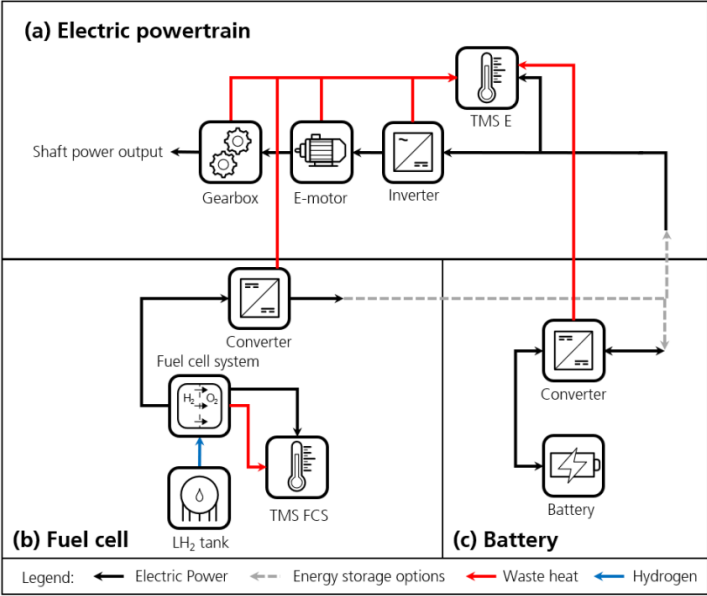
Konzeptentwurf elektrisch angetriebener UAM- Flugzeuge für aeroakustische Studien



Iterativer Designprozess



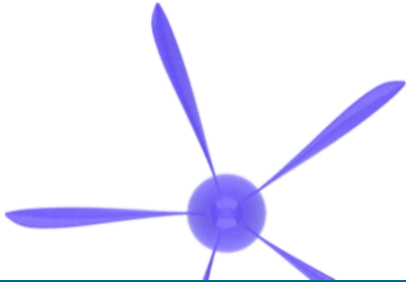
Powertrain design



Fan design



Propeller design

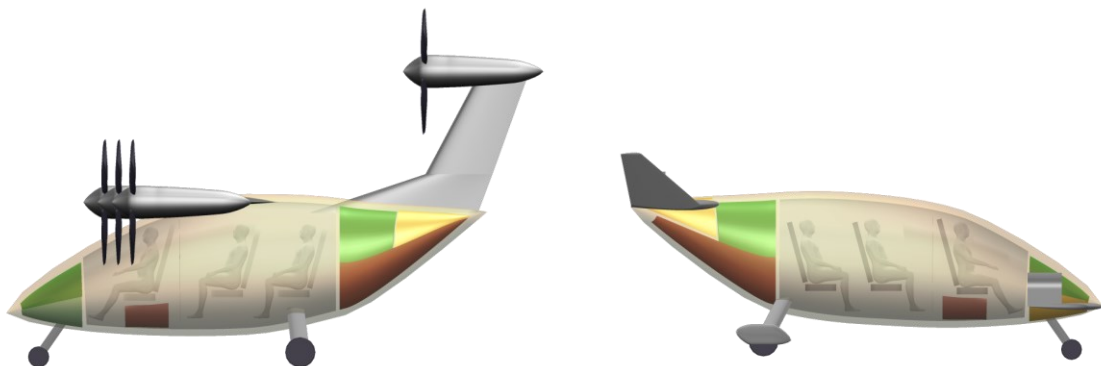


Flugzeuganforderungen

TLARs	
Entry into service	2030-2035
capabilities	Vertical take-off and landing (VTOL)
payload	5 persons on board
max. size (l, w, h)	15.3, 15.3, 6.1
avionics	Equipment for highly automated flight
Ground handling	Taxi without help of external devices

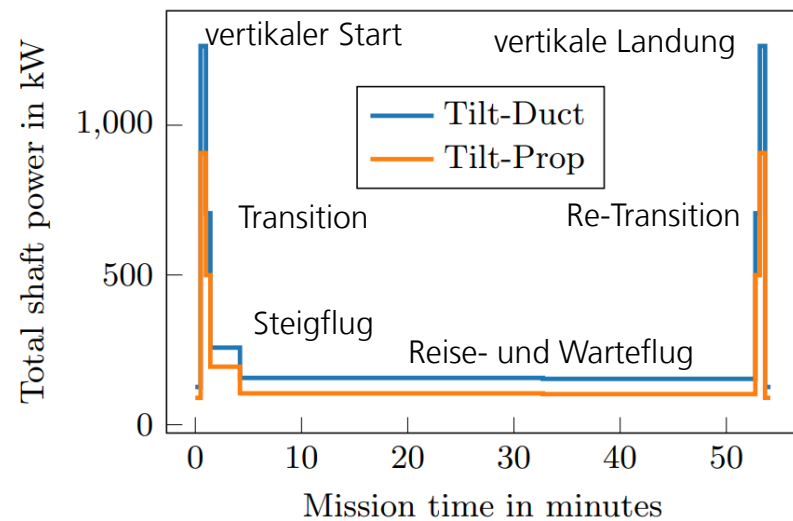
Ergebnisse der Designiteration

Parameter	Tilt Duct	Tilt Rotor
Number of propulsors	26 x 0.46 m	8 x 1.85 m
Max. take-off mass, kg	2,981	2,285
Payload mass, kg	360	360
Wing area, m ²	18.5	12.6
Cruise speed, km/h	200	200
Cruise range, km	150	150
Cruise tip Ma	0.31	0.3

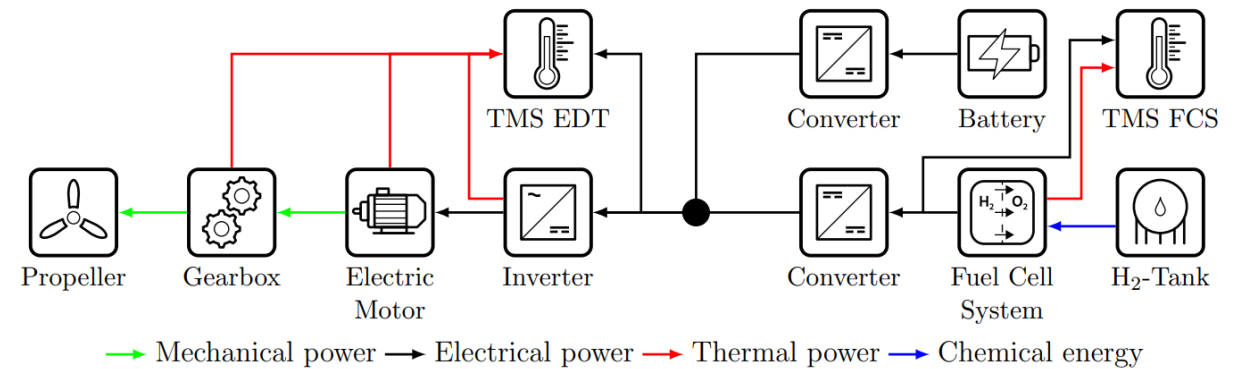


Konzeption des Antriebsstrangs

Missionsprofil



Topologie des Antriebsstrangs



Schulze und Geyer, DAGA,
Hannover, März 2024



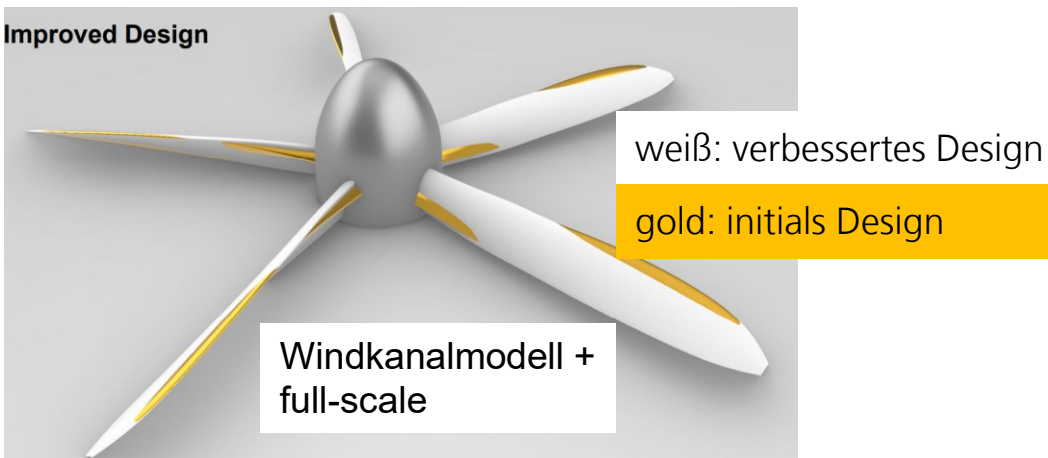
Ludowicy et al., 14th EASN Conference,
Griechenland, Okt 2024

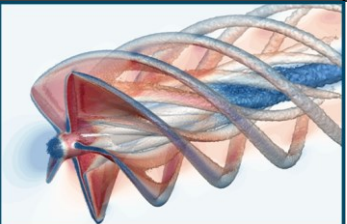
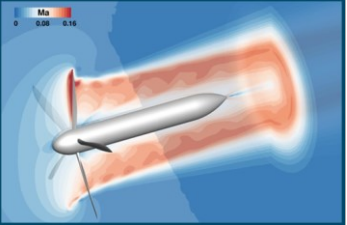
Design der Propeller

8 langsam drehende Propeller



Aerodynamische Optimierung und Fertigung



Parameter		N [rpm]	Fx [N]	Ma_tip	blade angle [deg]	D (fs) [m]	D (ms) [m]
Cruise		840	254	0.30	43	1.85	0.37
Hover		1644	2800	0.50	25		

Design der Fanstufen



26 ummantelte, langsam drehende Fanstufen



3 Fandesigns gefertigt



baseline

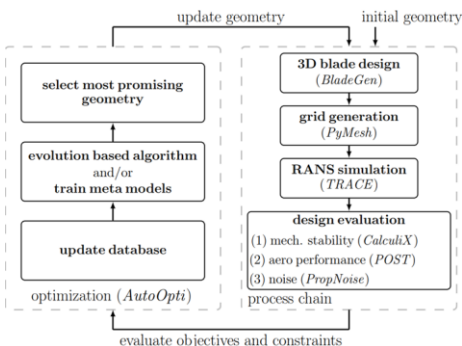
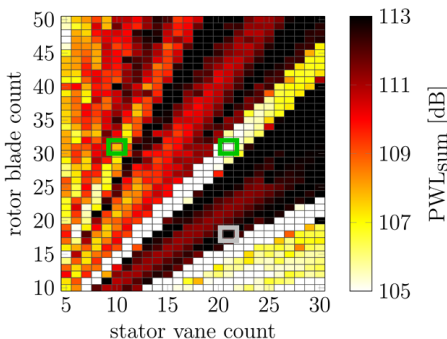


low-broadband



low-tone

Wahl der Schaufelzahlen + 3D Optimierung



Aerodynamische Performance

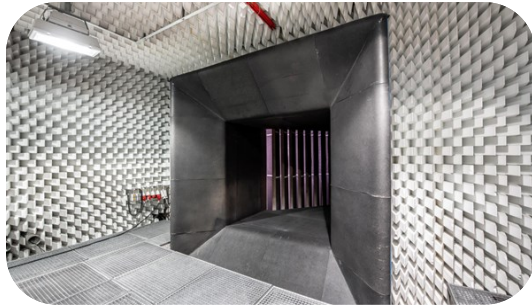
		baseline	low-tone	low-broadband
Design	η_{is}	90.4	90.2	90.0
	PR	1.0382	1.0396	1.0382
Cruise	η_{is}	90.0	89.8	90.0
	PR	1.0210	1.0218	1.0217



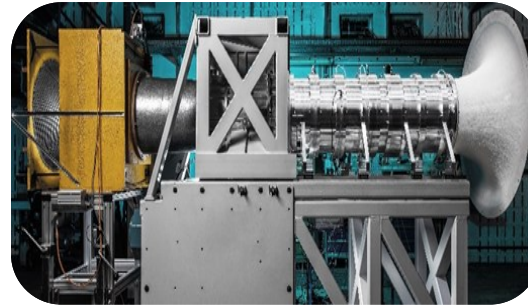
Schade et al., Aerospace 2024,
11(4), 259

Aeroakustische Messungen an DLR Großanlagen

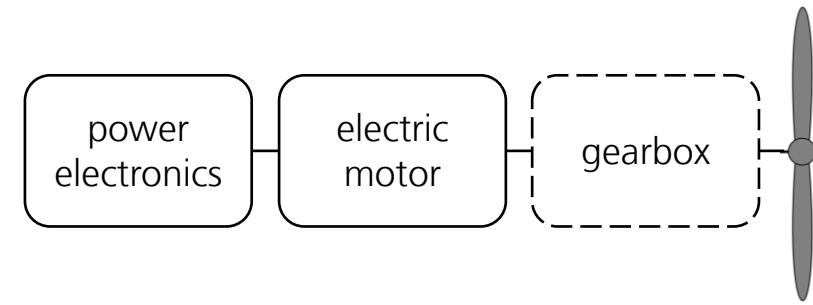
Von Einzelmessungen zu verteilten Antriebssystemen



Windkanal



Fan Prüfstand



Antriebsstrangprüfstand



Für jeden individuellen Propulsor (Fan, Propeller) wird eine Einzelmessung in DLR Großanlagen durchgeführt



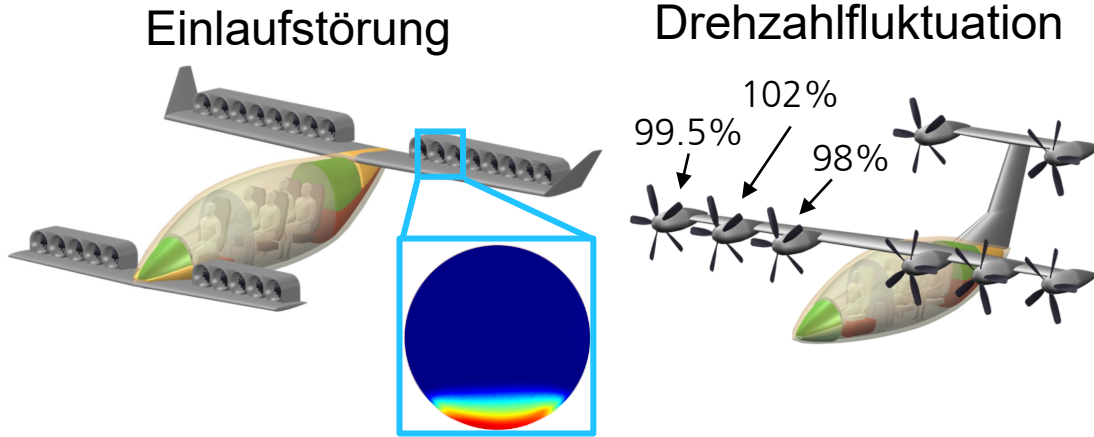
Die Betriebsbedingungen können zwischen den Messungen gezielt voneinander abweichen



Die Einzelmessungen werden in einem nachfolgenden Schritt zu verschiedenen verteilten Antriebssystemen kombiniert

Von Einzelmessungen zu verteilten Antriebssystemen

Vorteile von Einzelmessungen

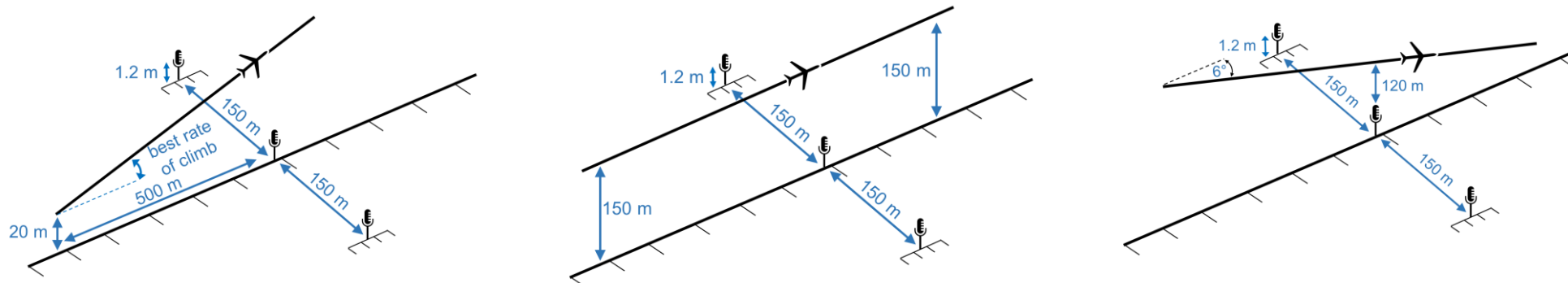


Testmatrix

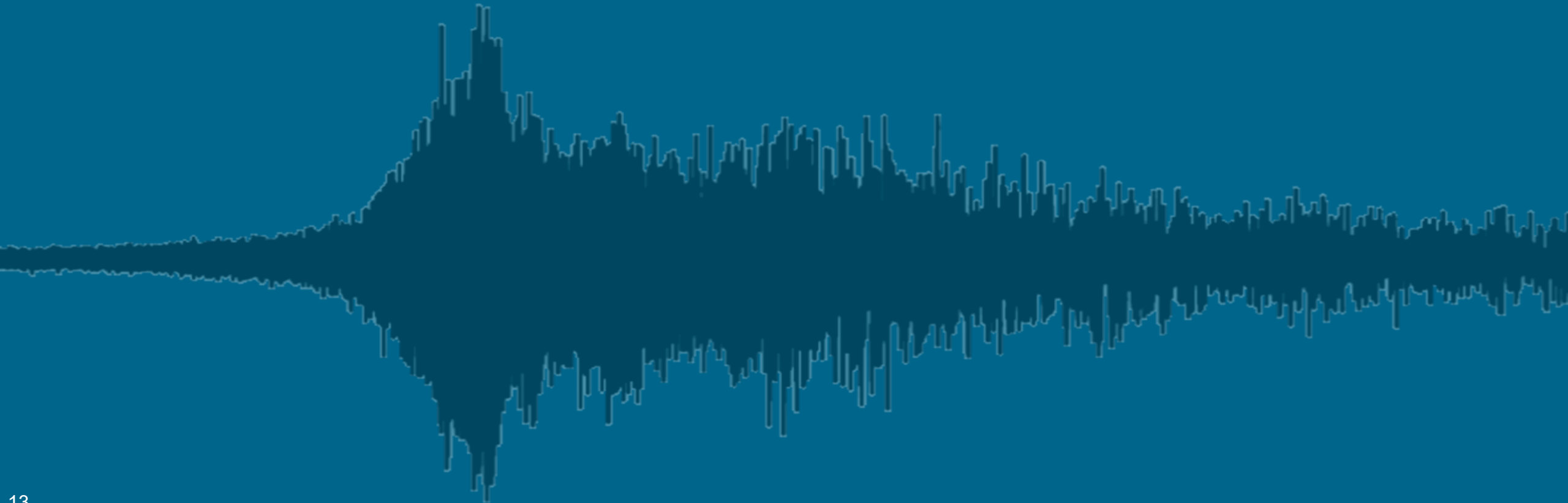
- Variation von Designparametern
- Variation der Betriebszustände

Trajektorien

Entsprechend der **EASA Spezifikationen** für: [VTOL aircraft powered by tilting rotors](#)

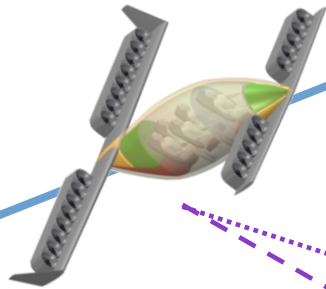
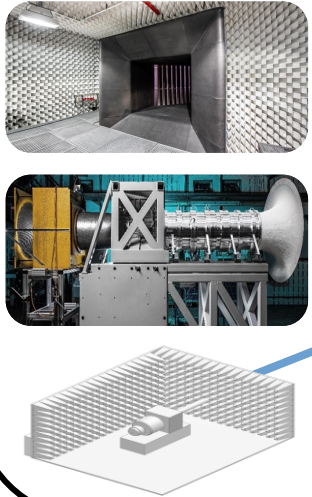


Virtuelle Überflugsimulation und Auralisierung



Analytischer Prozess zur Hörbarmachung der Messdaten

Richtcharakteristiken basierend auf Messdaten



VIOLIN

atmos. jitter

atmos. Dämpfung

Boden-
dämpfung

Bodenref
lexion

virtuelle, akustische
Überflugsimulation



binaurale Schallsynthese



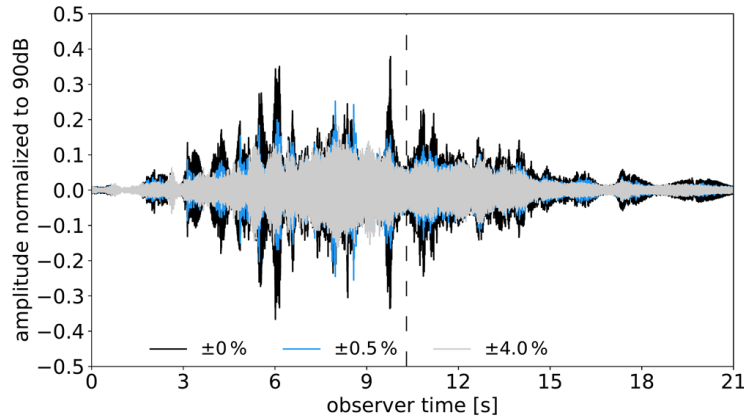
Moreau et al., InterNoise,
Tokio, 2023



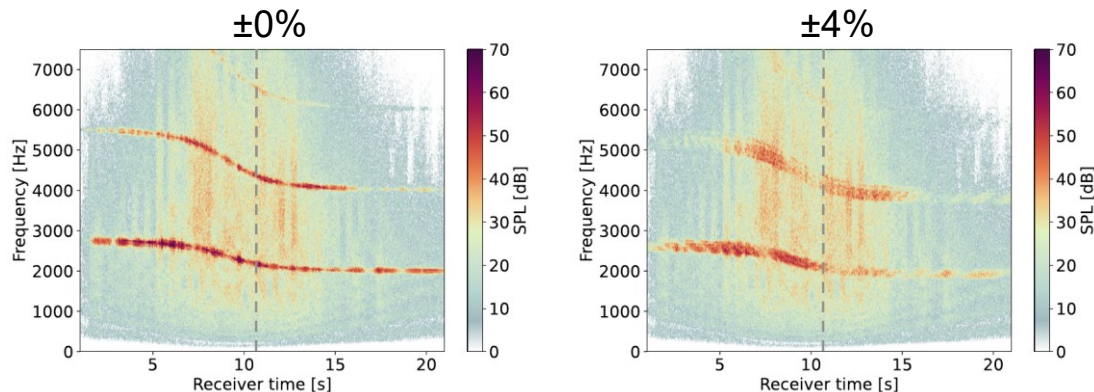
Prescher et al., CEAS
Aeronaut J, 2024

Exkurs: Einfluss von Drehzahlfluktuationen auf die Schallabstrahlung

Zeitsignal

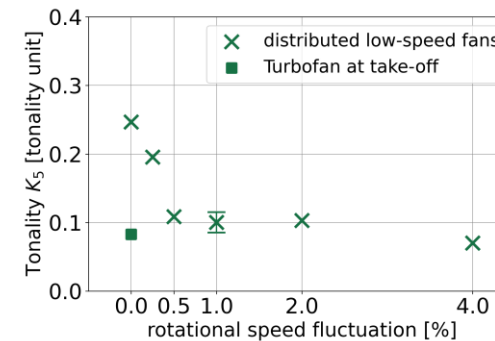


Spektrogramme

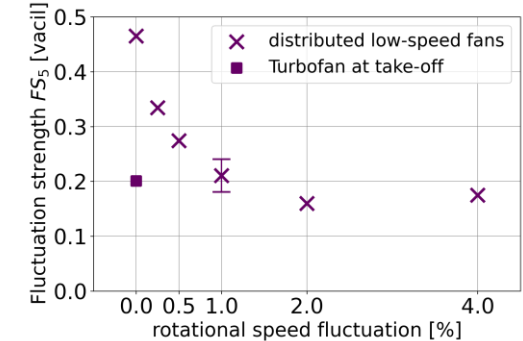


psychoakustische Metriken

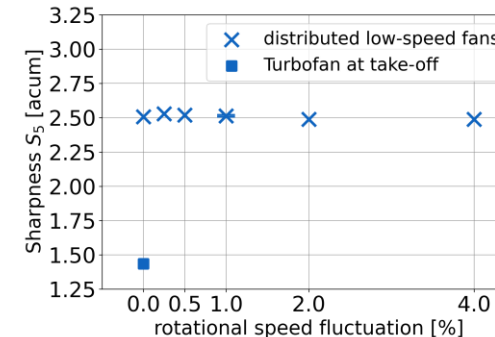
Tonalität – Stärke der tonalen Energie



Fluktuationsstärke – langsame Änderungen in Frequenz/Amplitude



Schärfe – hochfrequente Schallanteile

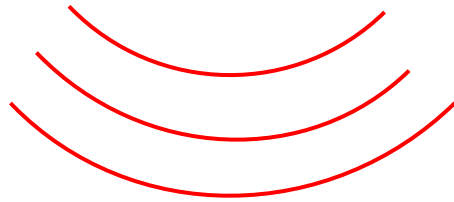
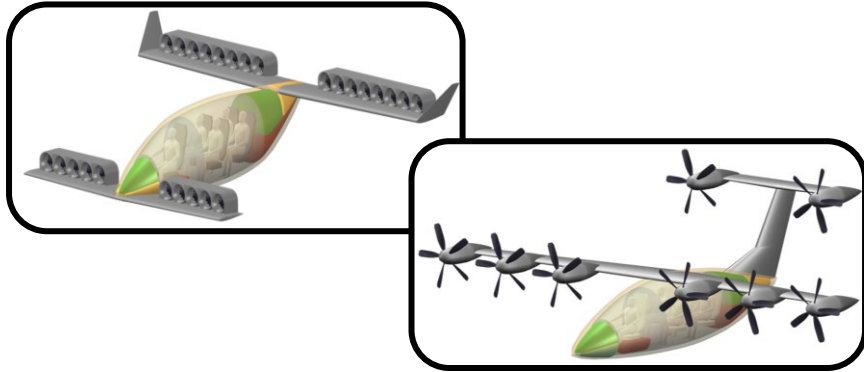


Schade et al., AIAA 2024-3273

psychoakustische Studien



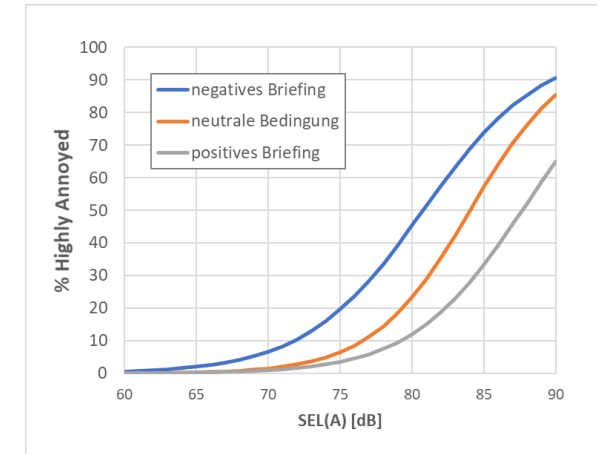
Hörempfinden von verteilten Antriebssystemen



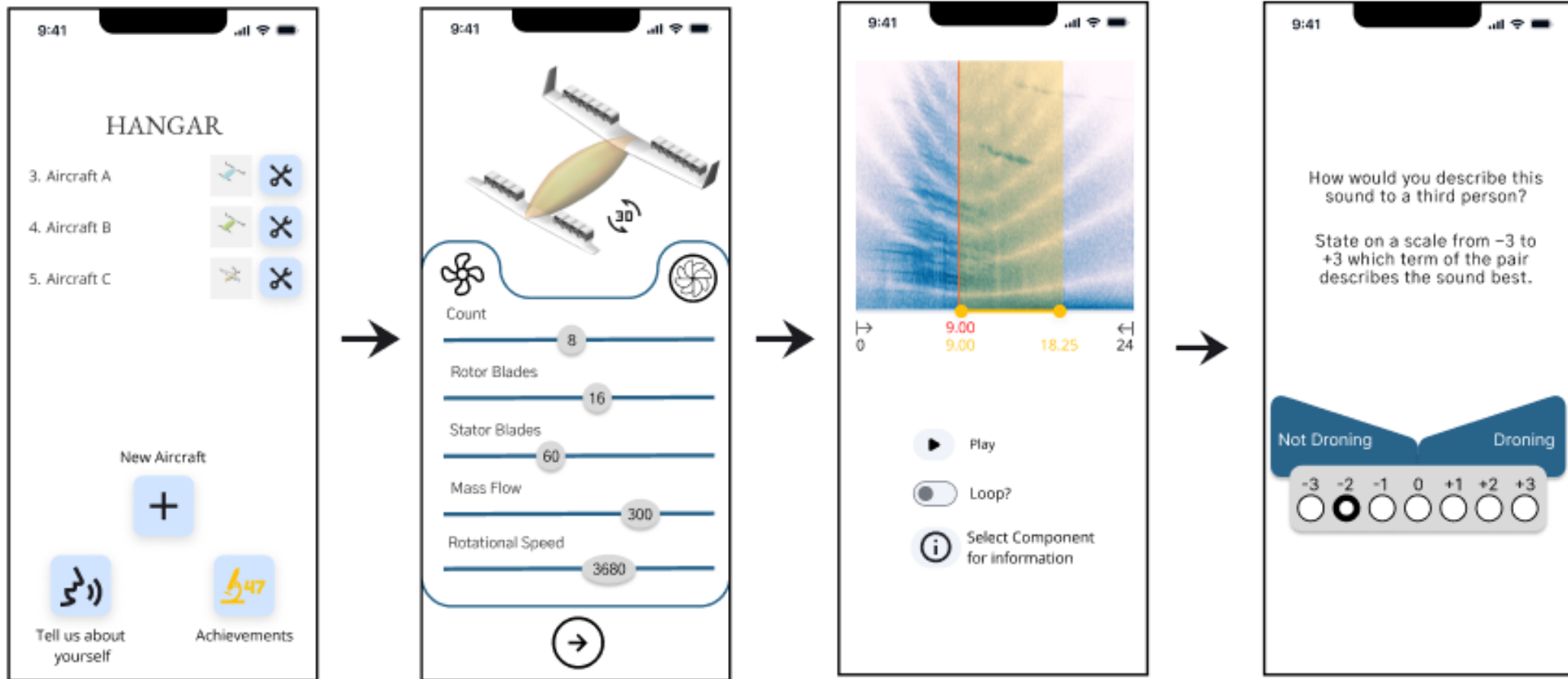
fokussierte Hörversuche



Expositions-Wirkungs-Kurven



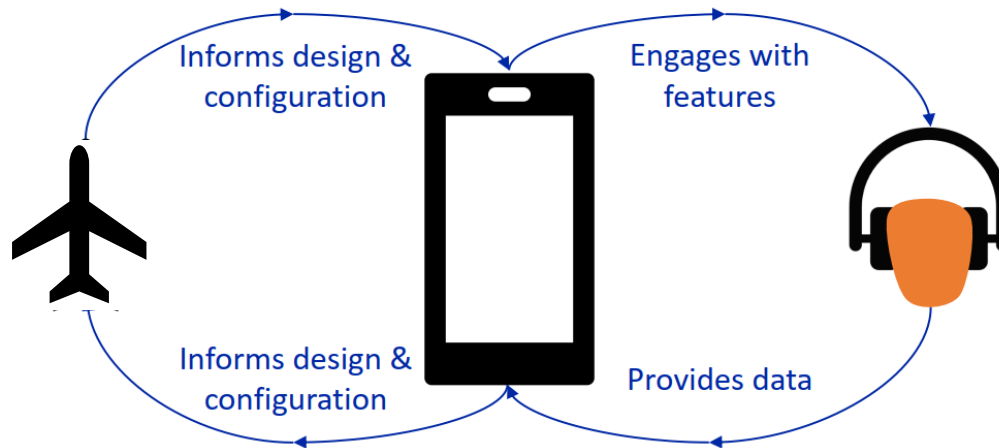
App zur Änderung und psychoakustischen Bewertung von Antriebsgeräuschen



App zur Änderung und psychoakustischen Bewertung von Antriebsgeräuschen

Datengewinnung + Akzeptanz

Patentanmeldung erfolgreich



Deutsches
Patent- und Markenamt



Straub et al., Quiet Drones,
Manchester, Sept 2024



Straub et al., ECCE Konferenz,
Paris, Okt 2024

■ Forschungsziel:

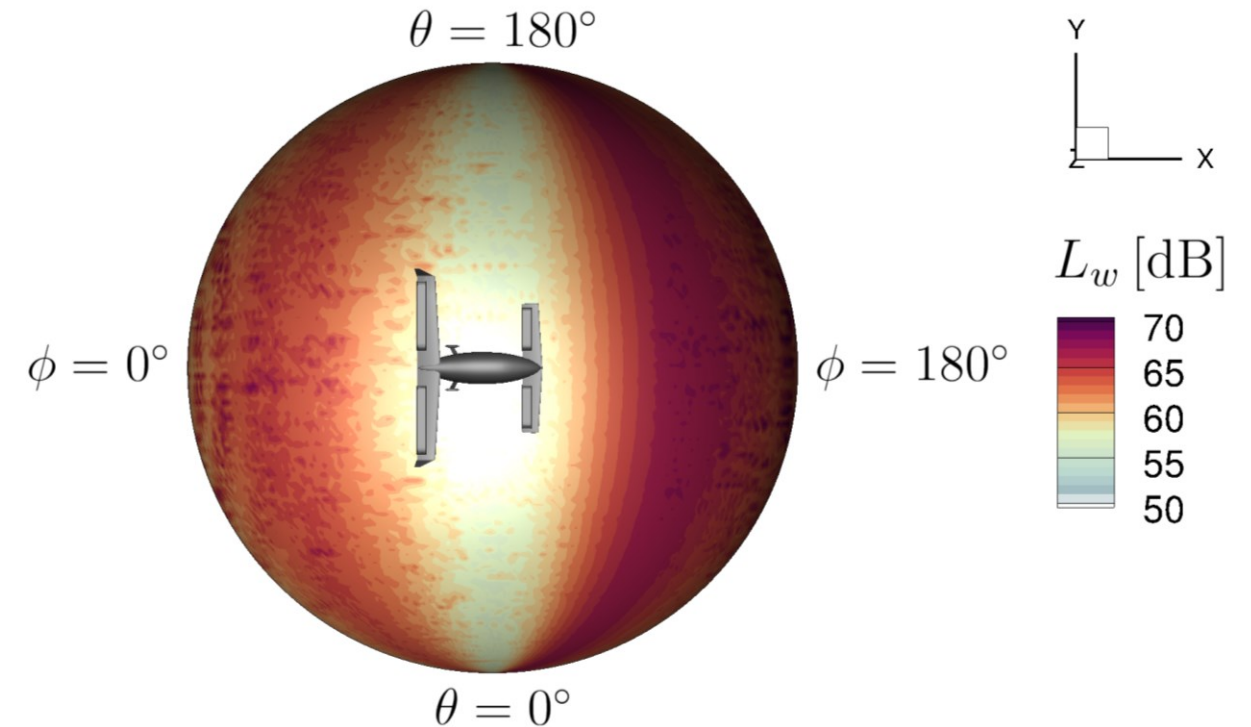
Untersuchung der Lärmwahrnehmung / Lärmwirkung von verteilten und installierten Propulsoren (Fans, Propeller) mit elektrischem Antriebsstrang



Jan 2023 bis Dez 2026



11 DLR Institute involviert



Danke für's Zuhören!



Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Antriebstechnik | Triebwerksakustik

Stephen Schade

VIRLWINT Projektleiter

e-mail: Stephen.Schade@dlr.de

VIRLWINT Homepage:



Sofern nicht anders angegeben, liegen die Bildrechte beim DLR

Unless otherwise stated, all images and diagrams are the property of DLR