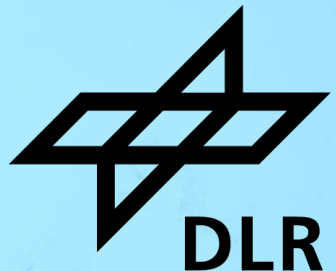


# DLR PROJEKT VIRLWINT

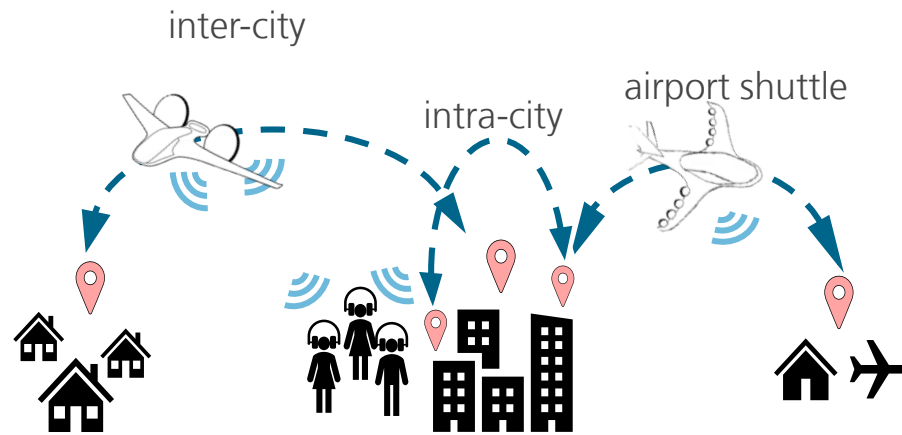
[Virtueller akustischer Zwilling verteilter Antriebe]

**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

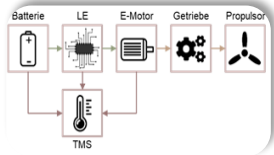
# VIRLWINT Projektübersicht



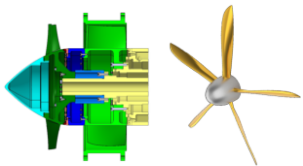
## Konzeptentwurf



UAM Flugzeug

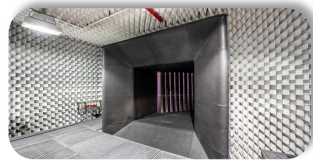


Antriebsstrang



Fan & Propeller

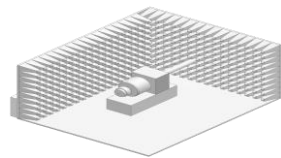
## Einzelmessungen



Windkanal



Fanprüfstand

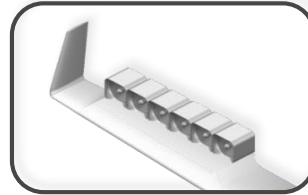


Antriebsstrangprüfstand

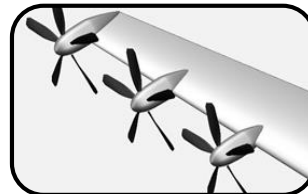
## Von Einzelmessungen zu verteilten Antrieben



Flügelspitzenpropeller

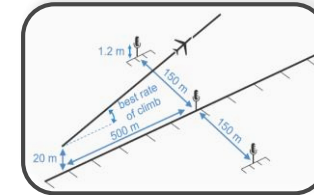


verteilte Fanstufen

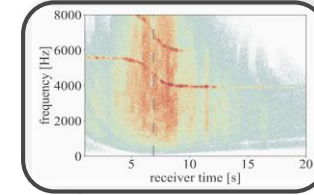


installierte Propeller

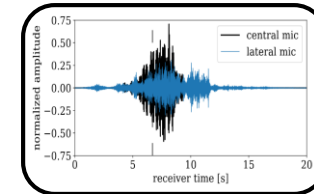
## Überflugsimulation und Auralisierung



Trajektorien



Spektrogramme

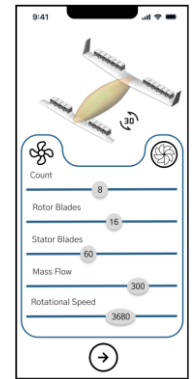


Zeitsignale

## psychoakustische Studien



Hörversuche



App

2023

2024

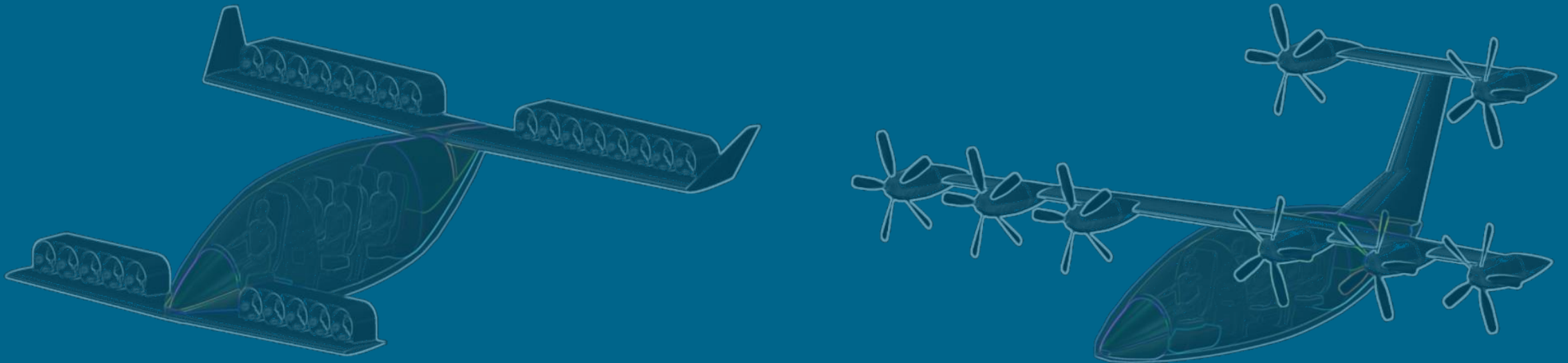
2025

2026

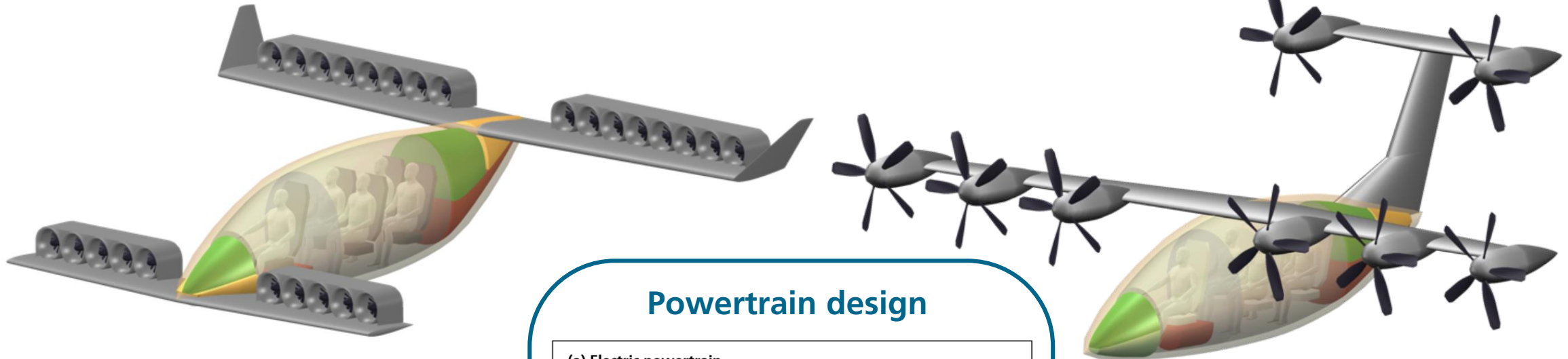




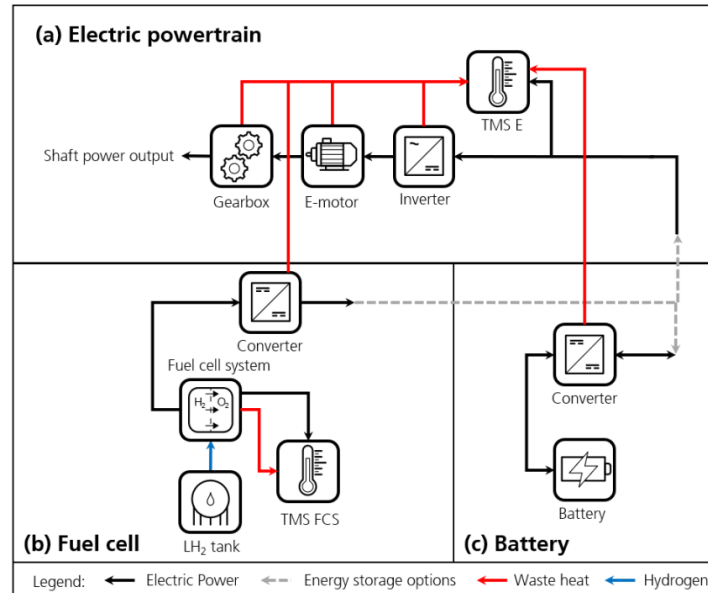
# Konzeptentwurf elektrisch angetriebener UAM- Flugzeuge für aeroakustische Studien



# Iterativer Designprozess



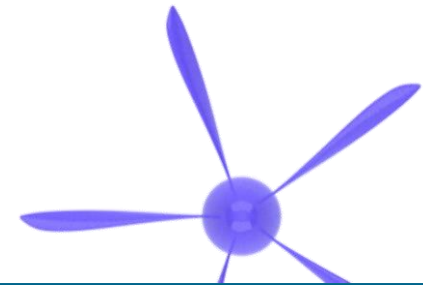
## Powertrain design



## Fan design



## Propeller design



# Konzeption der Flugzeuge

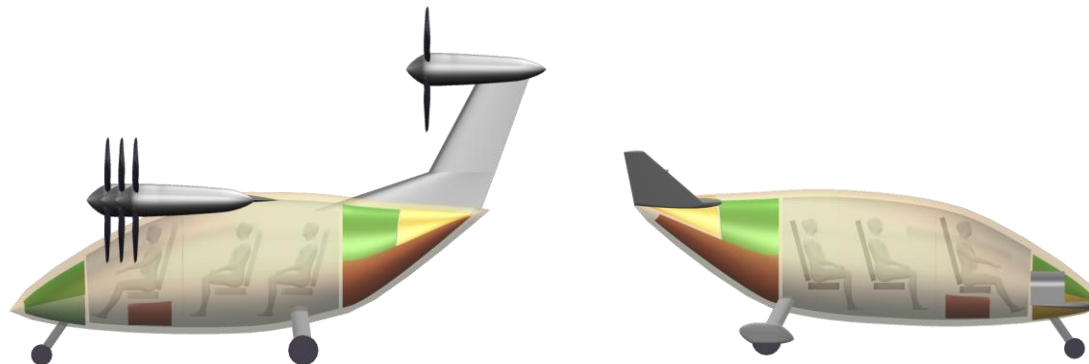


## Flugzeuganforderungen

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

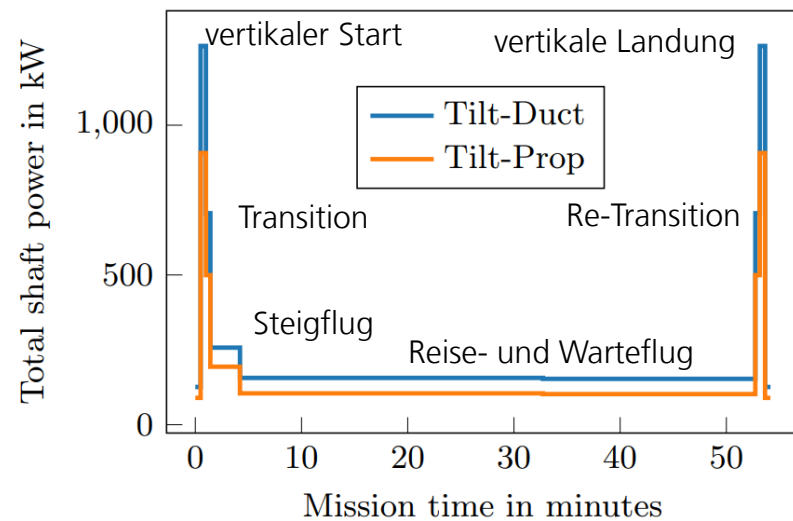
## Ergebnisse der Designiteration

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 <sup>2</sup>	18.5	12.6
Cruise speed, km/h	200	200
Cruise range, km	150	150
Cruise tip Ma	0.31	0.3

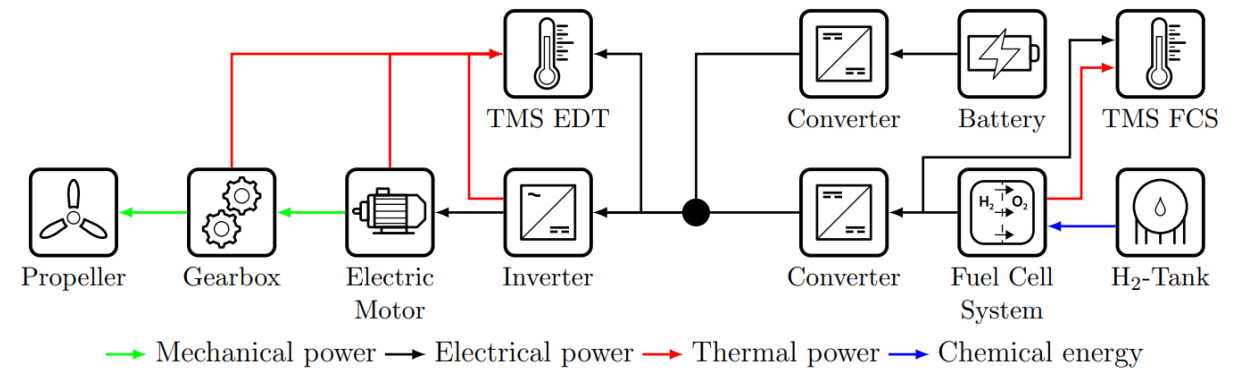


# Konzeption des Antriebsstrangs

## Missionsprofil



## Topologie des Antriebsstrangs



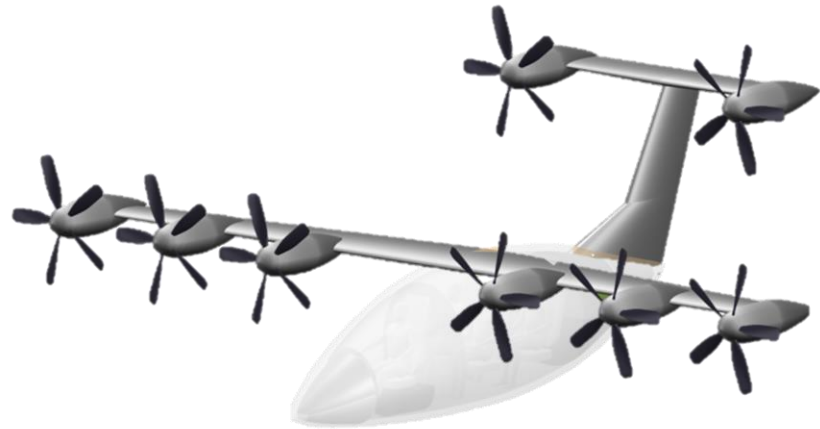
Schulze und Geyer, DAGA,  
Hannover, März 2024



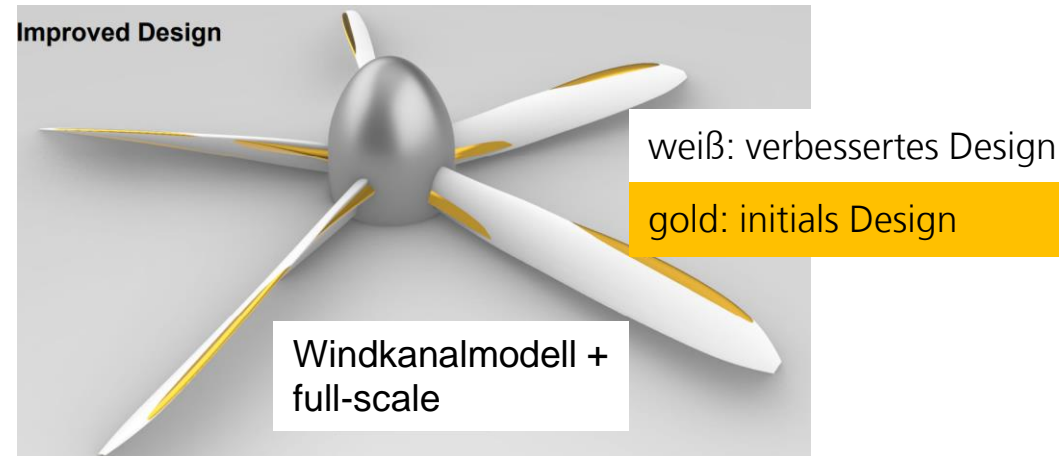
Ludowicy et al., 14th EASN Conference,  
Griechenland, Okt 2024

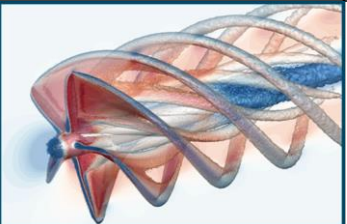
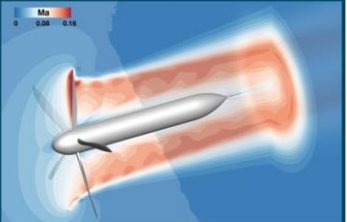
# Design der Propeller

## 8 langsam drehende Propeller



## Aerodynamische Optimierung und Fertigung

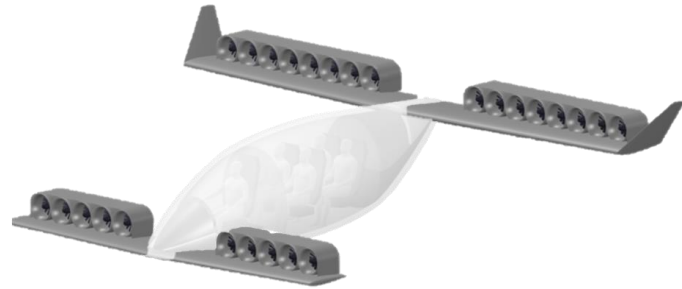


Parameter		N [rpm]	F <sub>x</sub> [N]	Ma <sub>tip</sub>	blade angle [deg]	D (fs) [m]	D (ms) [m]
Cruise		840	254	0.30	43	1.85	0.37
Hover		1644	2800	0.50	25		



# Design der Fanstufen

26 ummantelte, langsam drehende Fanstufen



3 Fandesigns gefertigt



baseline

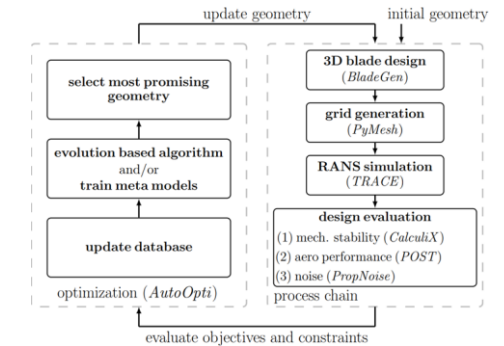
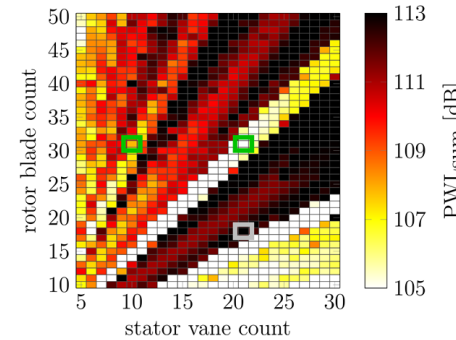


low-broadband



low-tone

Wahl der Schaufelzahlen + 3D Optimierung



Aerodynamische Performance

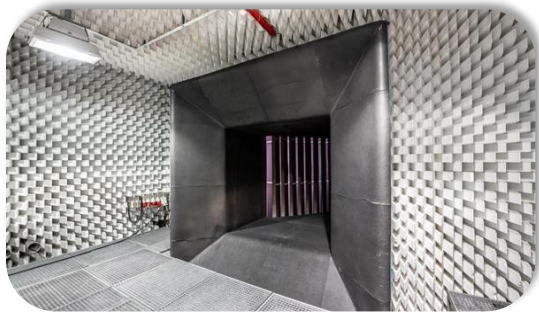
		baseline	low-tone	low-broadband
Design	$\eta_{is}$	90.4	90.2	90.0
	PR	1.0382	1.0396	1.0382
Cruise	$\eta_{is}$	90.0	89.8	90.0
	PR	1.0210	1.0218	1.0217



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

# Aeroakustische Messungen an DLR Großanlagen

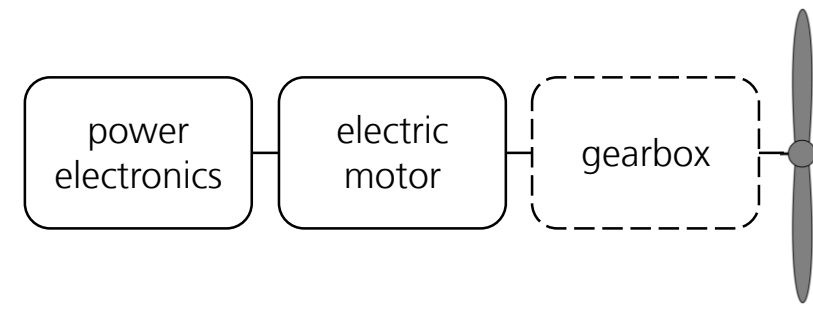
# Von Einzelmessungen zu verteilten Antriebssystemen



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

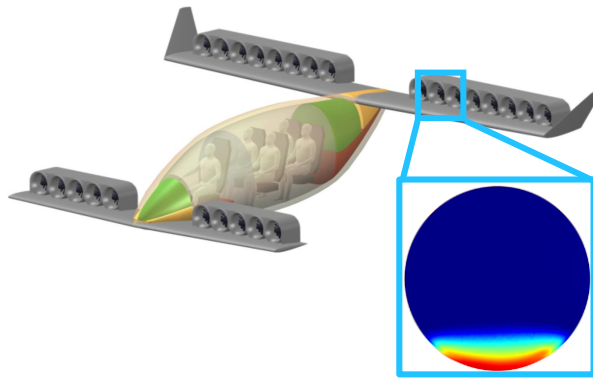


Die Einzelmessungen werden in einem nachfolgenden Schritt zu verschiedenen verteilten Antriebssystemen kombiniert

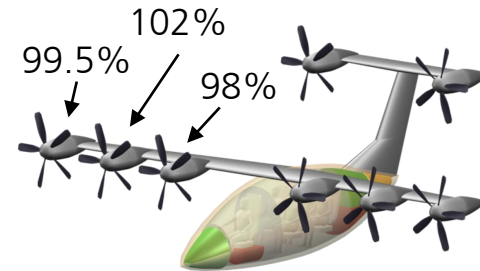
# Von Einzelmessungen zu verteilten Antriebssystemen

## Vorteile von Einzelmessungen

### Einlaufstörung



### Drehzahlfluktuation

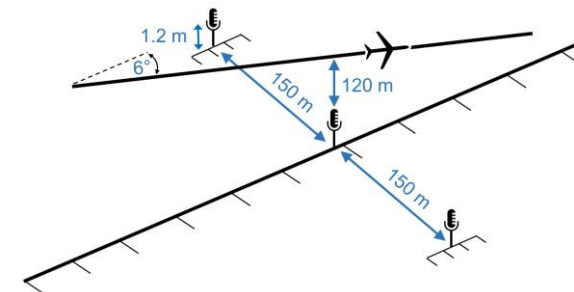
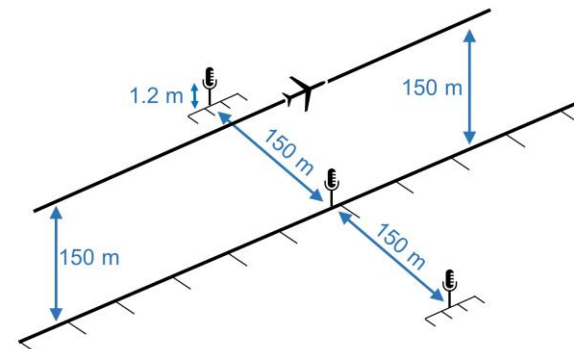
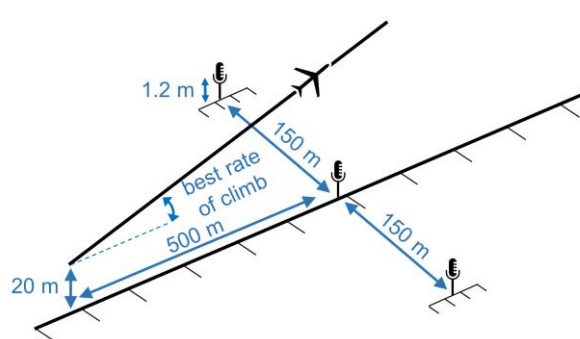


## Testmatrix

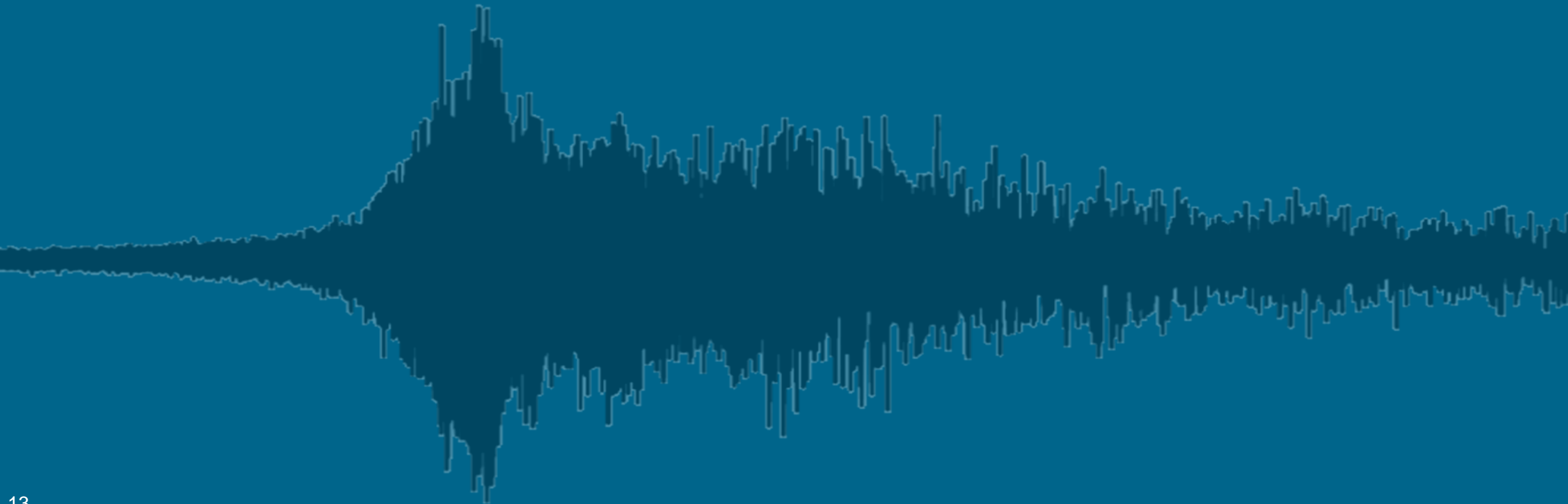
- Variation von Designparametern
- Variation der Betriebszustände

## Trajektorien

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

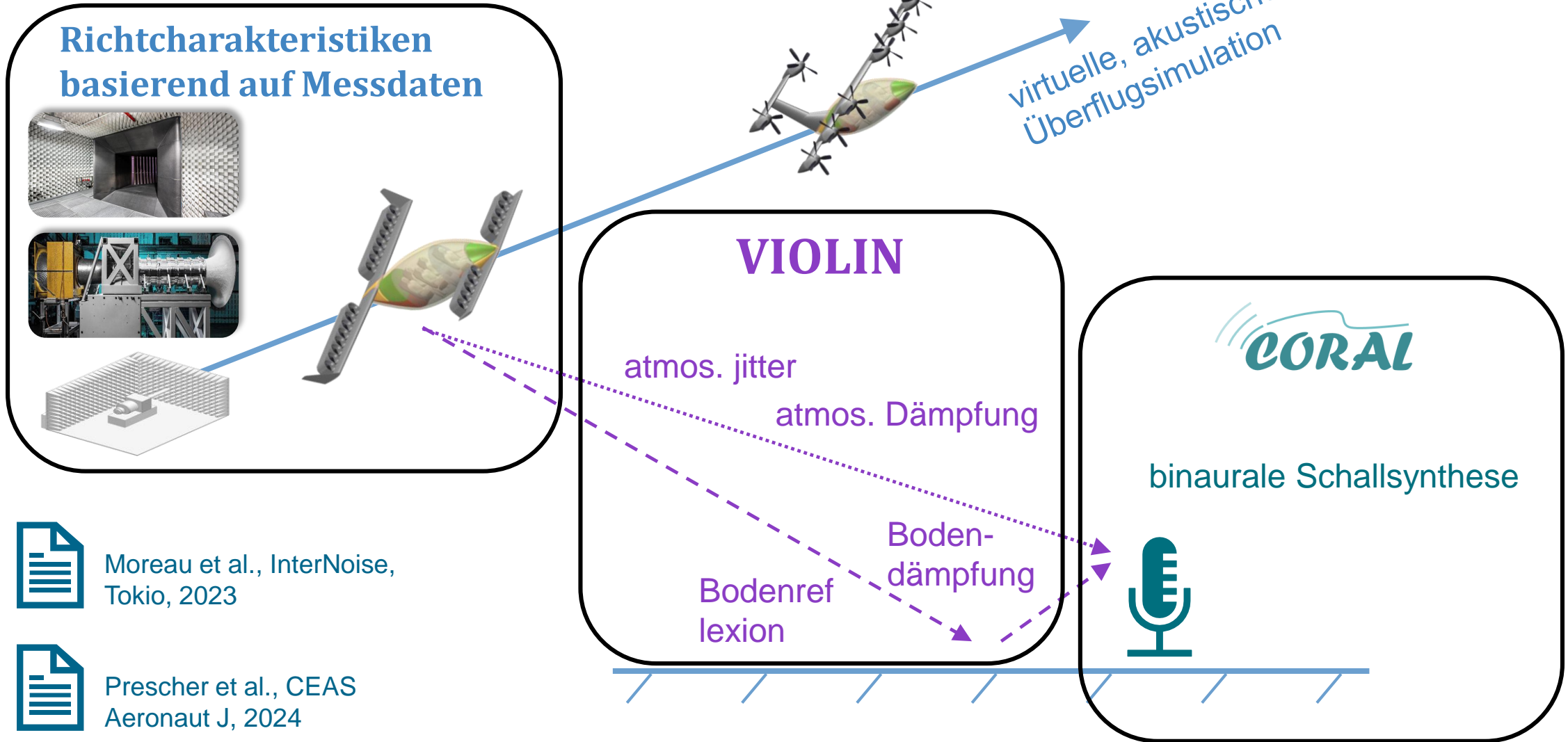


# Virtuelle Überflugsimulation und Auralisierung



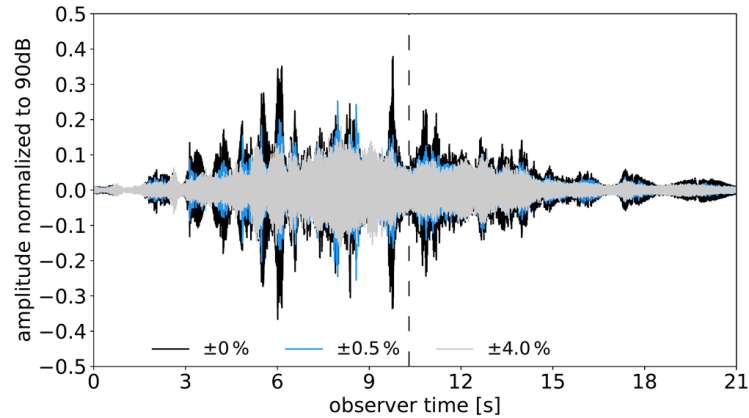


# Analytischer Prozess zur Hörbarmachung der Messdaten



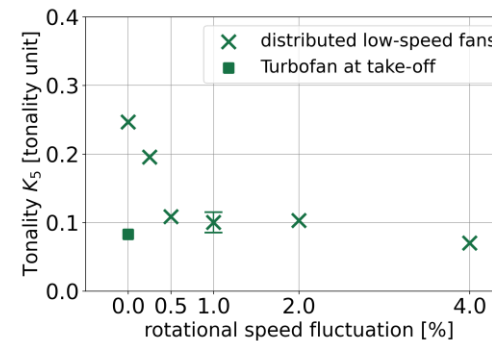
# Exkurs: Einfluss von Drehzahlfluktuationen auf die Schallabstrahlung

## Zeitsignal

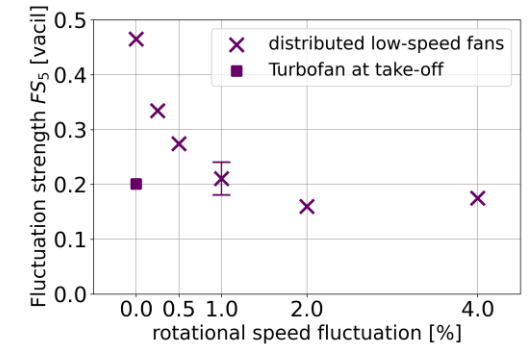


## psychoakustische Metriken

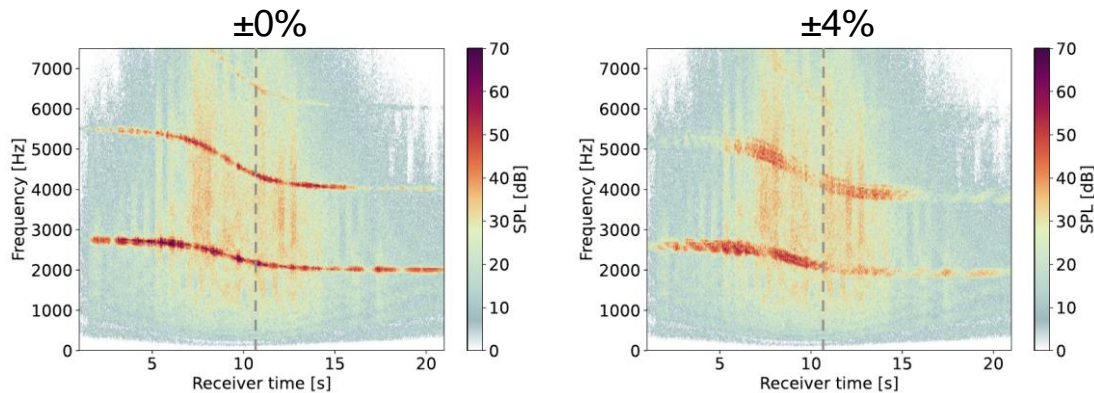
### Tonalität – Stärke der tonalen Energie



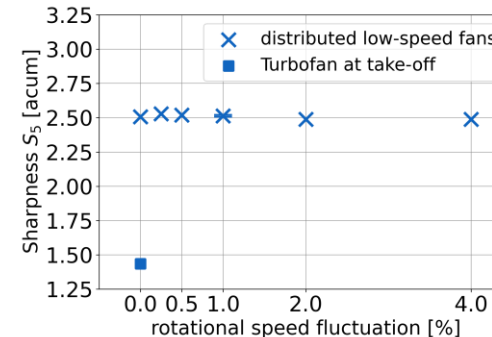
### Fluktuationstärke – langsame Änderungen in Frequenz/Amplitude



## Spektrogramme



### Schärfe – hochfrequente Schallanteile

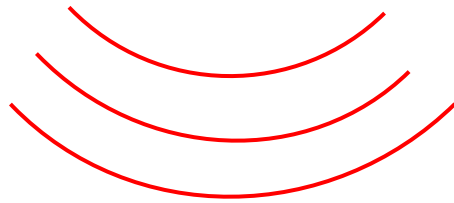
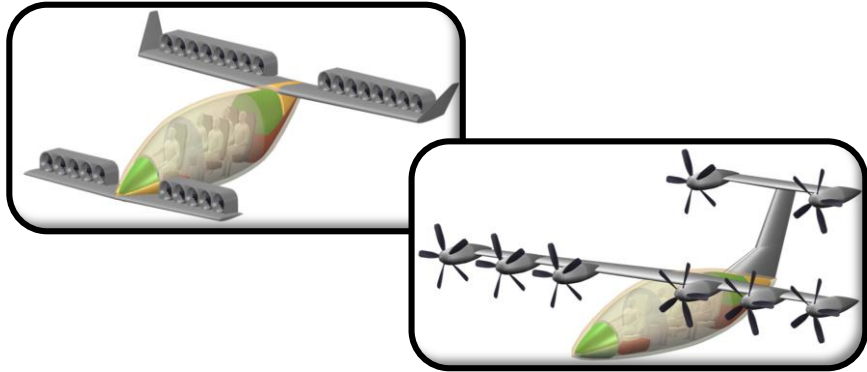


Schade et al., AIAA 2024-3273

# psychoakustische Studien



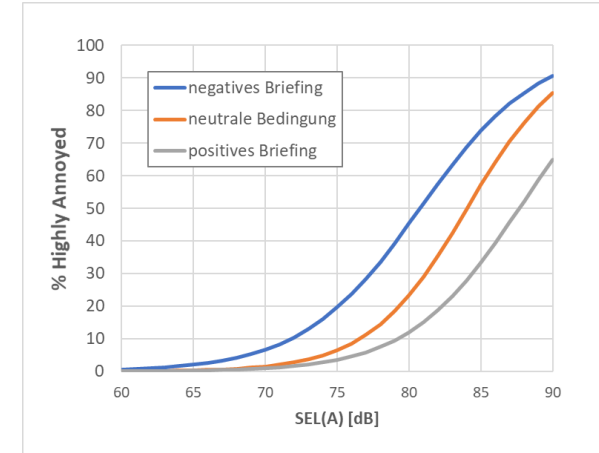
# Hörempfinden von verteilten Antriebssystemen



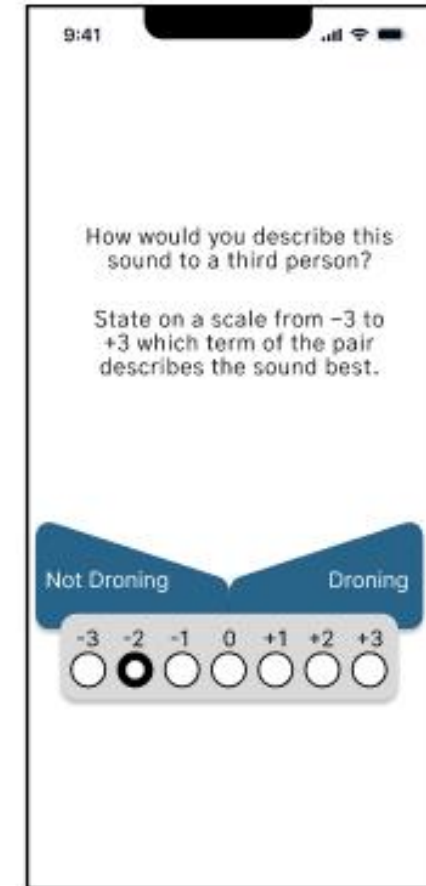
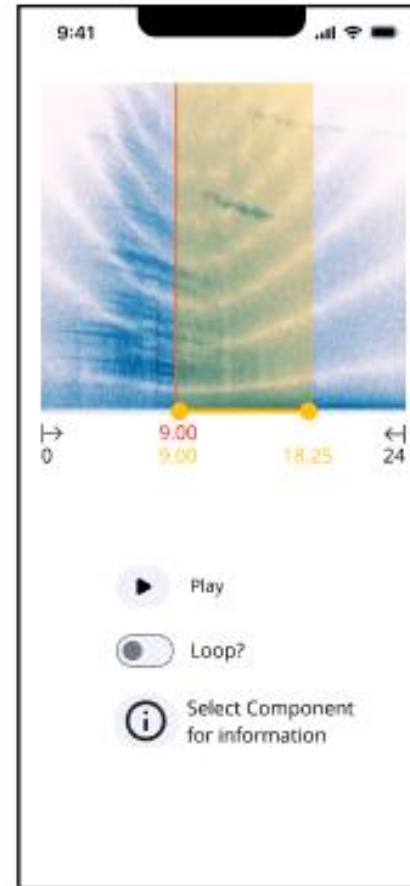
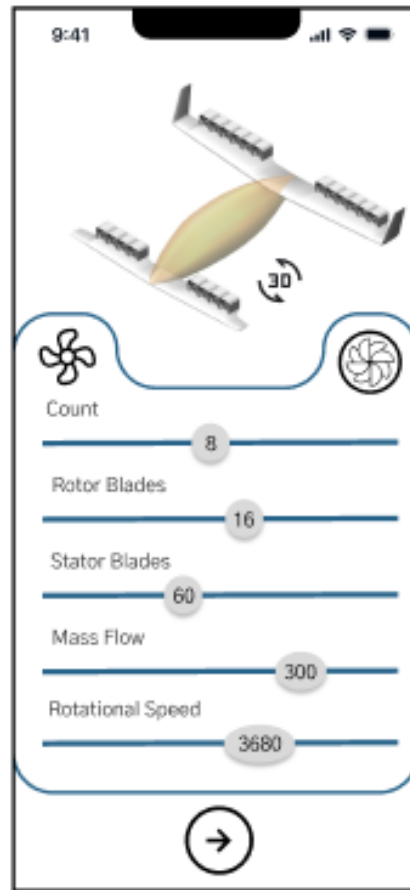
fokussierte Hörversuche



Expositions-Wirkungs-Kurven



# App zur Änderung und psychoakustischen Bewertung von Antriebsgeräuschen

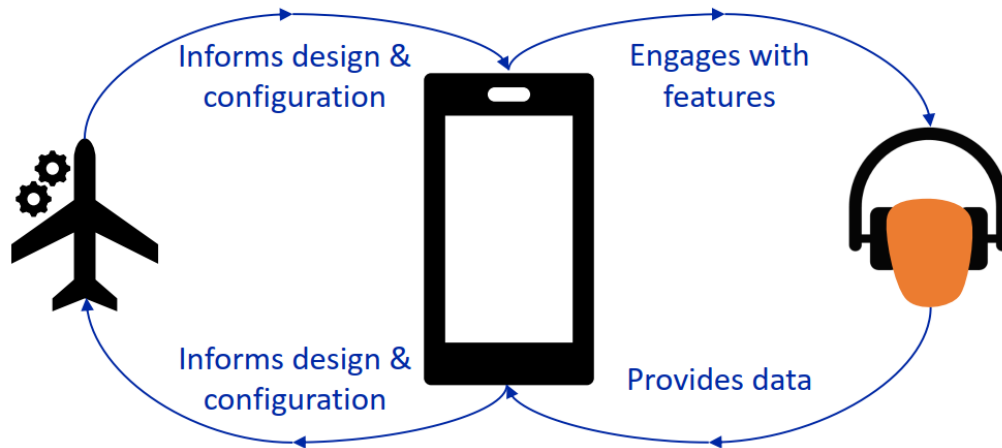




# App zur Änderung und psychoakustischen Bewertung von Antriebsgeräuschen

Datengewinnung + Akzeptanz

Patentanmeldung erfolgreich



Deutsches Patent- und Markenamt



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



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

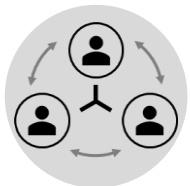
# Zusammenfassung

## ▪ Forschungsziel:

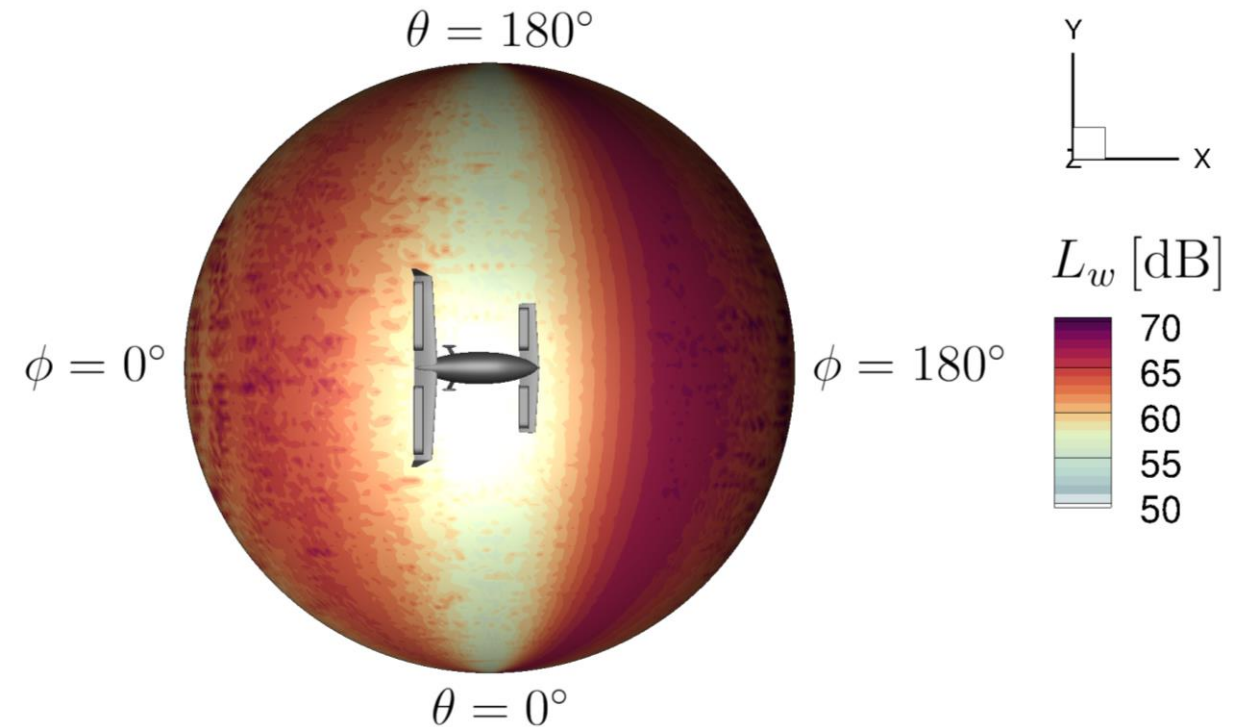
Untersuchung der Lärmwahrnehmung / Lärmwirkung von verteilten und installierten Propulsoren (Fans, Propeller) mit elektrischem Antriebsstrang



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](mailto:Stephen.Schade@dlr.de)