

Fluglärm

Eine Übersicht

Rainer Schmid - Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik



Wissen für Morgen



Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Fluglärm – Eine Übersicht

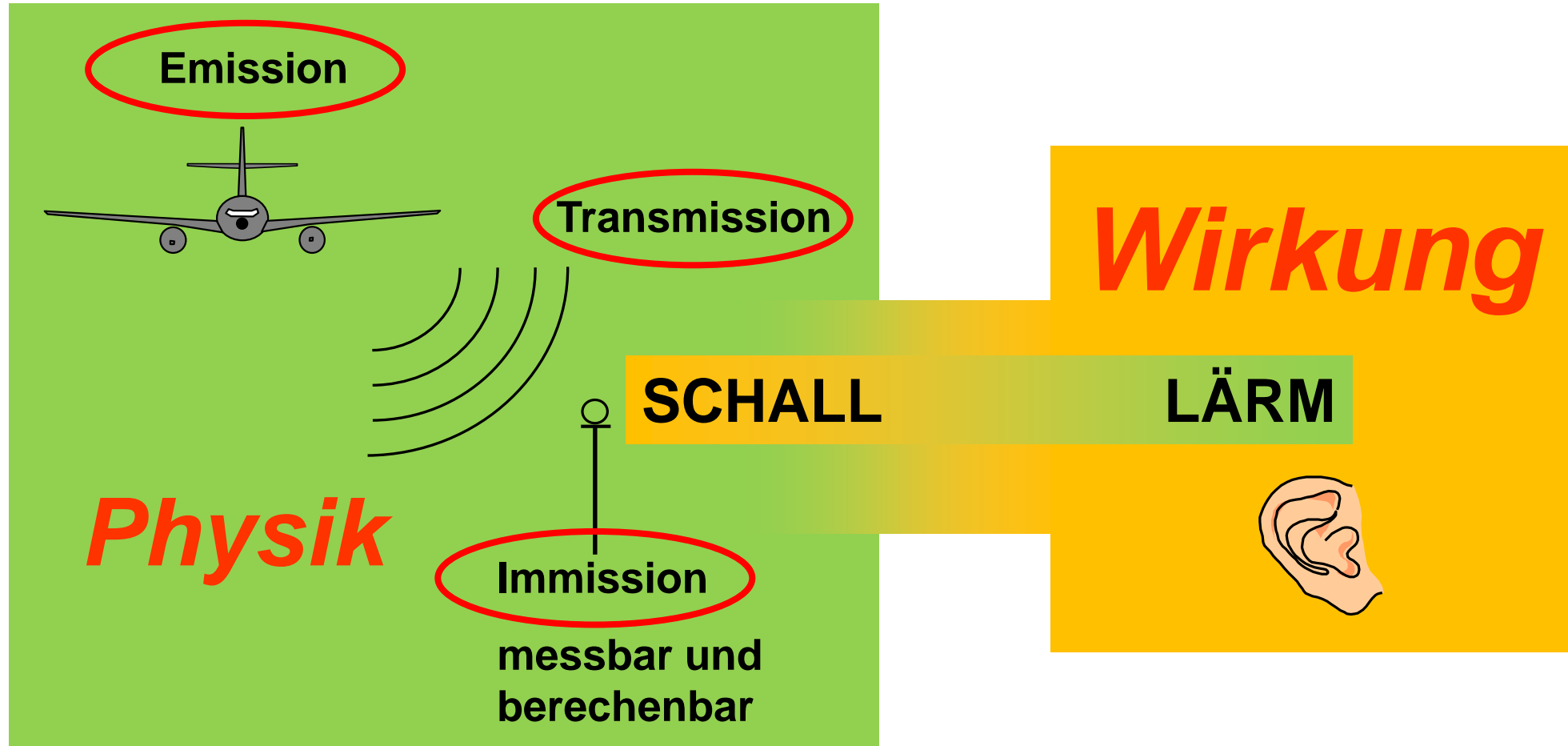
Agenda

- **Was ist an Lärm besonders?**
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Was ist an Lärm besonders?

Schall-Emissionen zur Lärm-Immissionen



Was ist an Lärm besonders?

Schall-Emissionen zur Lärm-Immissionen

Lärmwirkung ist abhängig von

physikalische Größen:

- Druckschwankungen
 - Amplitude / Amplitudenänderung
 - Frequenzen / Spektrum
 - zeitliche Länge
 - ...

nichtlineare Wahrnehmung:

- großer Amplitudenbereich => Pegel [dB]
- Frequenz besser als Amplituden
- Tonhaltigkeit
- Anzahl der Geräusche besser als Amplituden
- Maskierung
- ...

nichtphysikalische Größen:

- soziale Faktoren
- Einstellung
- ...



Was ist an Lärm besonders?

Schall-Emissionen zur Lärm-Immissionen

Schall

- Eine Schallwelle breitet sich immer mit Schallgeschwindigkeit aus
 - Schallwellen werden „schnell“ gedämpft
 - geometrisch: $\sim 1/r^2$
 - atmosphärisch: frequenzabhängig (hohe Frequenzen werden stärker gedämpft)
- ⇒ Der Charakter (Amplitude, Frequenzspektrum) einer Schallwelle ändert sich kontinuierlich über die Laufzeit bzw. Entfernung

*Erhaltungsgröße ist der Impuls = Druck * Schnelle, gemessen wird meist der Schalldruck



Was ist an Lärm besonders?

Schall-Emissionen zur Lärm-Immissionen

Lärm

- Lärm entsteht nicht, aber Schallwellen können als Lärm wahrgenommen werden
- Lärm wirkt nur lokal - ist niemand im Einflussbereich einer Schallwelle, wird kein Lärm wahrgenommen
- **Daher ist eine quantitative Beschreibung der lokalen Umgebung notwendig,**
d.h. eine zeitliche und örtliche Korrelation verschiedenster Geräusche an Immissionsorten vornehmen
- **Eine Bewertung der Geräusche am Immissionsort muss mit Hilfe eines Bewertungsmaßes erfolgen**
 - zur Quantifizierung des Lärms ist ein Lärmbewertungsmaß nötig: aus Schall wird Lärm berechnet
 - zur Beurteilung muss das Lärmbewertungsmaß situativ angemessen sein (bestenfalls auf Grundlage einer Expositionswirkungsbeziehung)



Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

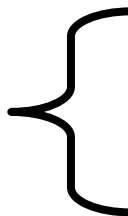
- Was ist an Lärm besonders?
- **Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?**
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?

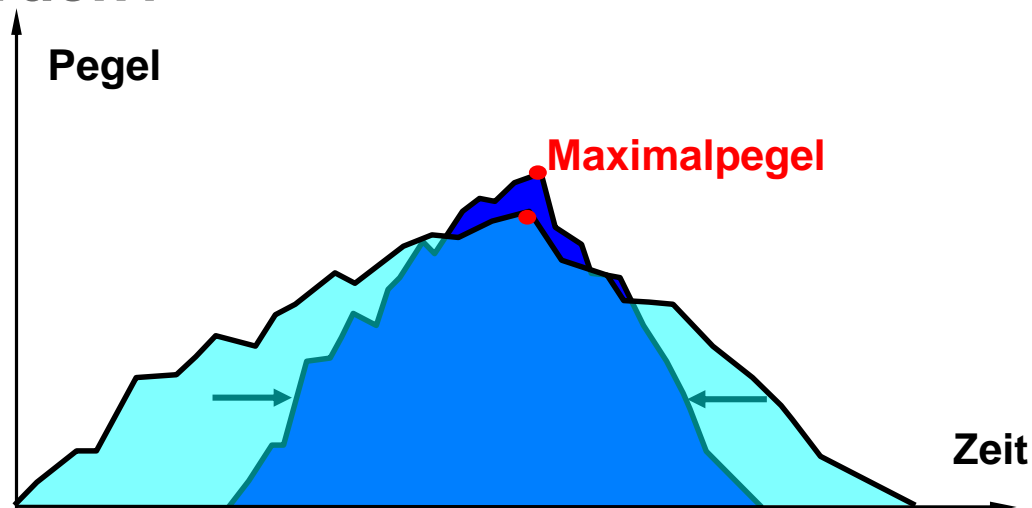
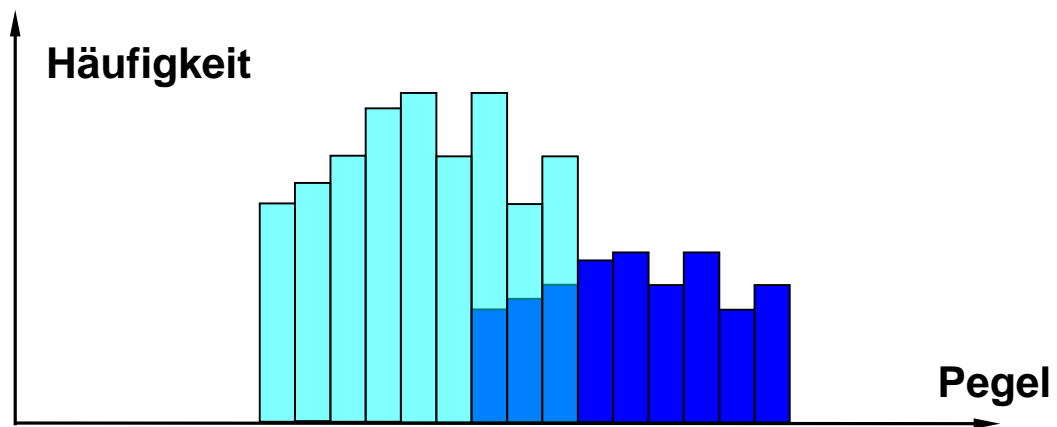
Einzelgeräusch

- Maximalpegel
- Schallenergie



Mehrere Geräusche

- Pegelhäufigkeit



Expositions-Wirkunas-Beziehung

Lärmbewertungsmaß



Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?

Allgemeine Forderungen an Bewertungsmaße

- durch eine Vorschrift eindeutig bestimmbar sein
- ein punktscharfes Ergebnis liefern
- keine chaotische Eigenschaften besitzen

(kleine Änderungen der Ausgangssituation dürfen lediglich kleine Änderungen der Ergebnisse ergeben)

Forderungen an Lärmbewertungsmaße

- basieren auf den Größen **Maximalpegel**, **Dauer/Energie** und **Häufigkeit**
- sind messbar (**Noise Monitoring**)
- sind berechenbar (**Noise Modelling**)



Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?

Beispiele für gebräuchliche Bewertungsmaße

Einzelgeräusche

- AS-bewerteter maximaler Schalldruckpegel (Maximalpegel) $L_{AS,max}$
- Einzelereignispegel L_{AE} bzw. SEL

Mehrere Geräusche über einen Zeitraum

- Dauerschallpegel = Summation über Einzelereignispegel
- Schwellwertkriterien NAT
- Expositionswirkungskriterien – z.B. Aufwachwahrscheinlichkeiten

* Pegel bzw. Lärmbewertungsmaße werden in dB angegeben (logarithmische Wahrnehmung), (dB ist keine Einheit)



Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- **Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?**
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?

Messen

Vorteil

- exakten Schalleintrag an einem Immissionsort
- geringe Unsicherheit
- Verifizierung von Berechnungsmodellen

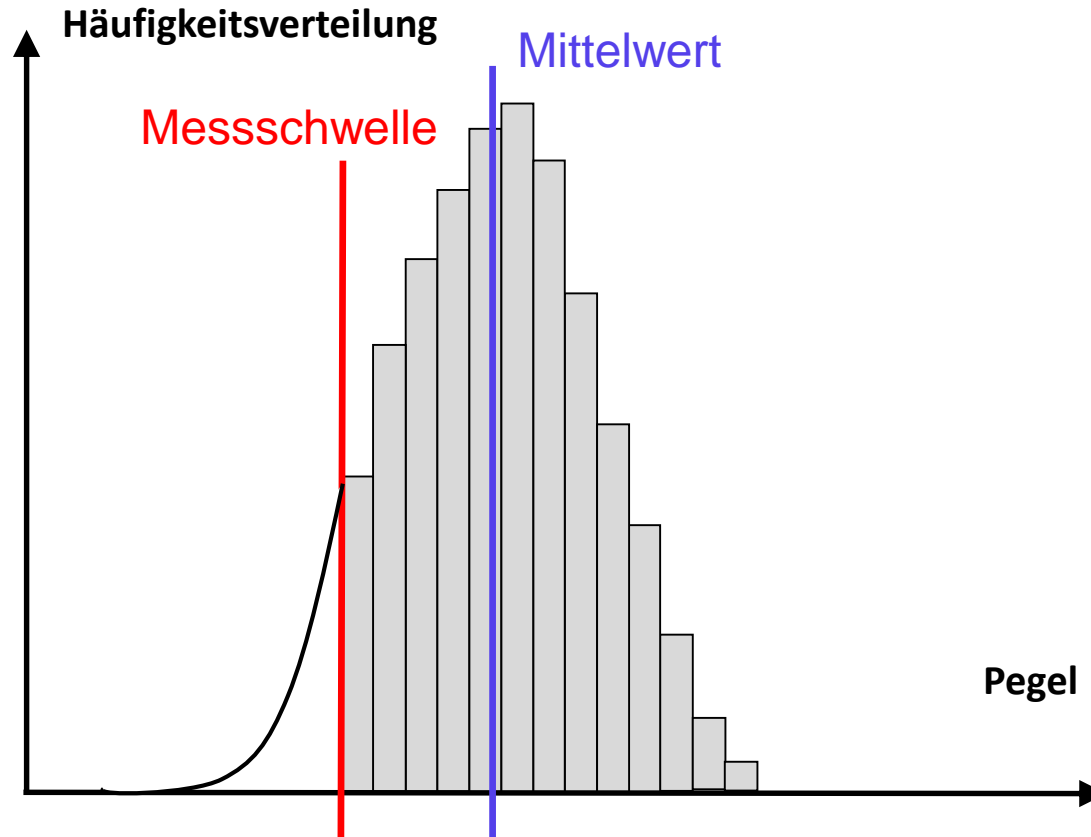
Nachteil

- lange Messzeiten (Beurteilungszeiträume 1 Jahr)
- für jeden Immissionsort ein Sensor
- Geräuscharten im Postprozess trennen



Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?

Messen



Typische Pegelhäufigkeitsverteilung für eine Flugzeugtyp an einer automatischen Fluglärmüberwachungsstation



Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?

Berechnen

Vorteil

- großes Gebiet berechenbar
- Geräuscharten können einzeln berechnet werden

Nachteil

- höhere Unsicherheit
- es werden Modelle benötigt
- Eingabedaten



Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- **Wie fliegen Transportflugzeuge?**
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Wie fliegen Transportflugzeuge? Landung

möglichst im Leerlauf (wenig Triebwerkslärm)

möglichst lange hoch (großer Abstand zum Empfänger, hohe Dämpfung)

⇒ zum Schluss steil ⇒ **schnell**

⇒ Verzögerung notwendig ⇒ Klappen/Spoiler ⇒ **Widerstand**

möglichst langsam (wenig aerodynamischer Lärm)

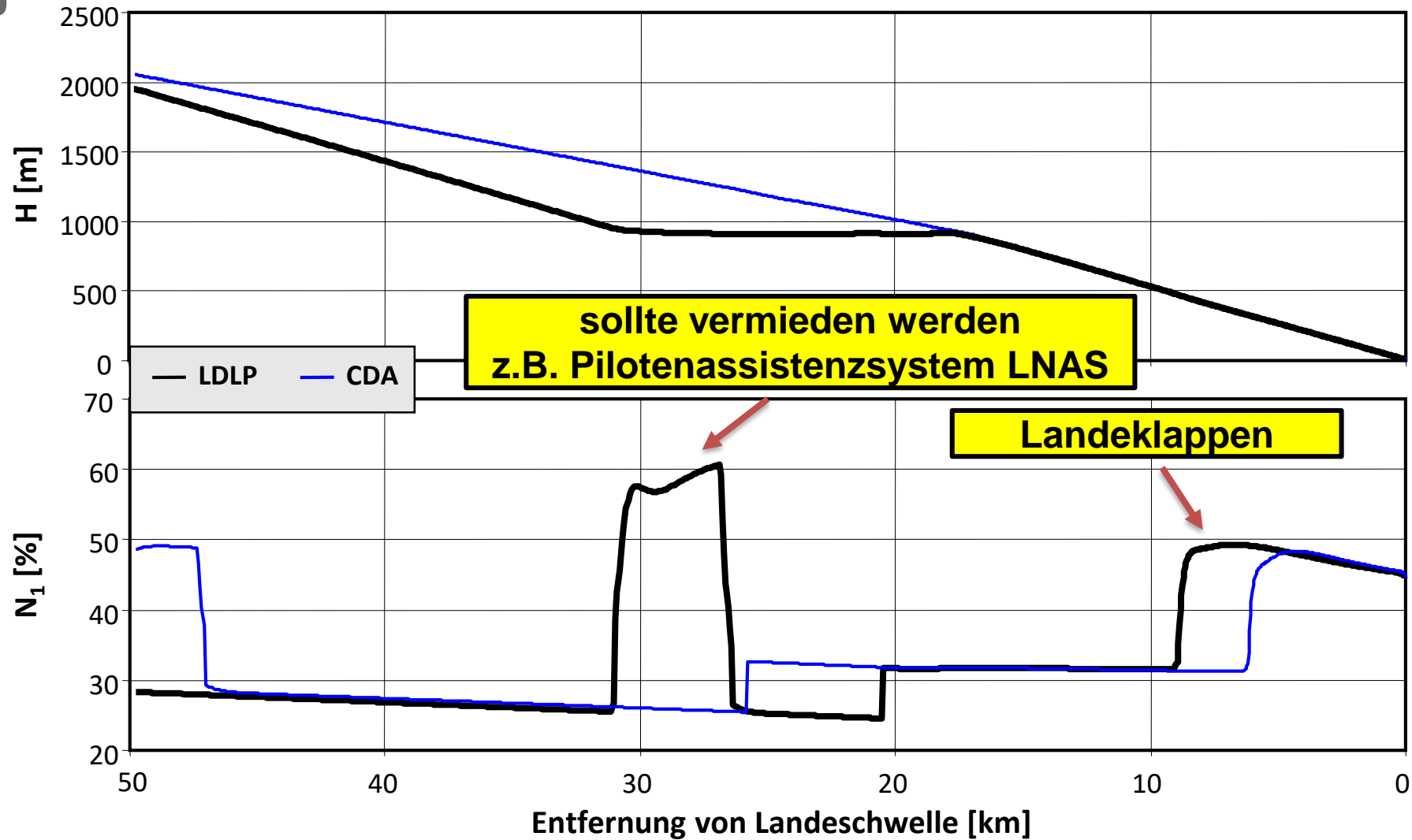
⇒ kleiner Sinkwinkel ⇒ **niedrig**

möglichst wenig Widerstand (wenig aerodynamischer Lärm)

⇒ Verzögern durch Horizontalflug ⇒ **niedrig**



Wie fliegen Transportflugzeuge? Landung



Wie fliegen Transportflugzeuge? Start

flacher oder steiler Abfliegen?

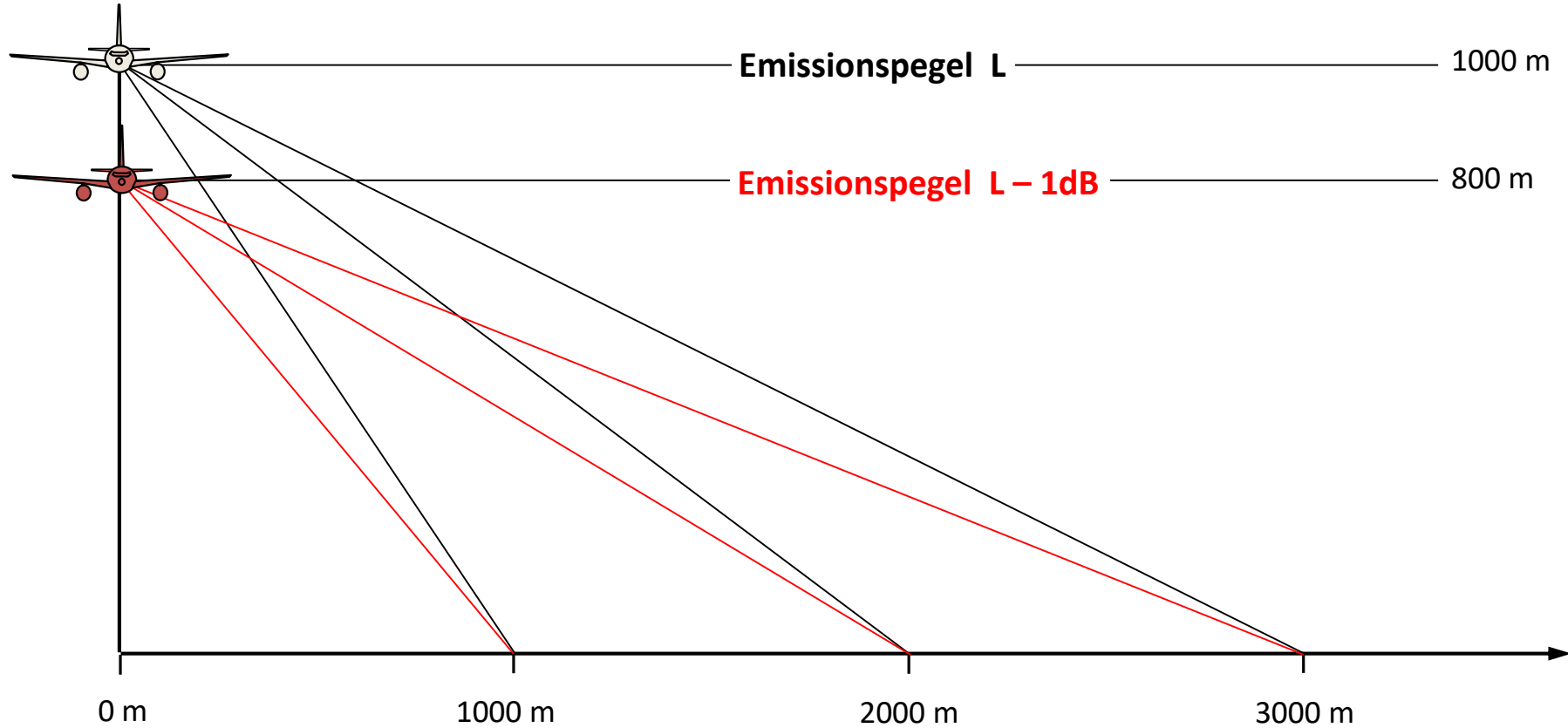
- flacher ~ leisere Quellen, aber niedrigere Höhe
- steiler ~ lautere Quellen, aber höher

langsamer oder schneller Fliegen?

- langsamer ~ leisere Quellen, aber längeres Geräusch
- schneller ~ lautere Quellen, aber kürzeres Geräusch



Wie fliegen Transportflugzeuge? Start



$\Delta L_{A,max} = 1.3 \text{ dB}$

$\Delta L_{A,max} = 0.1 \text{ dB}$

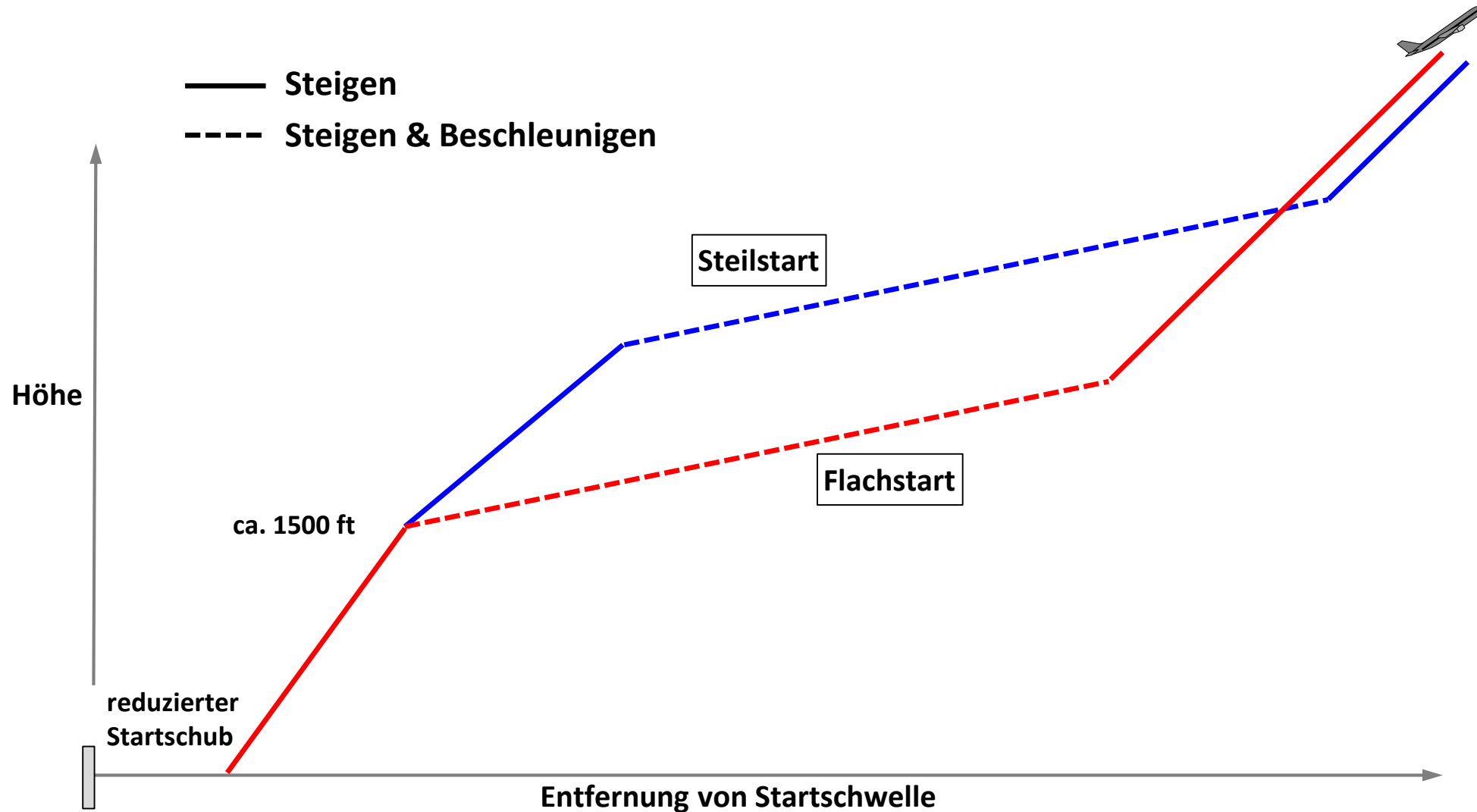
$\Delta L_{A,max} = -0.5 \text{ dB}$

$\Delta L_{A,max} = -0.7 \text{ dB}$

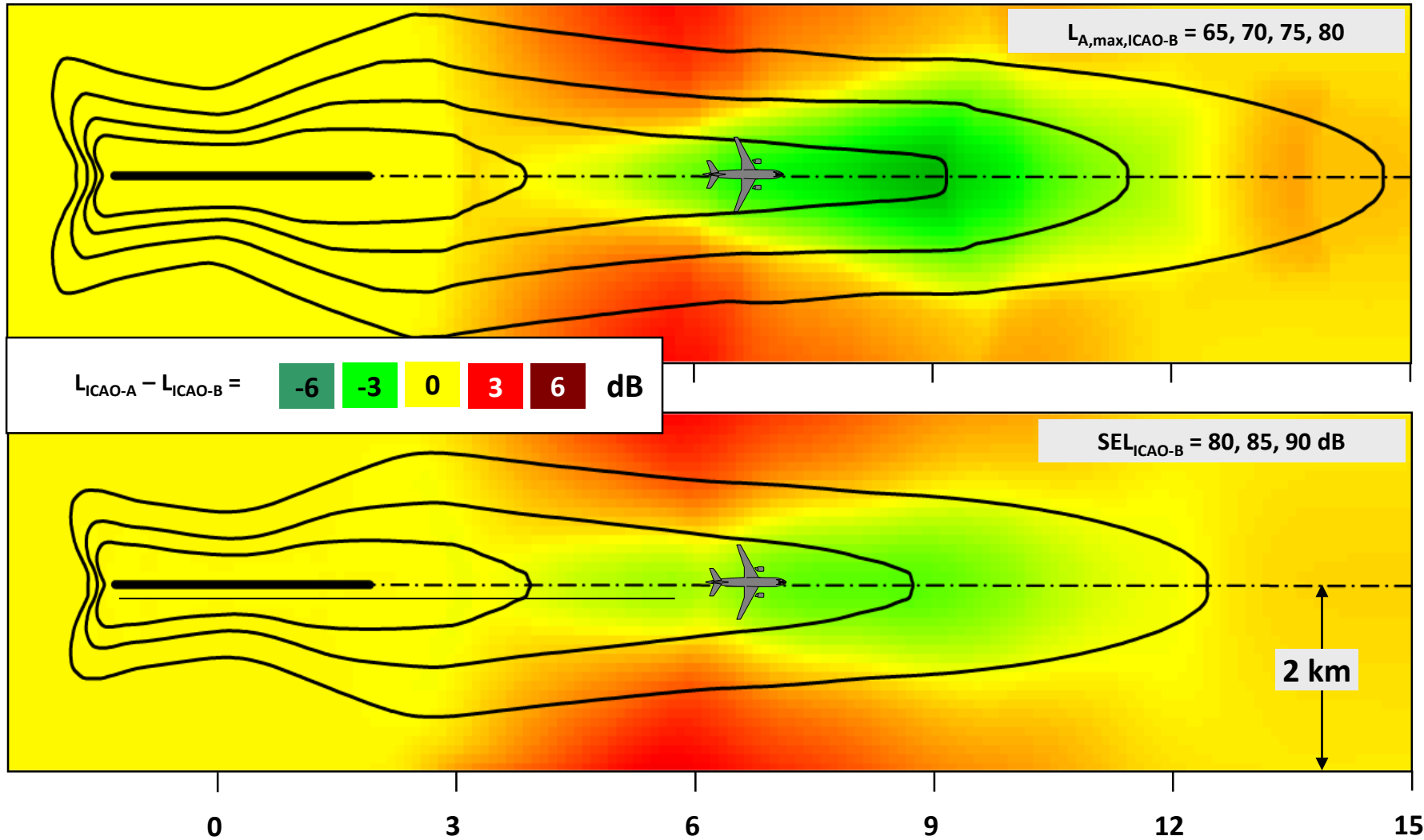
seitliches Abfallverhalten von Maximalpegeln



Wie fliegen Transportflugzeuge? Start



Wie fliegen Transportflugzeuge? Start – Steilstart vs Flachstart



Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

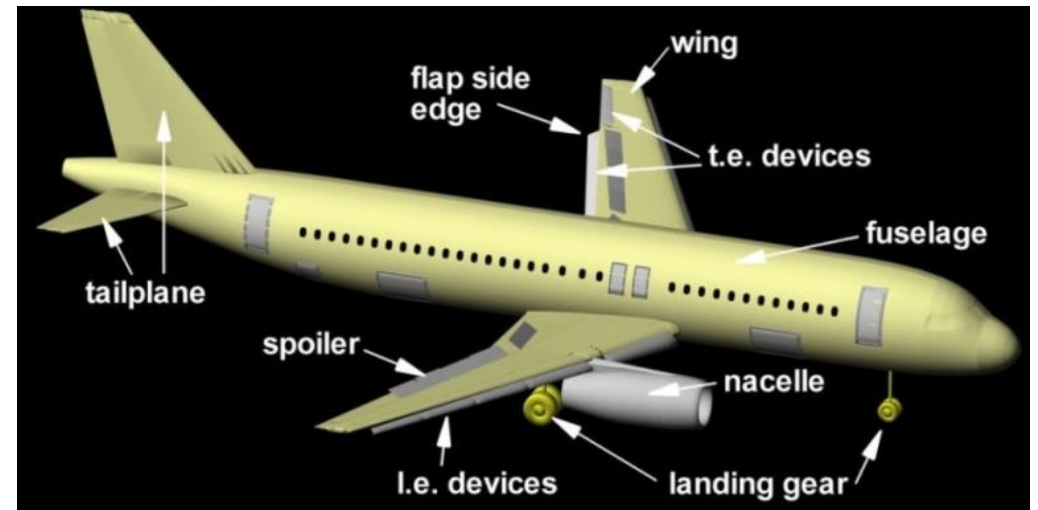
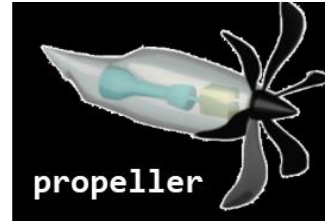
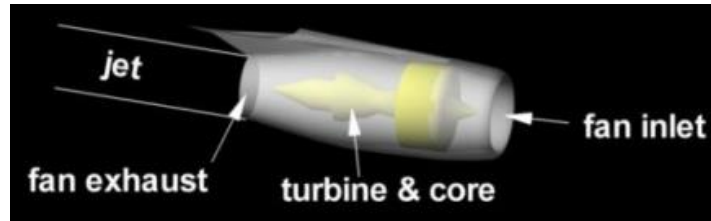
- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- **Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?**
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



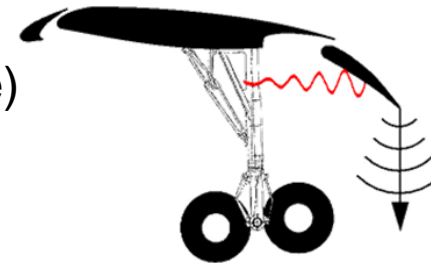
Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?

- 3 Klassen von Lärmquellen, die je nach Betriebszustand unterschiedlich stark beitragen

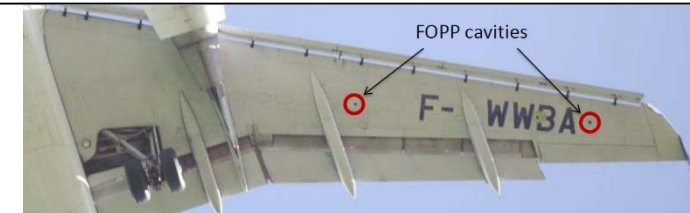
1. klassische Lärmquellen: Aerodynamische Lärmquellen und Antriebslärmquellen



2. Interaktionslärmquellen (zusätzlicher Beitrag: vermeidbar durch räumliche Trennung der Bauteile)



3. Parasitäre Lärmquellen („vermeidbare“ Beiträge: vermeidbar durch optimiertes Design ..)



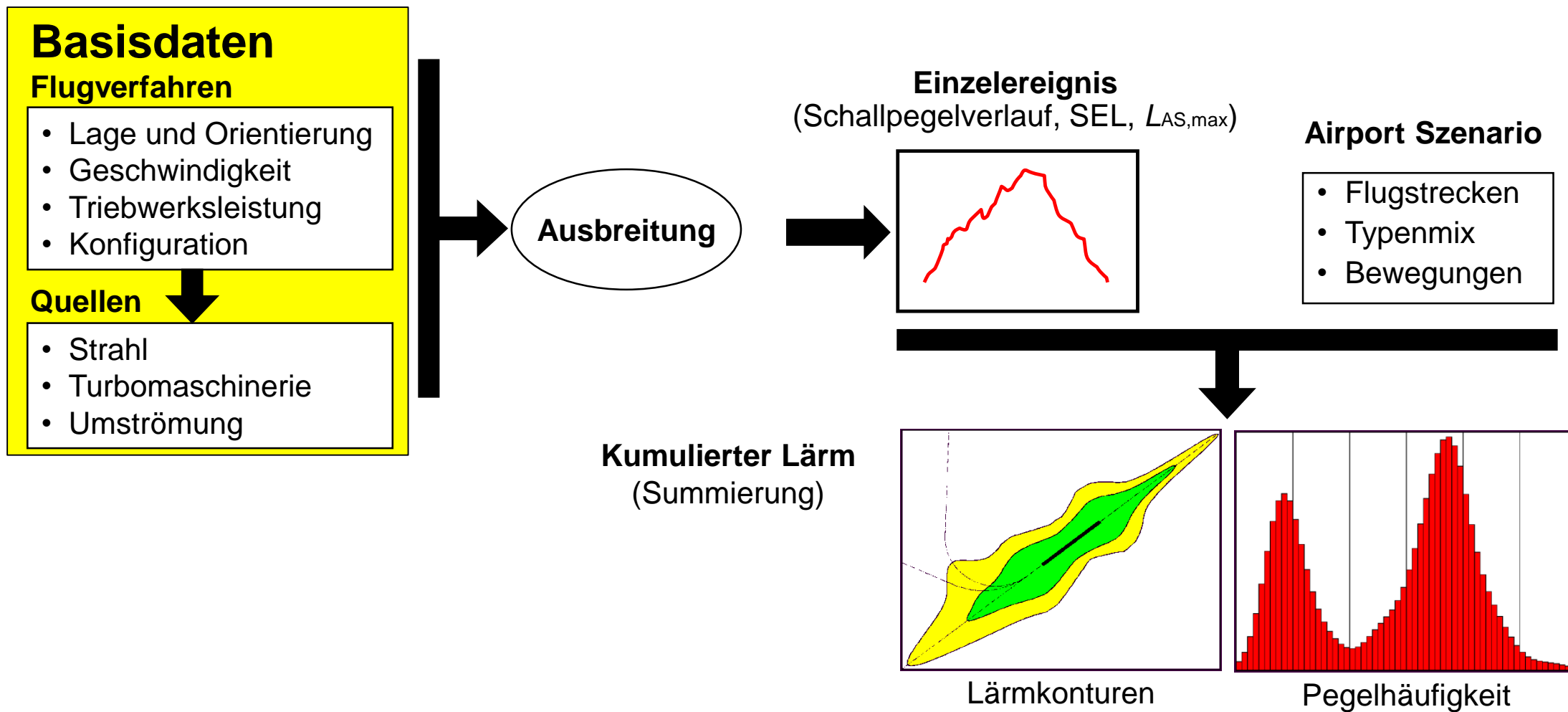
Fluglärm – Eine Übersicht

Agenda

- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- **Wie kann Fluglärm berechnet werden?**
- Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?



Motivation Fluglärmrechnung



Motivation

Berechnungsmodelle

Emissionsmodelle

einzelne Schallquellen werden beschrieben durch

- physikalische theoretische Modelle
- physikalische numerische Methoden
- physikalische parametrische Modelle

charakteristisch:

- ⇒ gute Abbildung der Emission
- ⇒ geeignet für wissenschaftliche Untersuchungen
- ⇒ benötigt enorm große Datengrundlagen
 - ⇒ eher ungeeignet für Flughafenberechnung

Immissionsmodelle

ganze Luftfahrzeuge werden beschrieben durch

- einfache Modelle, die mit Immissionsmessungen justiert bzw. verifiziert werden

charakteristisch:

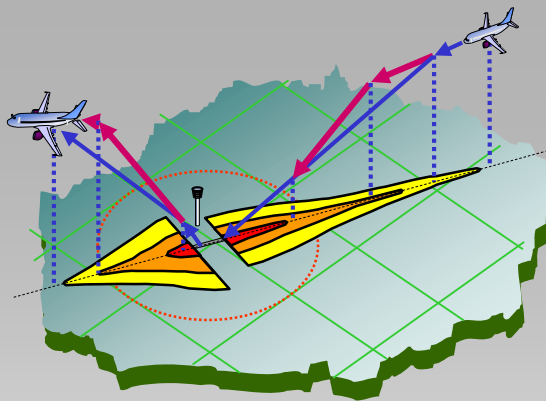
- ⇒ liefert nur bedingt Informationen über die Emission
- ⇒ gute Abbildung der Immission
- ⇒ geeignet für Flughafenberechnung



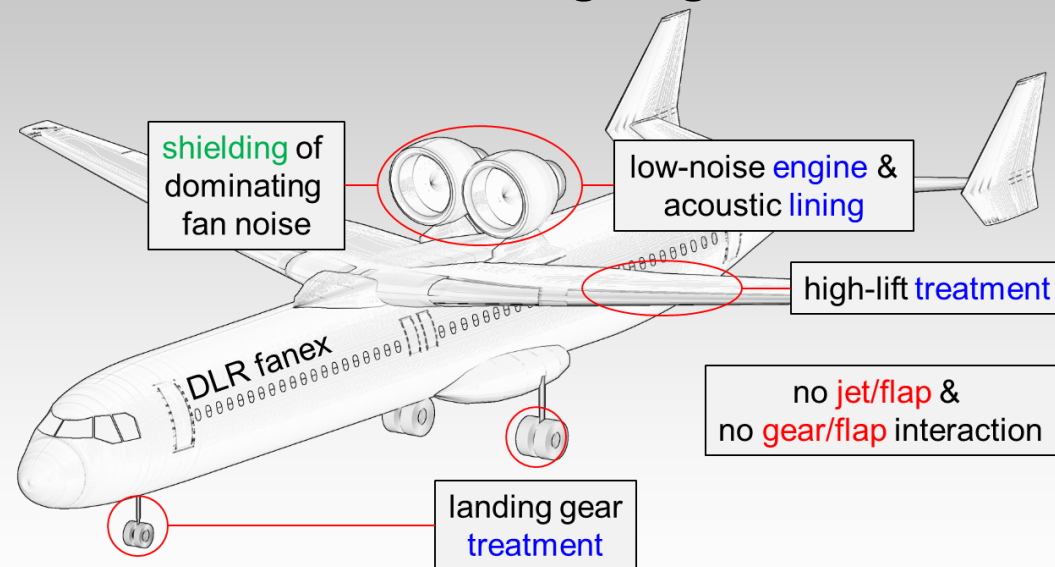
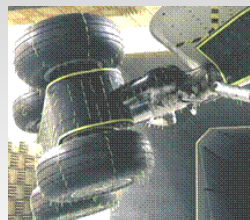
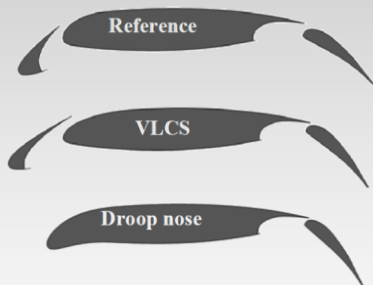
Wie kann Fluglärm berechnet werden?

Anwendungsbereich von Emissionsmodellen (wissenschaftlicher Einsatz)

lärmmilde An- und Abflugprozeduren



lärmmilder Flugzeugentwurf



Retrofit, Reduktion der Quelle

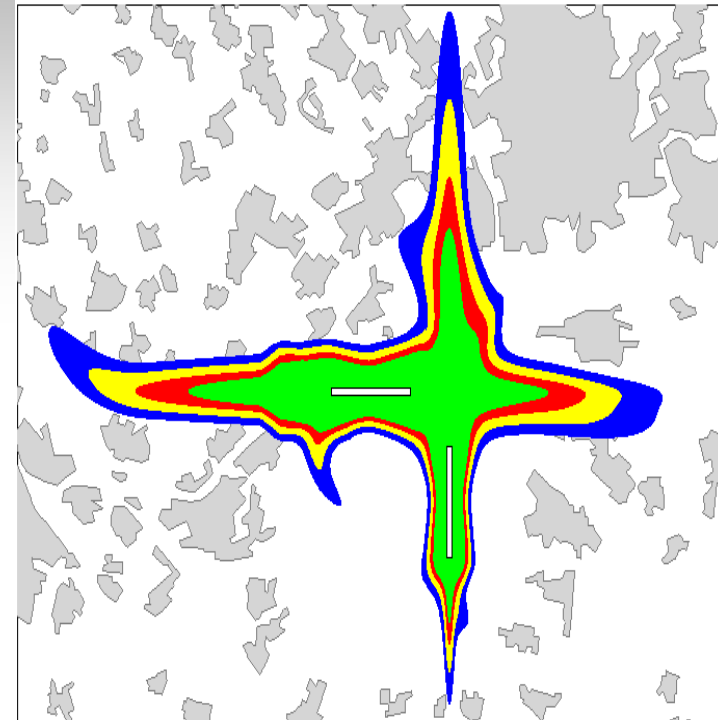
Effektive Reduktion von Fluglärm nur durch **Kombination aller Maßnahmen !!**

Wie kann Fluglärm berechnet werden?

Anwendungsbereich von Immissionsmodellen

Berechnungen nach **Normen und/oder gesetzlichen Vorgaben:**

- Landnutzungsplanungen
- Betriebsgenehmigungen
- Nachberechnung von Schutzgebieten
- Auslegung von Schallschutzmaßnahmen
- zukünftige Entwicklungen
- Vergleichsrechnungen („what-if-studies“)
- ...



Ziel: nicht die Verbesserung, sondern Feststellung der Lärmsituation

Fluglärm – Eine Übersicht

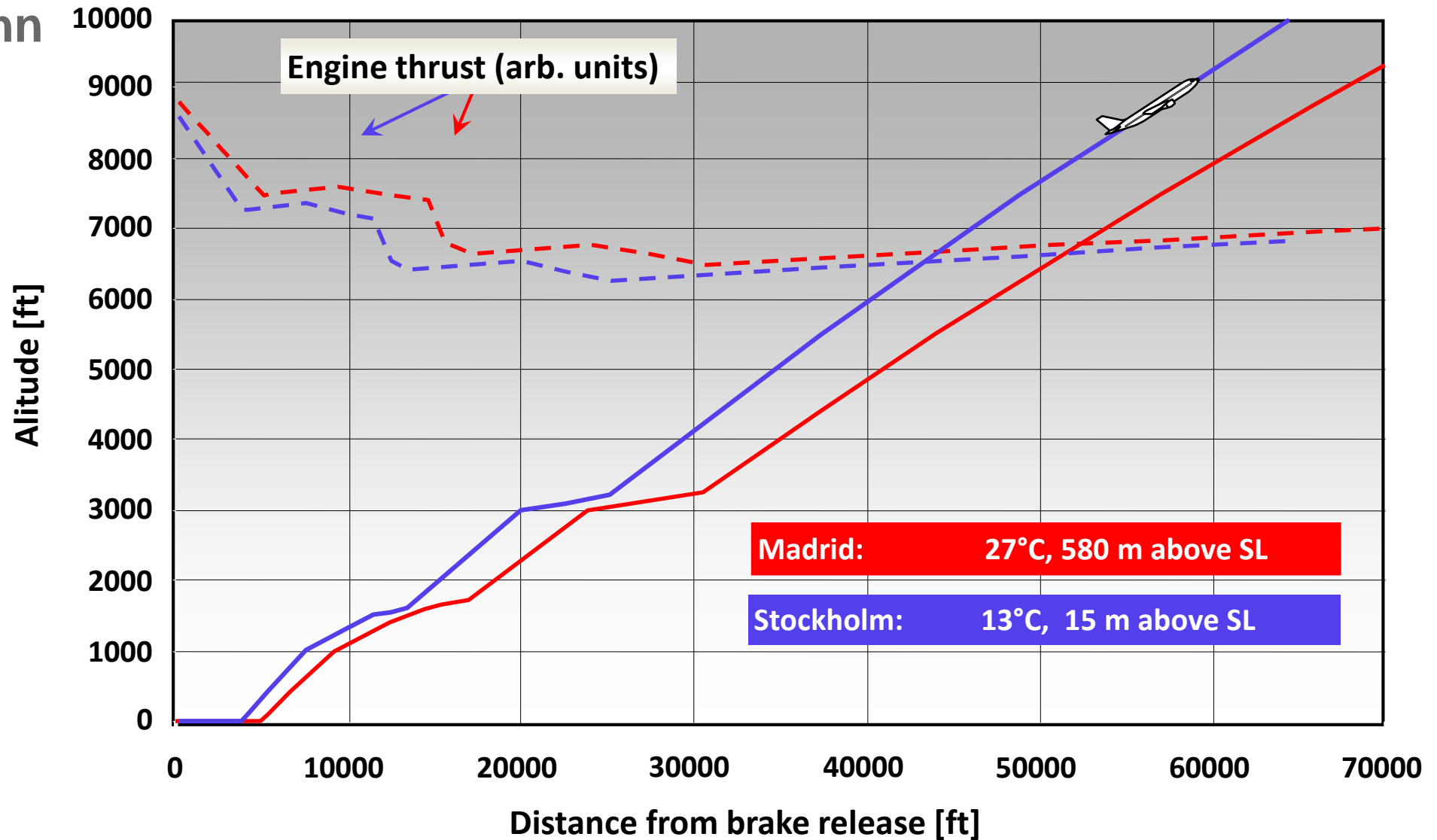
Agenda

- Was ist an Lärm besonders?
- Wie kann der Fluglärm quantifiziert werden?
- Sollten wir Fluglärm lieber messen oder berechnen?
- Wie fliegen Transportflugzeuge?
- Was sind die entscheidenden Lärmquellen eines Transportflugzeugs?
- Wie kann Fluglärm berechnet werden?
- **Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?**

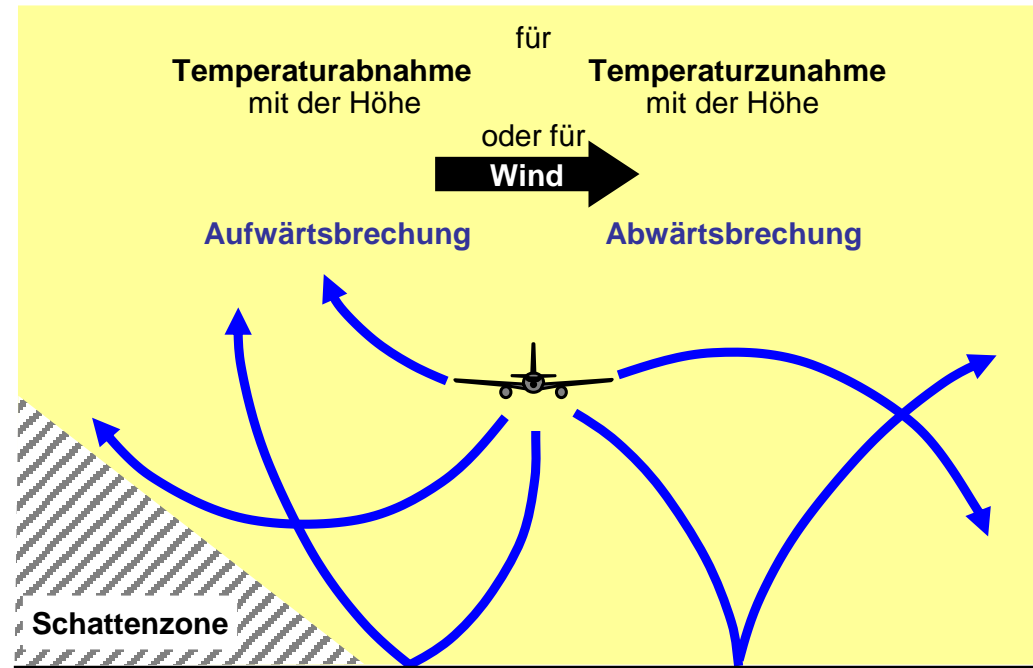


Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?

Flugbahn



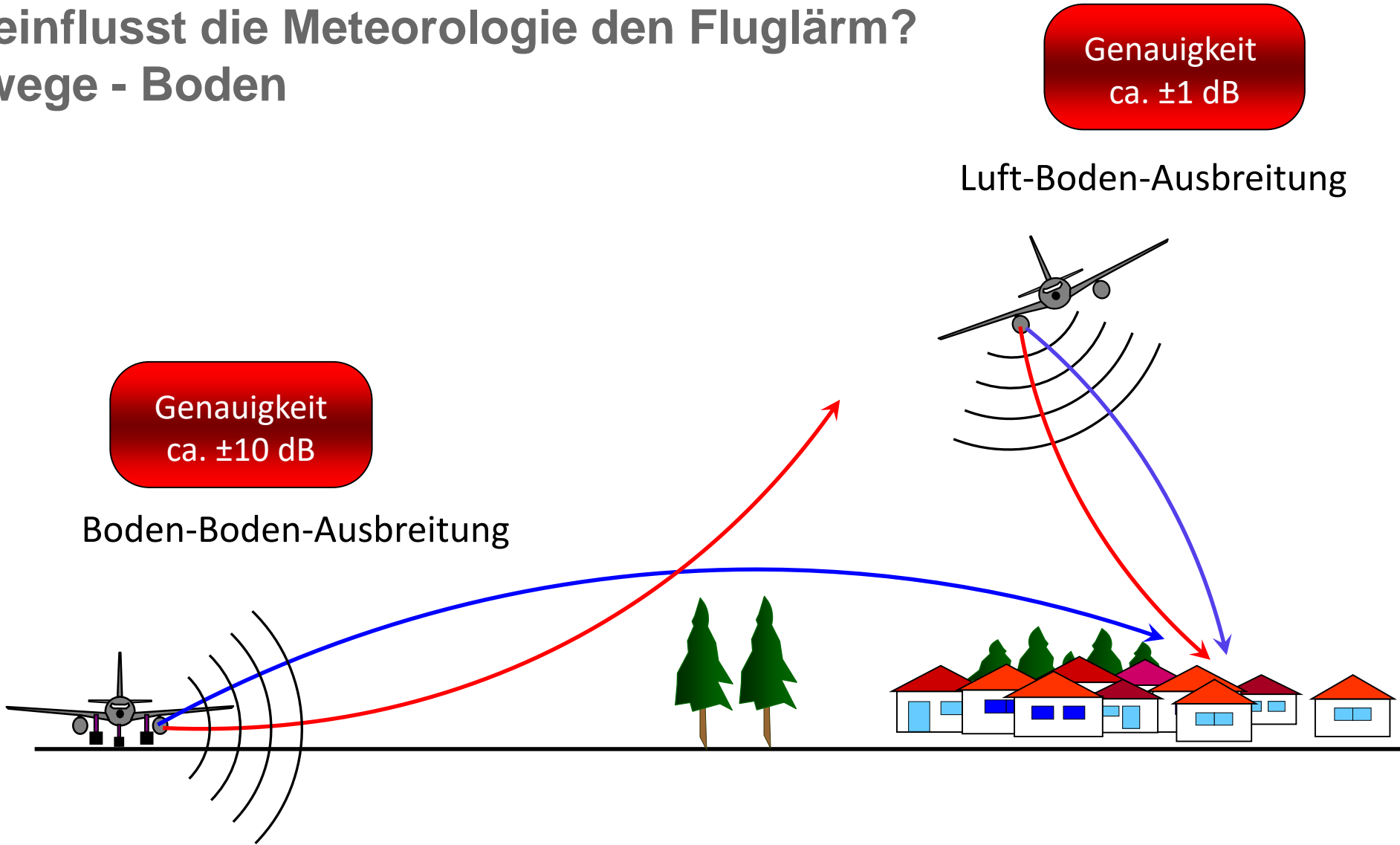
Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? Schallwege



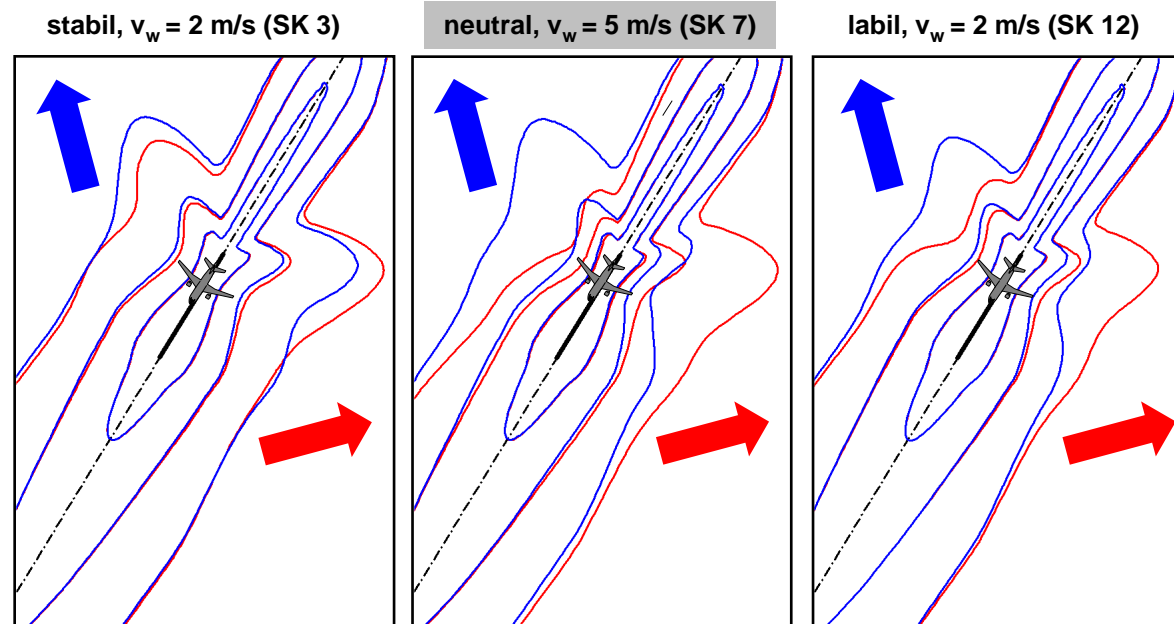
Einfluss von Wind- und Temperaturgradienten auf die Schallausbreitung im Strahlenmodell (schematisch).



Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? Schallwege - Boden



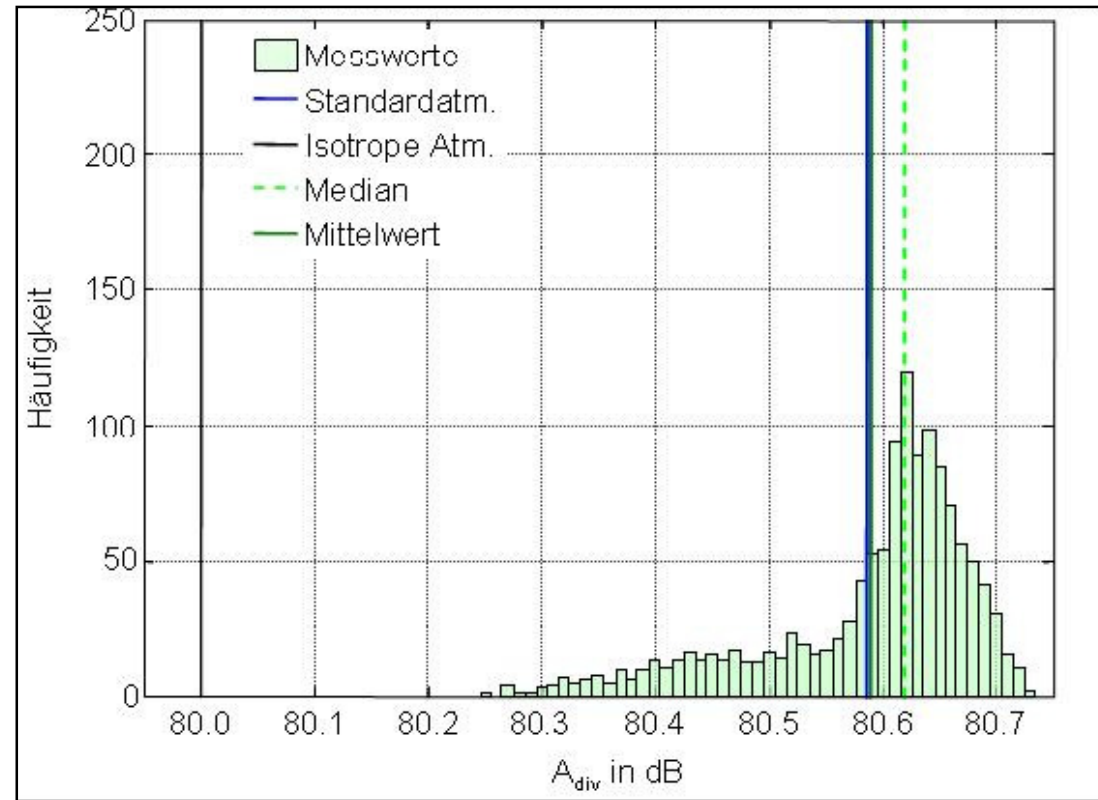
Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? Schallwege



SEL-Konturen 70, 80 und 90 dB bei Bahnbetrieb in Richtung 21. Zu Grunde liegen je ein An- und ein Abflug eines A320.



Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? Schallwege

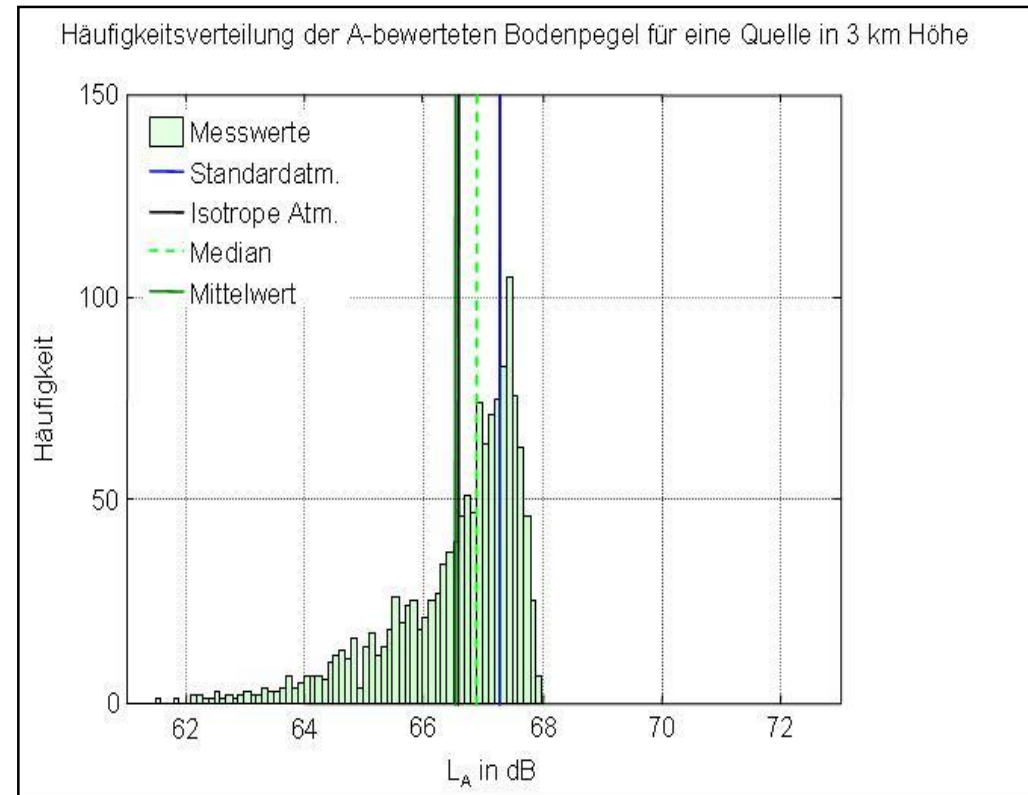


Typische Häufigkeitsverteilung der geometrischen Dämpfung eines repräsentativen Jahres bei einer Quelle (A320) in 10 km Höhe hervorgerufen durch vorkommende Schallwege



Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?

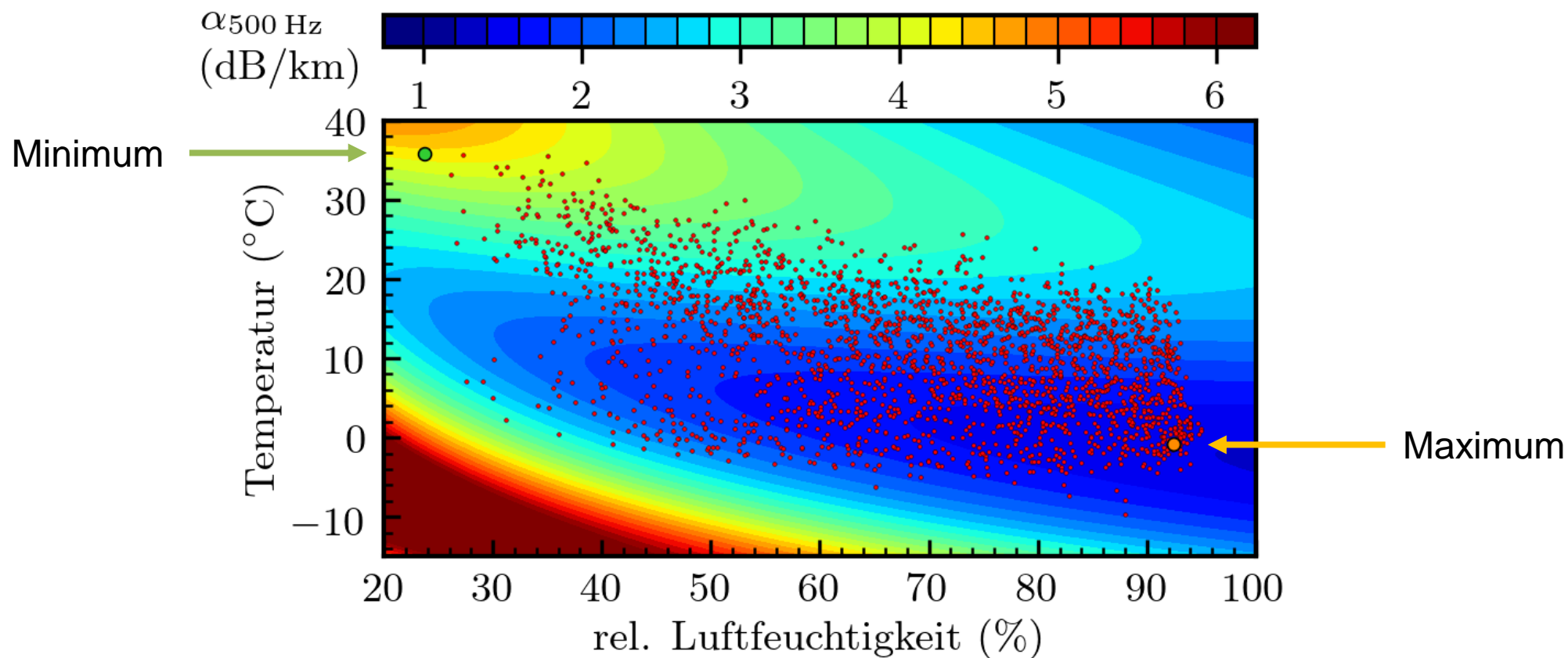
atmosphärische Dämpfung



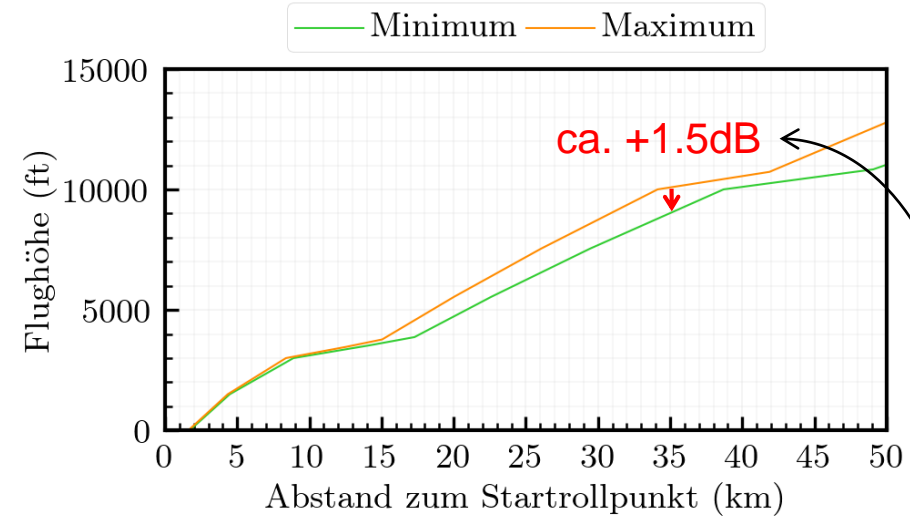
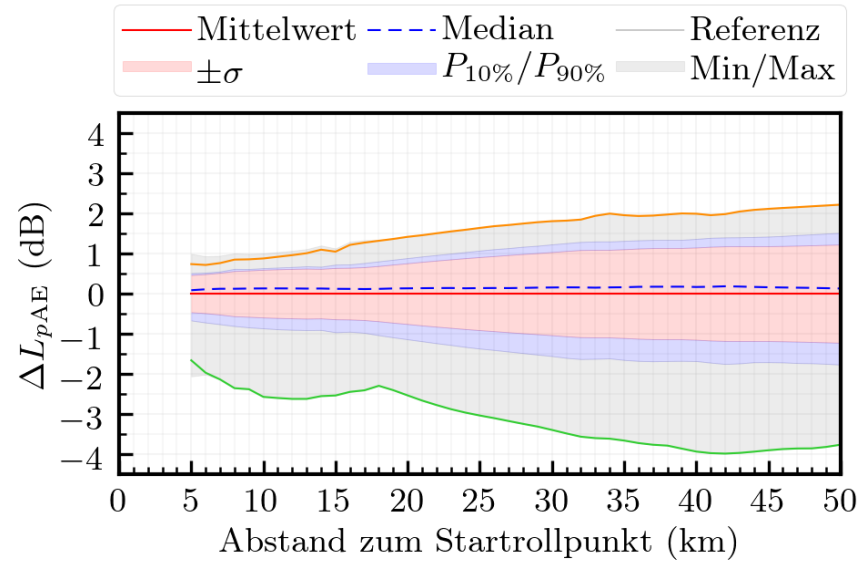
Typische Häufigkeitsverteilung von Immissionspegeln eines repräsentativen Jahres bei einer Quelle (A320) in 3 km Höhe hervorgerufen durch die atmosphärische Dämpfung



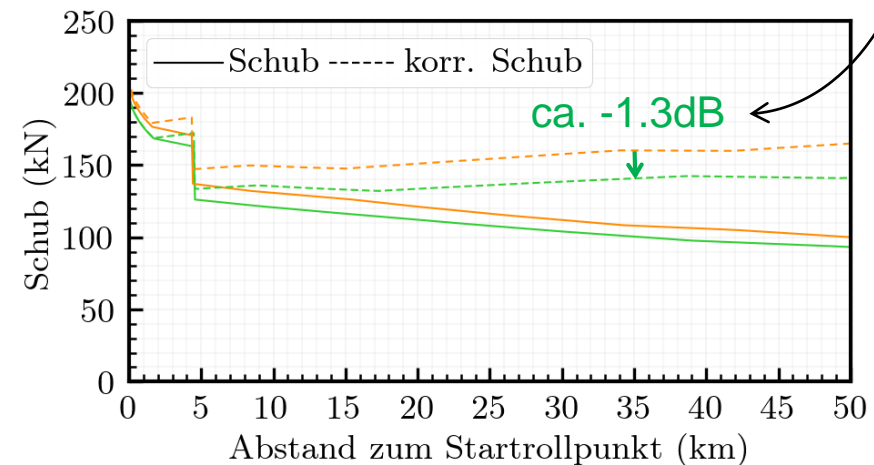
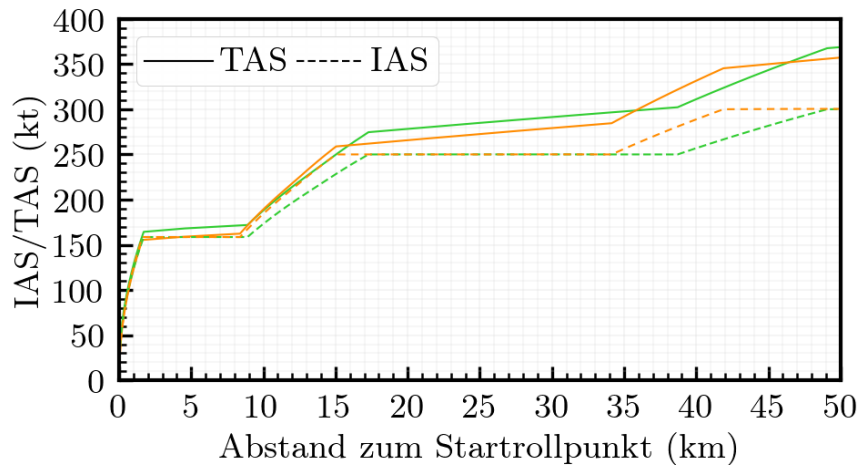
Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? atmosphärische Dämpfung – über ein Jahr



Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm? unter der Flugbahn über ein Jahr



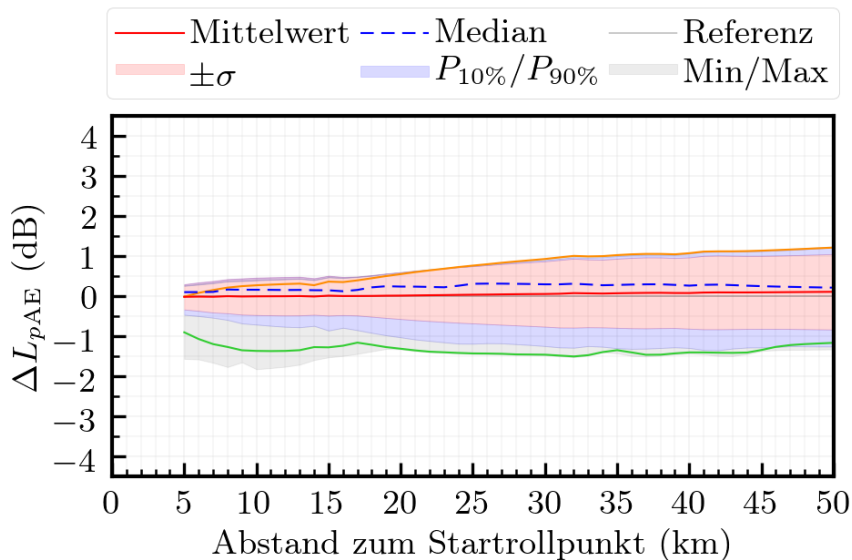
Effekte heben sich nahezu auf!



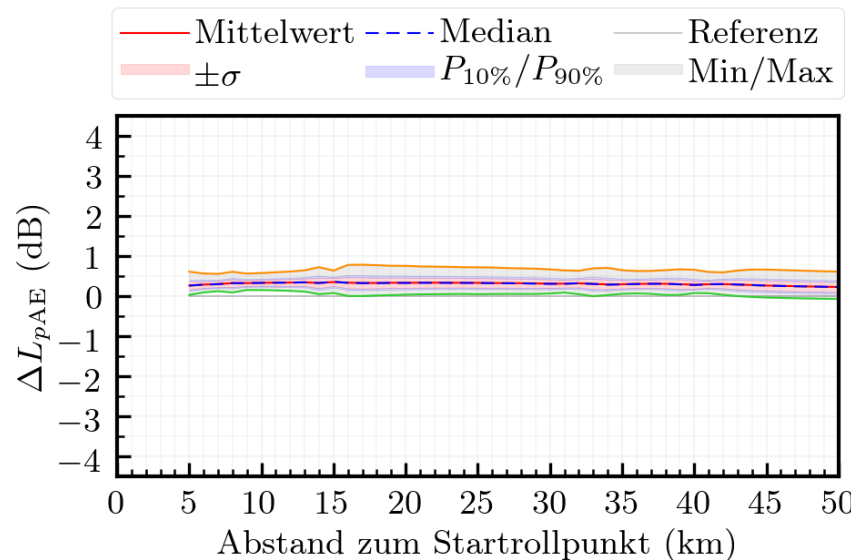
Wie beeinflusst die Meteorologie den Fluglärm?

Einfluss isolierter Parameter

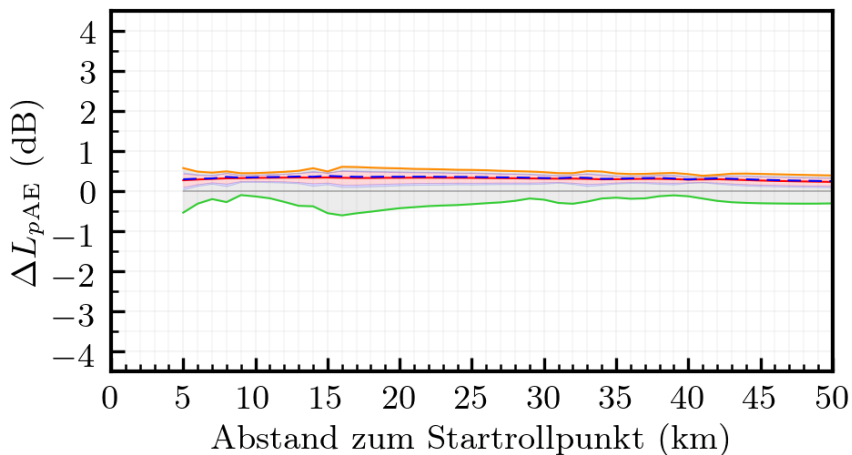
Temperatur



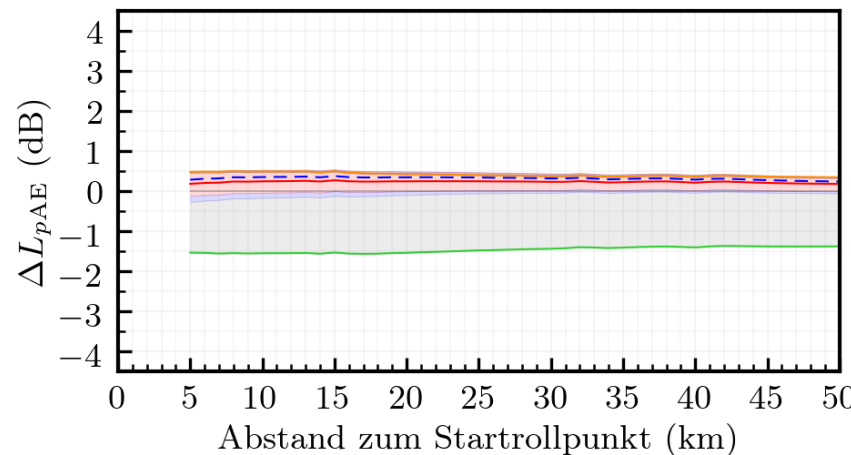
Luftdruck



Wind



Rel. Feuchte



Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

