



Integration of a Noise Analysis Module into a Multidisciplinary Aircraft Design Process

Philip Krammer

1. Prüfer: Professor Dr.-Ing. D. Scholz MSME

2. Prüfer: Dipl.-Ing. C. Werner-Westphal

Betreuer: M.S., Dipl.-Ing. L. Bertsch

Durchgeführt in Kooperation mit

**Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
Institut für Flugzeugbau und Leichtbau IFL**

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik**



Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Motivation

„a balanced approach towards aircraft noise reduction“ (ICAO)



Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

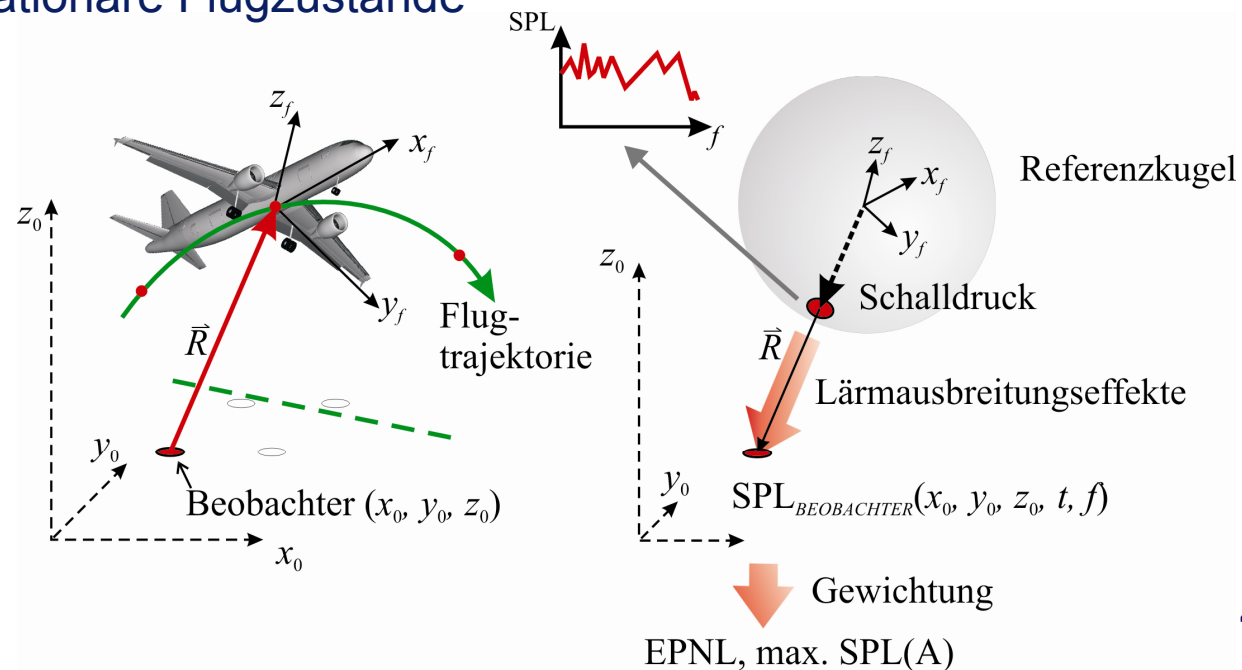
Inhaltsübersicht

- Lärmanalyse mit PANAM
- Lärm als eine Zielfunktion in PrADO
- Schnittstellen
 - geometrische Parameter des Flugzeuges
 - charakteristische Triebwerksgrößen
 - diskretisierte Flugtrajektorien
- Anwendung und Ergebnisse
 - Parametervariation an einem 150-sitzer
 - Grüner Frachter
- Fazit

Lärmanalyse mit PANAM (Parametric Aircraft Noise Analysis Module)

- Lärm approximiert durch Hauptlärmquellen
- Lärmquellmodelle: parametrisch, semi-empirisch
- diskretisierte Flugtrajektorie
 - quasi-stationäre Flugzustände

$$SPL = 20 \lg \frac{p_{rms}}{p_{ref}}$$





Integration of PANAM into PrADO

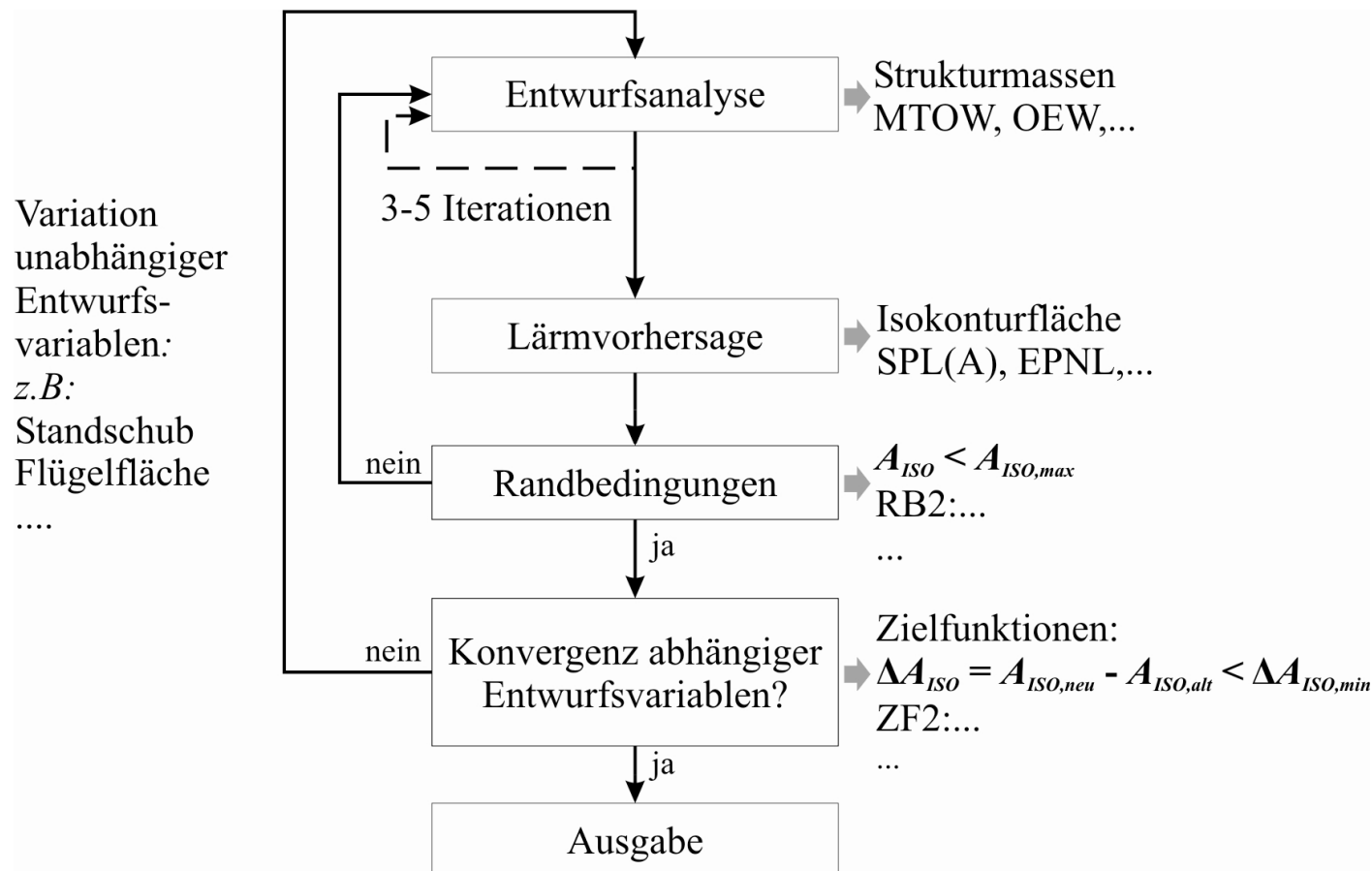
Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Lärm als eine Zielfunktion in PrADO





Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

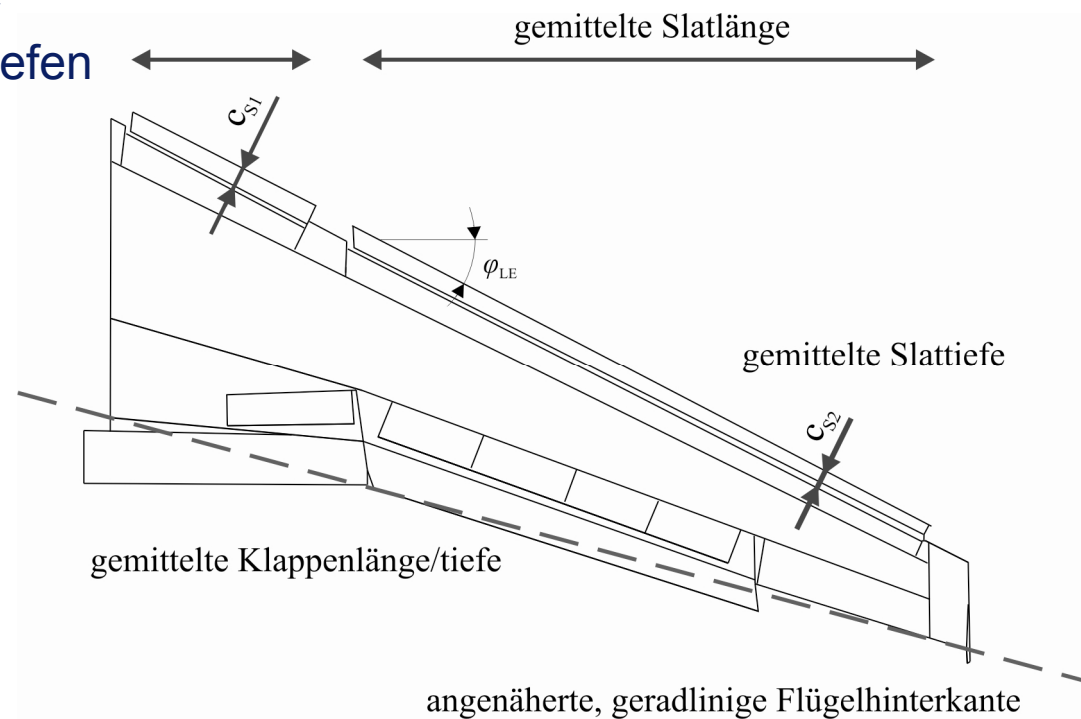
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Schnittstellen

- Was benötigt PANAM aus PrADO?
 - geometrische Parameter
 - *PrADO* Datenbank
 - charakteristische Triebwerksgrößen
 - Kennfeld (Machzahl, Höhe, Drosselgrad)
 - *PrADO* Kreisprozess
 - diskretisierte Trajektorie
 - Start bzw. Landung
 - *PrADO* Flugsimulationsmodule

Geometrische Parameter des Flugzeuges

- Flügel- und Leitwerksgeometrie
- Fahrwerksgeometrie
- gemittelte Längen/Tiefen
 - Klappen
 - Vorflügel





Charakteristische Triebwerksgrößen (1/3)

- Thermodynamischer Kreisprozess
 - $p, T, v = f(M, H, \tau)$
- indirekter Parameter: Fandrehzahl **N1**
 - Fanlärm (diskrete Töne)
- Fanmassenstrom $m(t)$
 - 1. HS d. Thermodynamik => technische Arbeit
 - Euler Turbinengleichung
 - techn. Arbeit => induzierter Drall c_u
 - Drall => Umfangsgeschwindigkeit

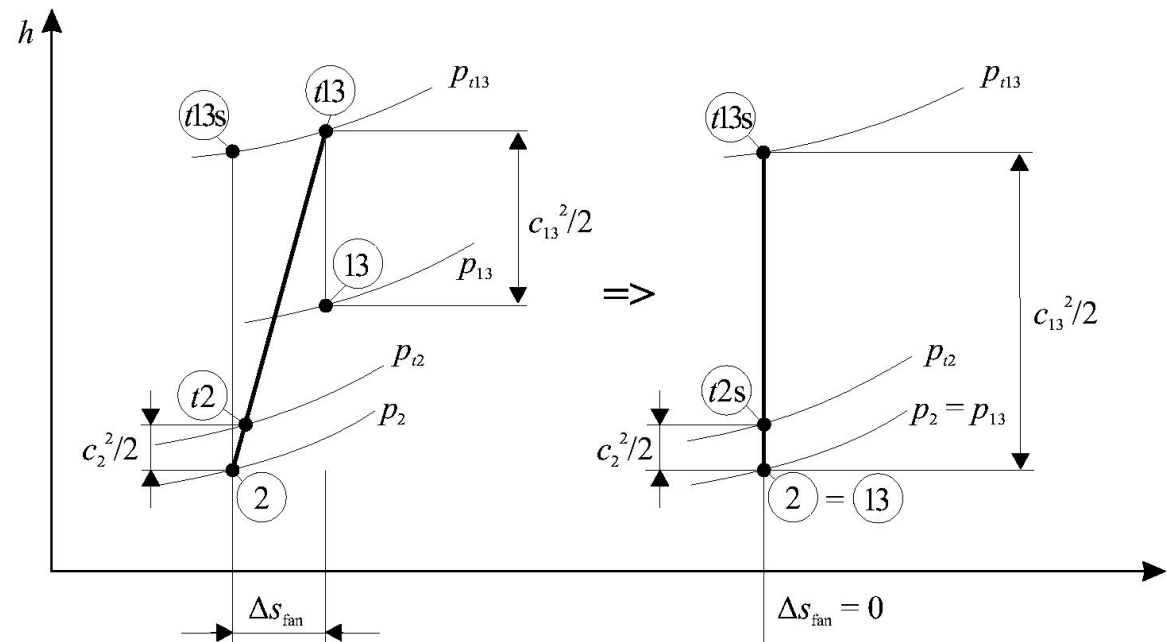
Charakteristische Triebwerksgrößen (2/3)

- Fan = einstufiger Kompressor

– Druckänderung wird vernachlässigt: $p_2 = p_{13}$

$$w_{N, fan} = \frac{1}{2} (c_{13}^2 - c_2^2)$$

- Ergebnis:
 - isobar
 - isentrop



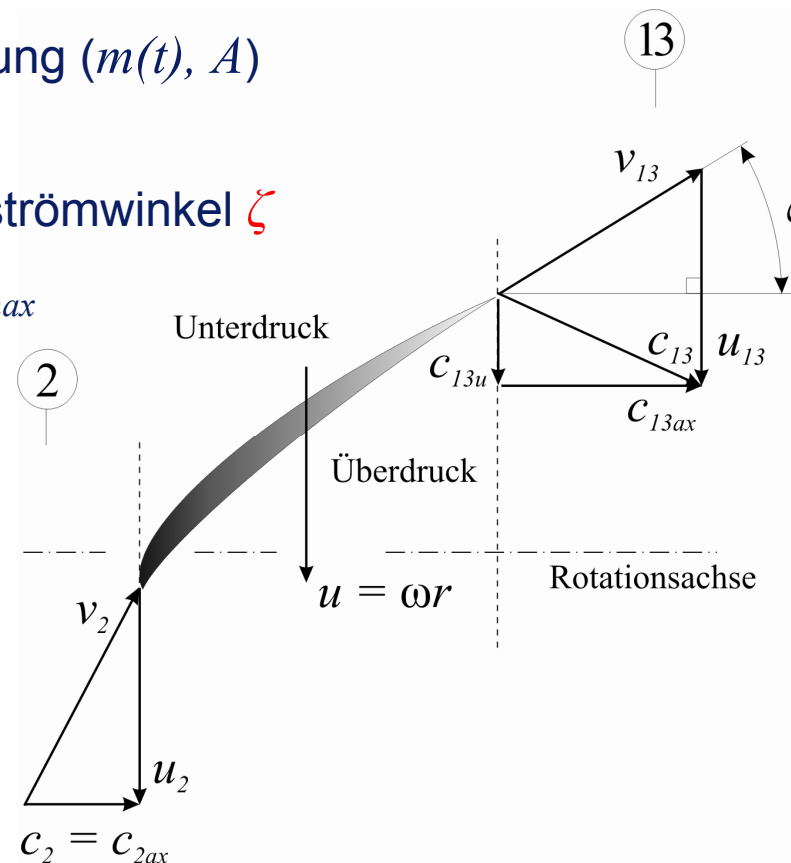
Charakteristische Triebwerksgrößen (3/3)

- Drallfreie Zuströmung
 - c_2 aus Kontinuitätsgleichung ($m(t), A$)
- Austrittsgeschwindigkeit c_{13}
 - Fanblattgeometrie => Abströmwinkel ζ
- N1 Abweichung $\pm 10\%$ bei T_{max}

$$w_{N, fan} = \frac{1}{2} (c_{13}^2 - c_2^2)$$

$$w_{N, fan} = u_{13} c_{13u} - u_2 c_{2u}$$

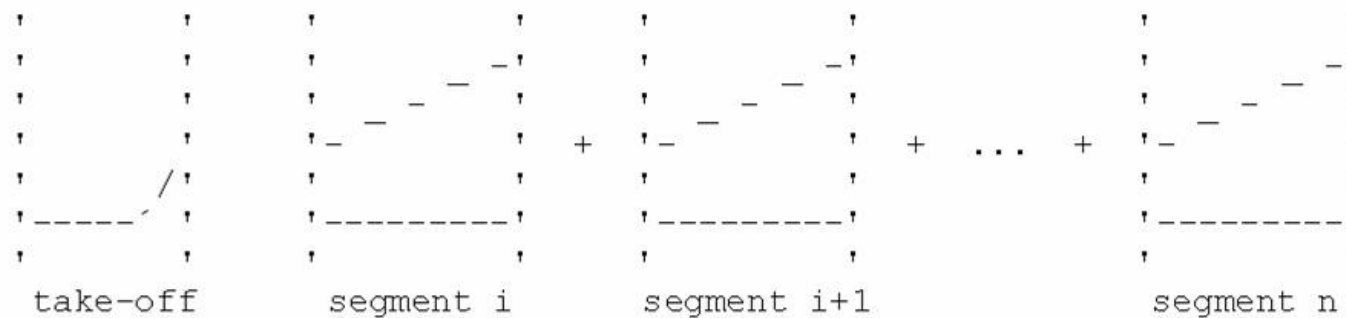
$$w_{N, fan} = u c_{13u}$$



Diskretisierte Flugtrajektorien (1/2)

- Segmentierte Trajektorien aus PrADOs Flugsimulationsmodule
- Steigflugsegmente
 - |A| : Geschwindigkeit = konst.
 - |B| : Steigwinkel = konst. bis Endgeschw. oder Endhöhe
- Hindernis: $T_R > T_A \Rightarrow T_A > T_{max}$ ($R = Required, A = Available$)
 - Abhilfe: Begrenzung über Steigwinkel γ

PRINCIPAL SET-UP



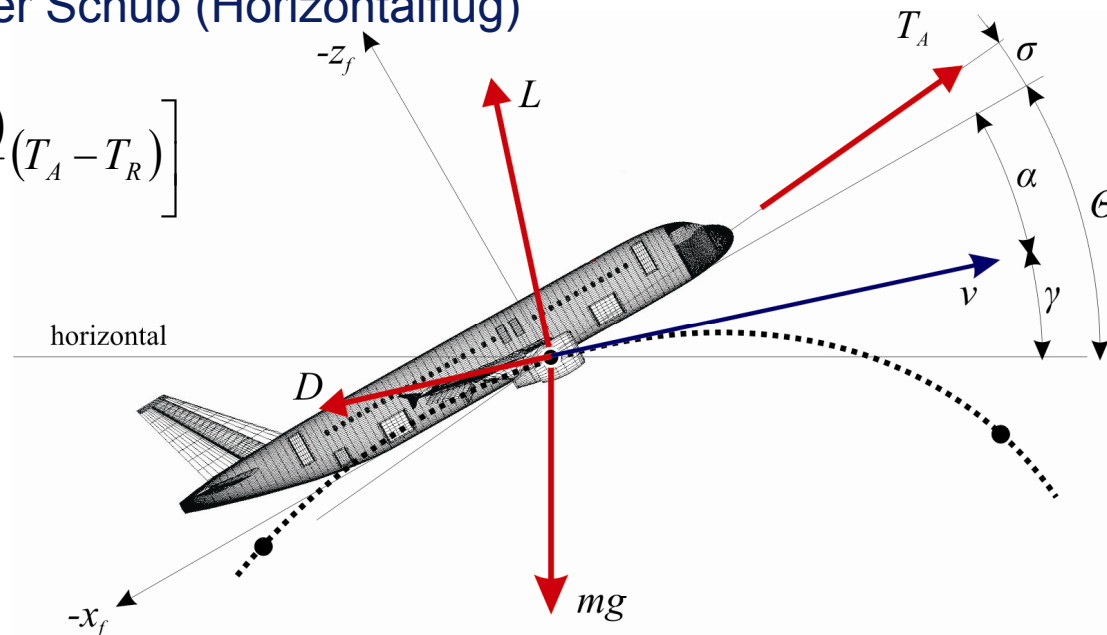
Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Diskretisierte Flugtrajektorien (2/2)

- Steigvermögen: Leistungsüberschuss = $T_A - T_R$
- T_A = aktuell vorh. Schub (Schubstellung) => Kräftegleichgewicht
 - Iteration = Drehung um y -Achse
- T_R = erforderlicher Schub (Horizontalflug)

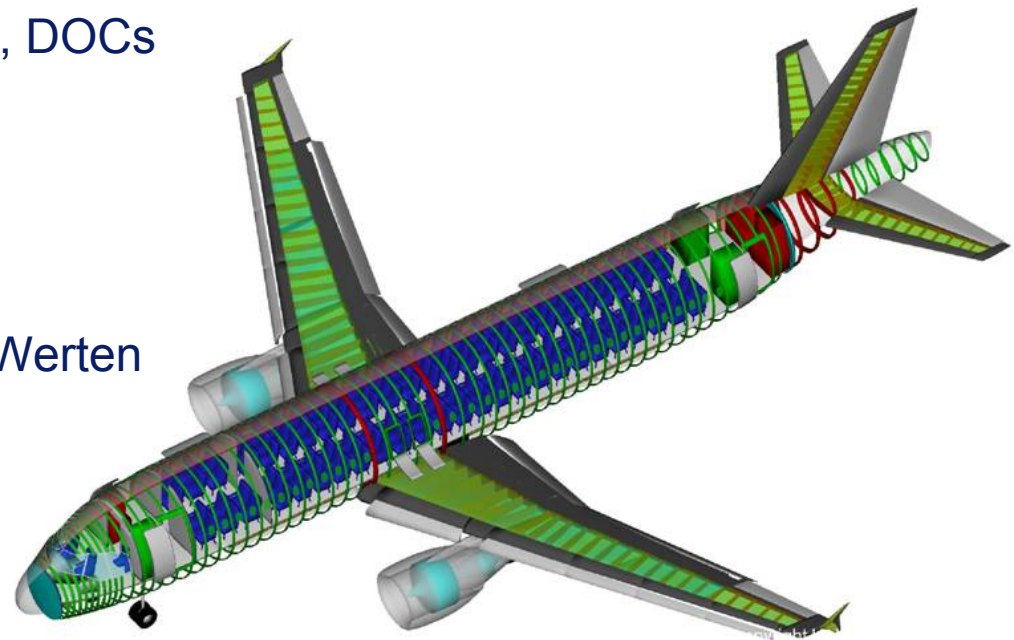
$$\gamma = \arcsin \left[\frac{\cos(\alpha + \sigma)}{mg} (T_A - T_R) \right]$$



für kleine
Steigwinkel γ

Parametervariation an einem 150-sitzer (1/3)

- Variation des Standschubes
 - Referenz A/C
 - Referenz A/C mit 140 % Standschub
 - höhere Strukturmassen, DOCs
- Abflug (modifizierter-ATA)
 - |Take-off| – |A| – |B|
- Auswertung: Isokonturflächen
- Vergleich Rechnung mit ICAO-Werten
 - streng genommen nicht möglich:
ICAO Trajektorie, A/C cond.
& config. unbekannt





Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

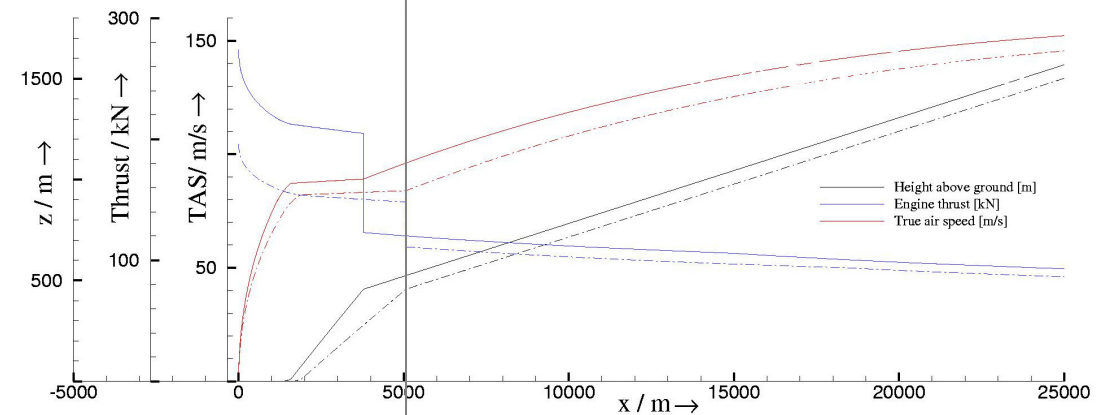
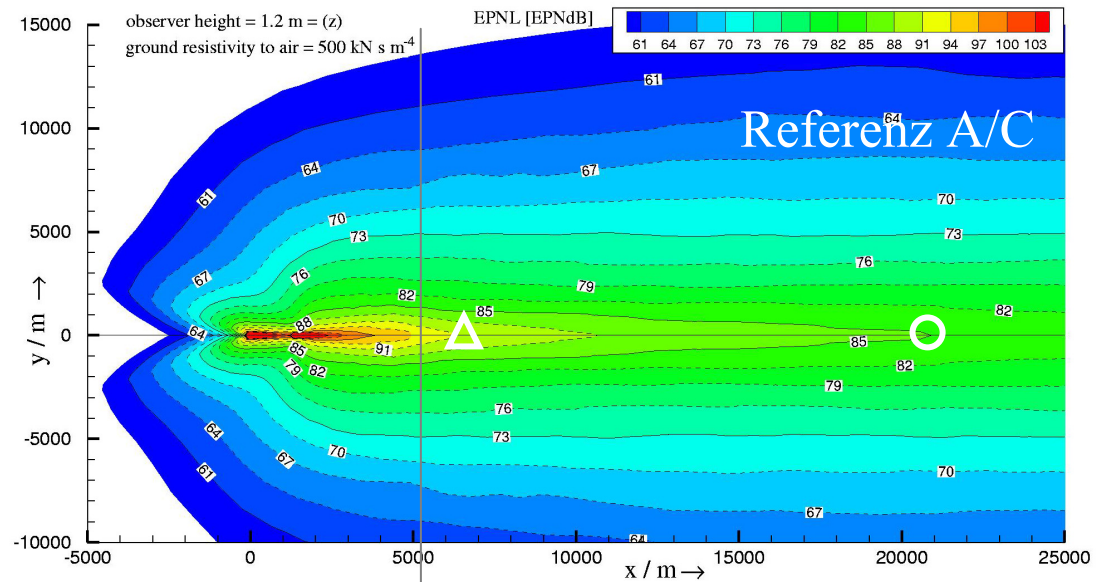
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Referenz A/C Flyover EPNL:

△ Berechnet: 91EPNdB
ICAO: 86EPNdB

Referenz A/C Sideline EPNL:

Berechnet: 94EPNdB
ICAO: 95EPNdB





Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Referenz A/C Flyover EPNL:

△ Berechnet: 91EPNdB
ICAO: 86EPNdB

Referenz A/C Sideline EPNL:

Berechnet: 94EPNdB
ICAO: 95EPNdB

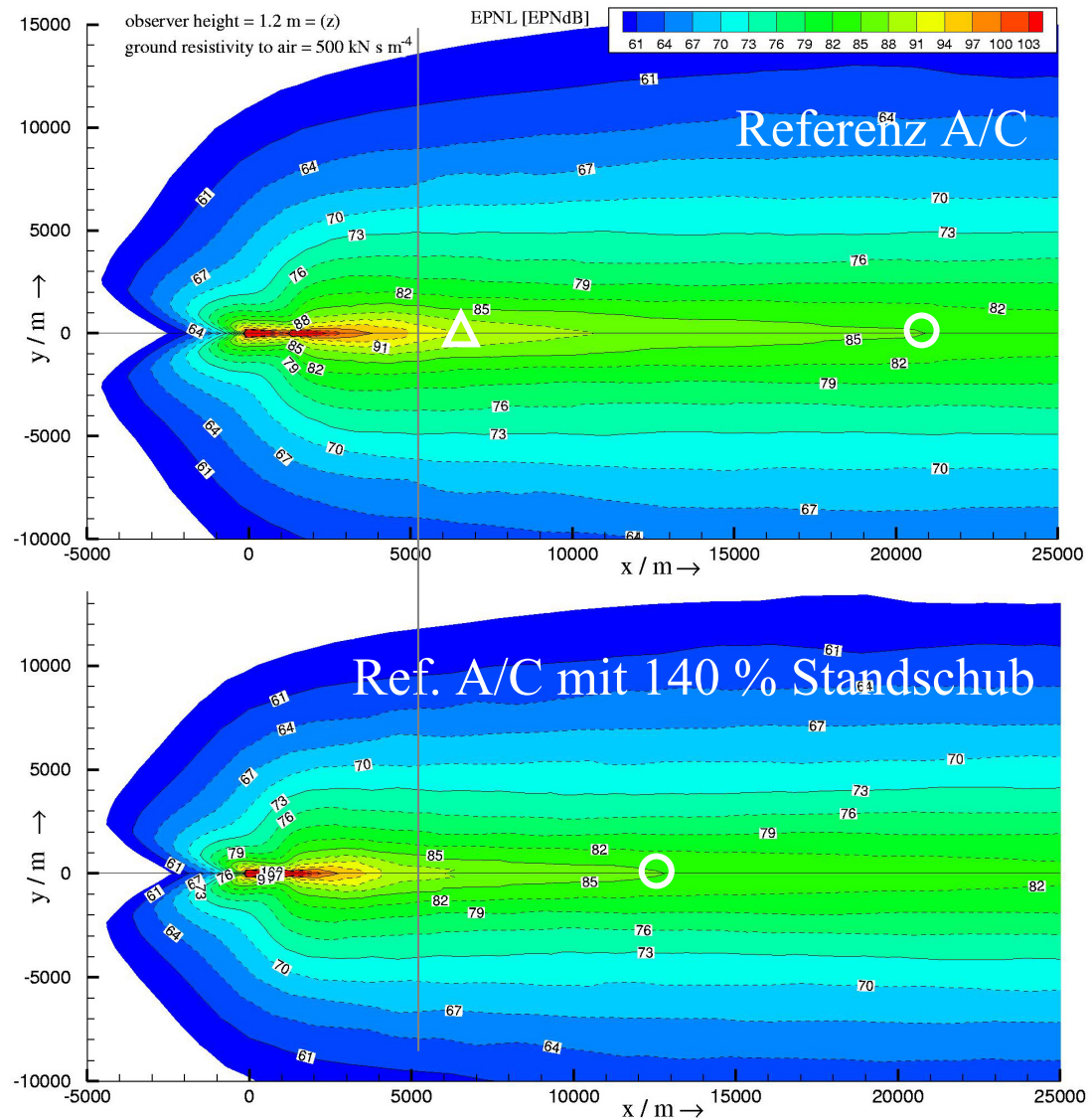
EPNL Isokonturfläche

85EPNdB 75EPNdB



-50%

-15%



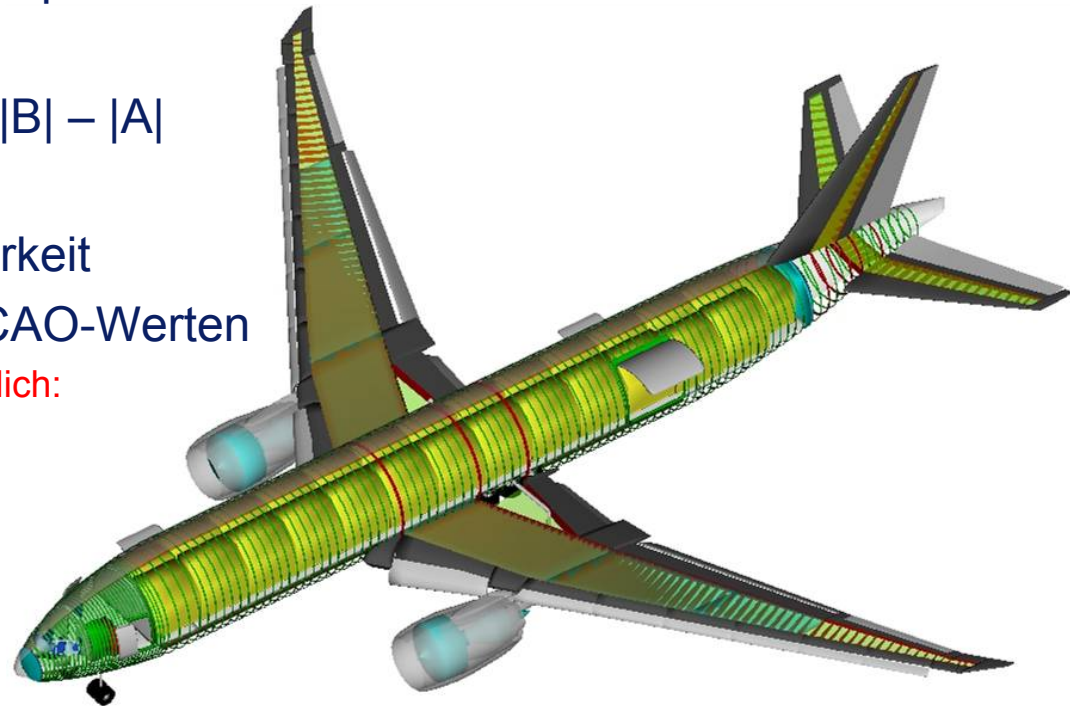


Parametervariation an einem 150-sitzer (3/3)

- Grund für diese signifikante Lärminderung:
 - **Cutback** im 2. Steigsegment **unterschiedlich**:
 - Referenz A/C: **20%**
 - Ref. A/C mit 140% Standschub: **40%**
- jedoch unter folgenden Annahmen:
 - beide Triebwerke sind identisch in:
 - max. Fandrehzahl
 - rel. Fanblattspitzenmachzahl im Entwurfspunkt
 - max. Düsenaustrittsgeschw. für den inneren Kern
 - max. Turbinenaustrittstemperatur

Grüner Frachter (1/2)

- Forschungsverbundvorhaben
 - HAW, IFL, Airbus, Bishop
- Abflug (ICAO)
 - |Take-off| – |A| – |A| – |B| – |A|
- Überprüfung d. Anwendbarkeit
- Vergleich Rechnung mit ICAO-Werten
 - streng genommen nicht möglich:
ICAO Trajektorie, A/C cond.
& config. unbekannt



Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

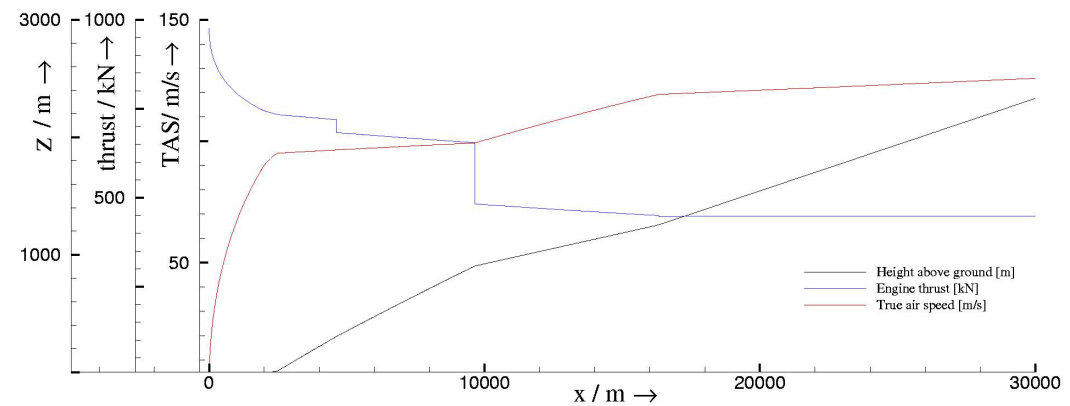
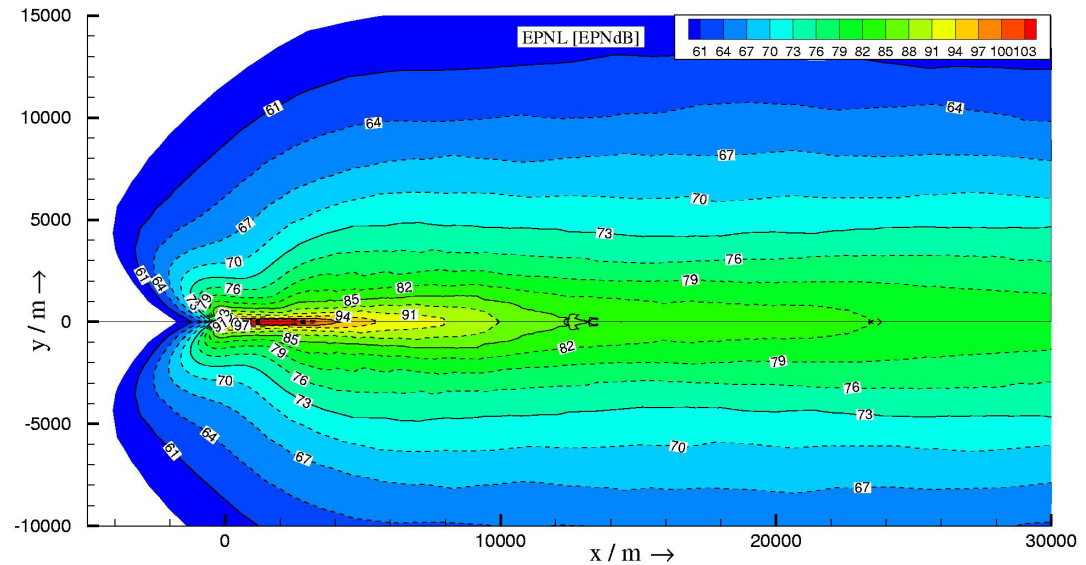
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Referenz A/C Flyover EPNL:

△ Berechnet: 93EPNdB
ICAO: 92EPNdB

Referenz A/C Sideline EPNL:

Berechnet: 92EPNdB
ICAO: 99EPNdB





Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Fazit

- semi-empirische Quellmodelle
 - möglicherweise anwendbar auf größere Flugzeuge
- Lärm als eine Zielfunktion in PrADO
 - mit Auswertung rel. Isokonturflächen (EPNL)
- für den Vorentwurf ausreichend
 - N1 Berechnung
 - segmentierte Trajektorien
 - Einzelpegelwerte

„a balanced approach“



Integration of PANAM into PrADO

Philip Krammer

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Hamburg University of Applied Sciences

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Kontakt

Philip Krammer

E-Mail: philip.krammer@haw-hamburg.de