

98. Delegiertenversammlung des Schutzverbandes der Bevölkerung um den Flughafen Zürich
Rümlang, 25. November 2015

Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm

Ullrich Isermann
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen



Dieser Vortrag über die Möglichkeiten zur Lärminderung im Luftverkehr kann aufgrund der Komplexität der Thematik nur eine grobe Übersicht geben. Weitergehenden Informationen finden sich u.a. im Internet zum Download. Einige diesbezügliche Links sind auf der abschließenden Folie ausgewiesen. Im Übrigen findet man immer wieder überraschend gute Informationen in der Wikipedia ...

Die hier in Form von Notizen eingestellten Zusatzinformationen beschränken sich darauf, Informationen zu ergänzen, die den Folien nicht direkt entnommen werden können. Sie dienen weitestgehend dazu, Fehlinterpretationen zu vermeiden.

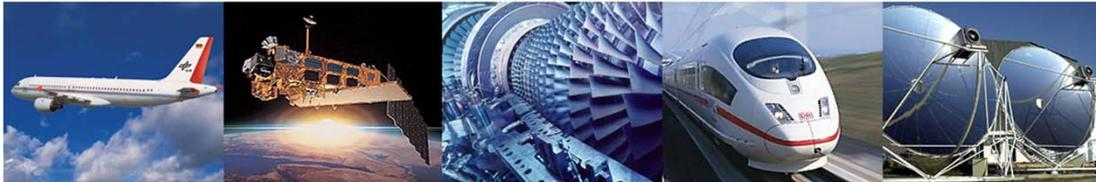
Über die Fluglärm-Aktivitäten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt kann man sich auf dessen Webseite unter www.dlr.de informieren. Dort sind unter den jeweiligen Instituten bzw. Abteilungen Ansprechpartner ausgewiesen. Alternativ können Anfragen auch direkt an die unten aufgeführte Adresse erfolgen.

Dr. Ullrich Isermann
DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
Leiter Arbeitsgruppe Fluglärm
Bunsenstraße 10
37073 Göttingen

Tel. 0551 709 2255
Fax 0551 709 2404
EMail ullrich.isermann@dlr.de

Das DLR

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
(www.dlr.de)



- Forschungseinrichtung
- Raumfahrt-Agentur
- Projektträger



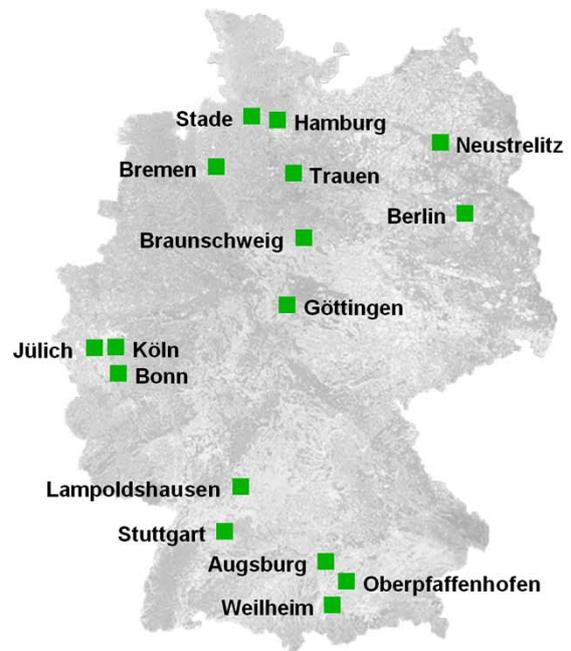
> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 2



Standorte und Personal (Stand 2015)

Circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter arbeiten in 33 Instituten und Einrichtungen in 16 Standorten.

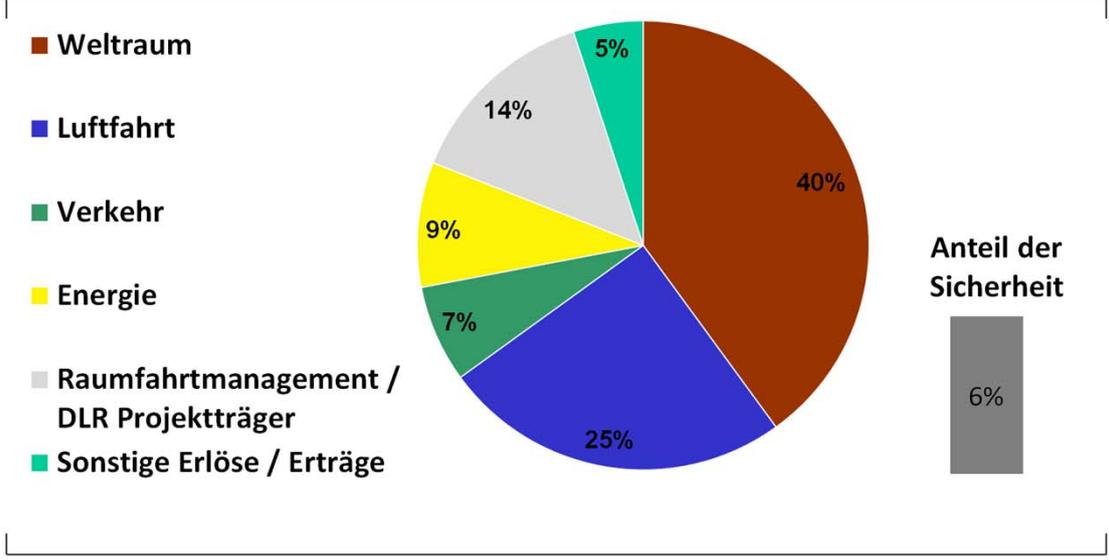
Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington.



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 3



Anteil Forschung, Betrieb sowie Managementaufgaben 2015

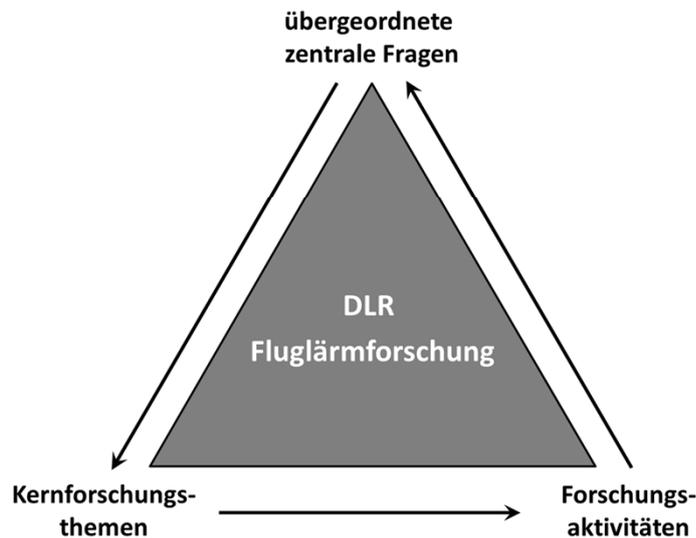


> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 4



Konzept der Fluglärmforschung im DLR

- Orientierung an wenigen zentralen und übergeordneten Fragen.
- Darauf aufbauend Identifikation von Kernforschungsthemen
- Zuordnung von Forschungsaktivitäten zu diesen Kernforschungsthemen



- Kernforschungsthemen**
- ≠ Flugzeugkonfigurationen
 - ≠ Quellen von Fluglärm
 - ≠ Trajektorien & ATM-Verfahren
 - ≠ Fluglärmwirkungen
 - ≠ **Fluglärmrechnung & interdisziplinäre Fragestellungen**



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 5



Fluglärm stellt ein für jedermann erfahrbares, unerwünschtes Begleitphänomen des Luftverkehrs dar. Dass mit dem Fluglärm ernstzunehmende Probleme in dichtbesiedelten Ländern wie Deutschland einhergehen, ist offensichtlich. So einfach das Problem Fluglärm von Betroffenen benennbar ist, so komplex wird es durch eine Vielzahl technischer und nichttechnischer Aspekte bestimmt. Die Lösung von Einzelfragestellungen dieses Themenkomplexes ist zwar von allergrößter Bedeutung, in der Regel aber nicht hinreichend, um das mehrschichtige Gesamtproblem Fluglärm substantiell zu entschärfen.

Eine erfolgversprechende Forschung auf diesem Gebiet muss sich vielmehr an wenigen zentralen und übergeordneten Fragen orientieren, aus denen zunächst die Kernforschungsthemen abgeleitet werden, denen sich wiederum sämtliche Forschungsaktivitäten unterordnen, die sich gänzlich oder zum Teil zum Ziel nehmen, Fluglärmfragestellungen zu beantworten.

Mit dieser fachlich begründeten Strukturierung ist der Kern des DLR Forschungsprogramms Fluglärm definiert. Die Bandbreite seiner in den Instituten vorhandenen Kompetenzen befähigt gerade das DLR, das Fluglärmproblem im Ganzen und auf bestem wissenschaftlich-technischen Niveau erfolgreich anzugehen.

Minderung von Fluglärm

Maßnahmen des ICAO „Balanced Approach“

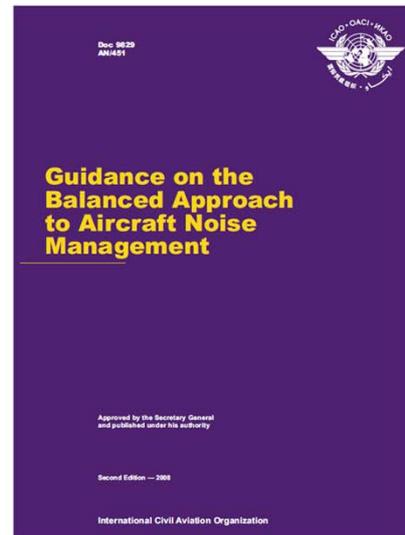
- ✦ Lärminderung an der Quelle
- ✦ optimierte Flächennutzungsplanung
- ✦ lärmoptimierte flugbetriebliche Verfahren
- ✦ lärmbedingte Betriebsbeschränkungen

Grundvoraussetzung 1: Kenntnis der Lärmwirkungen

- ✦ Dosis-Wirkungsbeziehungen
- ✦ Lärmdeskriptoren und -indizes

Grundvoraussetzung 2: Umfassende Fähigkeiten zur Simulation von

- ✦ Schallquellen
- ✦ Schallausbreitungsvorgängen
- ✦ Flugverfahren und Flugbetrieb



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 6



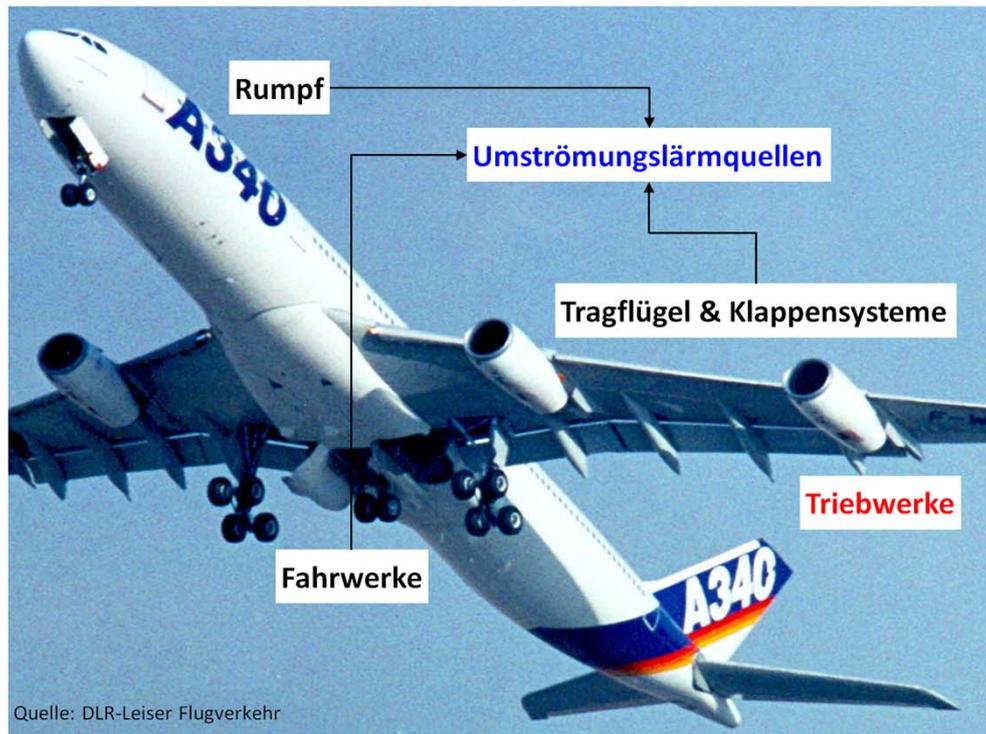
Die grundlegenden Möglichkeiten Fluglärm zu mindern sind von der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO unter der Bezeichnung „Balanced Approach“ im ICAO Document 9829 beschrieben. Von diesen vier Kernelementen des „Ausgewogenen Ansatzes“ sieht die ICAO den letzten Punkt – also lärmbedingte Betriebsbeschränkungen – als eine ultima ratio an, die erst dann anzuwenden ist, wenn die anderen Maßnahmen nicht mehr greifen.

Wie bei allen Maßnahmen und Verfahren im Luftverkehr gilt natürlich auch bei der Lärminderung, dass Sicherheit Priorität hat.

Die Erarbeitung und Umsetzung der Maßnahmen des Balanced Approach erfordert zunächst umfassende Kenntnisse aus dem Bereich der Lärmwirkungsforschung: Nur wenn man weiß, wie Lärm auf den Menschen wirkt, kann man ihn zielgerecht bekämpfen. Dazu gehört insbesondere die Definition von sog. Lärmdeskriptoren oder -indizes. Diese verknüpfen die physikalisch messbare Belastung – also den Schall – mit dem subjektiv empfundenen Lärm und seinen Wirkungen (z.B. Störung der Kommunikation tagsüber oder Aufwachen in der Nacht). Dies geschieht auf der Basis von sog. „Dosis-Wirkung-Beziehungen“, die in der Regel durch umfangreiche Feldexperimente (Befragungen, Schlafuntersuchungen) abgeleitet werden.

Da Experimente mit realem Fluggerät sehr aufwändig und kostspielig sind, müssen sie vorab soweit als möglich durch Rechnersimulationen vorbereitet werden. Die zweite wichtige Voraussetzung zur Umsetzung des Balanced Approach sind daher umfassende Fähigkeiten zur Simulation von Schallquellen, Schallausbreitungsvorgängen sowie Flugverfahren und Flugbetrieb.

Lärminderung an der Quelle – die Hauptlärmquellen am Flugzeug



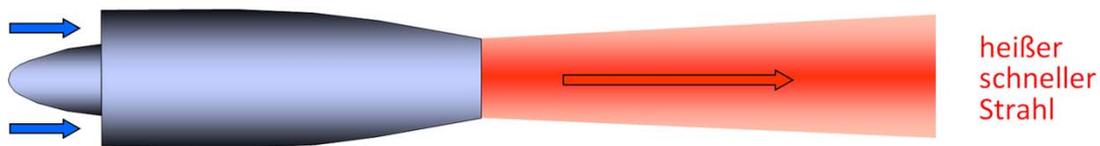
> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 7

Ein Flugzeug stellt eine sehr komplexe Schallquelle von großer räumlicher Ausdehnung dar. Die Mechanismen der Schallerzeugung sind dabei sehr vielfältig. Die größte Unterteilung ist hier die in Triebwerksgeräusche und Umströmungsgeräusche („airframe noise“). Letztere kann man grob klassifizieren in Beiträge vom Rumpf, den Fahrgestellen und den Hochauftriebshilfen (Landeklappen, Vorflügelklappen, Spoiler). Auch beim Triebwerk gibt es die unterschiedlichsten Komponenten – beim Strahltriebwerk primär Triebwerksstrahl und Niederdruckverdichter (Fan). Eine Übersicht findet sich u.a. in der Dokumentation zum Projekt „Leiser Flugverkehr“, die von der DLR-Webseite heruntergeladen werden kann.

Vielfältige Schallentstehungsmechanismen implizieren natürlich auch vielfältige Möglichkeiten zur Lärminderung – und damit auch viele Möglichkeiten, an der falschen Schraube zu drehen. Prinzipiell sollten Minderungsmaßnahmen sich an den „lautesten“ Quellen orientieren. Sinnvollerweise erstellt man also ein Quellen-Ranking und arbeitet dieses von der lautesten zur leisesten Quelle hin ab. Außerdem ist es wichtig, Effekte der Ausbreitung mit einzubeziehen - die Zielsetzung ist ja eine Reduktion der Immission, also der Pegel am Empfänger. Ein Beispiel wären Maßnahmen zur Reduktion hochfrequenter Emissionen. Diese sind oft wenig effektiv, da die hohen Frequenzen des Schalls bei der Ausbreitung durch die Atmosphäre ohnehin stark gedämpft werden.

Lärminderung am Triebwerk – vom Turbojet

Turbojet-Triebwerk: Erzeugung eines schnellen Freistrahls



akustische Leistung $\sim U^8$



Sir James Lighthill

- geringer Massendurchsatz
- hohe Strahlgeschwindigkeit



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 8

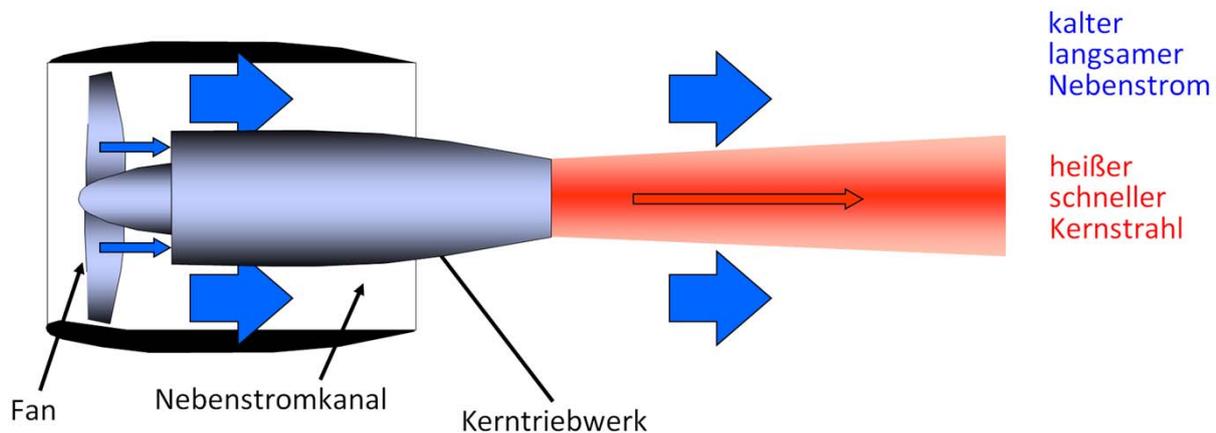
Flugzeuge mit Strahltriebwerken dominieren den modernen Luftverkehr, und folgerichtig sollten Lärminderungsmaßnahmen an der Quelle sich zunächst an dieser Triebwerksart orientieren. Hier sind bisher – wie im Folgenden erläutert – durch ein vergleichsweise einfaches Konzept beeindruckende Erfolge erzielt worden.

Die ersten eingesetzten Strahltriebwerke waren sog. „Turbojet“-Triebwerke (also Gasturbinen). Hier wird die in das Triebwerk eingesaugte Luft vollständig durch die Brennkammer geleitet. Das Resultat ist ein heißer, schneller Triebwerksstrahl. Der Schub wird dabei durch vergleichsweise wenig Masse, die auf hohe Geschwindigkeit beschleunigt wird, erzeugt.

Das Problem ist, dass der von einem solchen Strahl erzeugte Lärm sehr stark von der Strahlgeschwindigkeit abhängt. Sir James Lighthill ermittelte, dass die akustische Leistung eines Freistrahls mit der 8. Potenz der Geschwindigkeit steigt. Es ist unter Lärmaspekten also sinnvoll, die Strahlgeschwindigkeit abzusenken.

Lärminderung am Triebwerk – vom Turbojet zum Turbofan

Turbofan-Triebwerk: Umleitung des Großteils der Luft um das Kerntriebwerk



Vorteile: hoher Massendurchsatz \Rightarrow hoher Schub
 reduzierte Strahlgeschwindigkeit \Rightarrow weniger Lärm

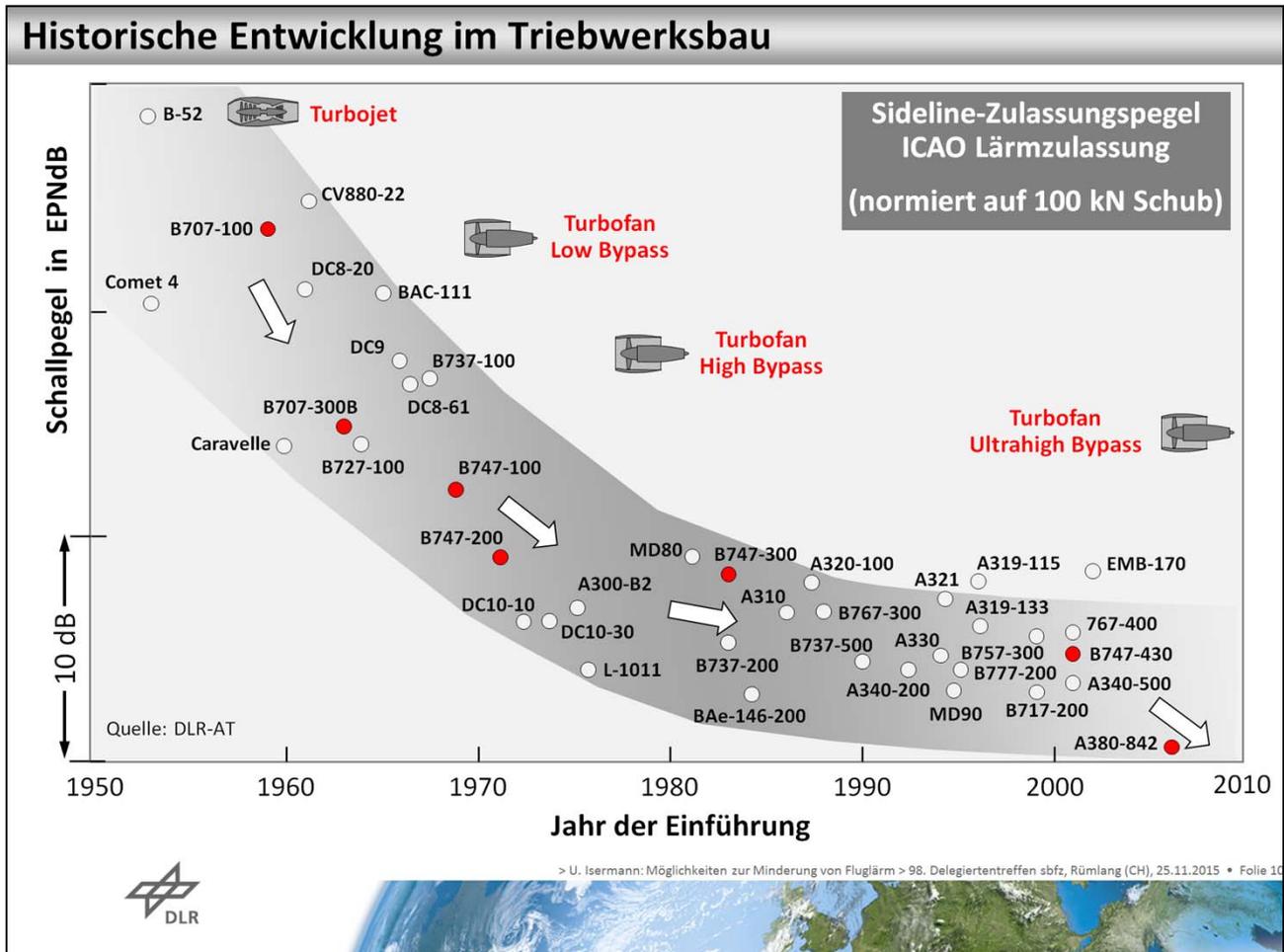


> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 9

Dieses Prinzip wird beim „Turbofan-“ oder „Nebenstrom“-Triebwerk verfolgt. Hier wird ein Teil der durch die Verbrennung erzeugte Energie ausgekoppelt, um einen großen Niederdruckverdichter im Triebwerkseinlass anzutreiben. Dieser „Fan“ treibt einen Teil der eingesaugten Luft durch einen das Kerntriebwerk umhüllenden Nebenstromkanal. Das Ergebnis ist ein kalter, langsamer Nebenstrom, der den schnellen Kernstrahl umhüllt. Der Vorteil ist ein hoher Massendurchsatz bei reduzierter mittlerer Strahlgeschwindigkeit und damit weniger Lärm.

Das Verhältnis der Luftmengen durch Nebenstromkanal und Kerntriebwerk wird als „Nebenstromverhältnis (BPR, von Bypass Ratio)“ bezeichnet. Turbofantriebwerke der ersten Generation hatten noch ein Nebenstromverhältnis von 1 (Low-Bypass). In der zweiten Generation (High-Bypass) konnte dies auf etwa 6 und in dritten, aktuell eingesetzten Generation (Ultrahigh Bypass) auf etwa 10 gesteigert werden.

Durch den Fan handelt man sich natürlich eine zusätzliche Lärmquelle ein, die bei modernen Triebwerken den Lärm dominiert. Die Techniken zur Minderung des Fan-Lärms sind vielfältig (Reduktion der Drehzahl, schalldämmende Auskleidung des Einlaufs, spezielle Blatt-Geometrien etc.). Auch hierzu findet sich in der Dokumentation zum Projekt „Leiser Flugverkehr“ eine umfassende Beschreibung.



Wie effizient der Übergang vom Turbojet zum Turbofan unter Lärmgesichtspunkten war, zeigt die Entwicklung der bei der ICAO-Lärmzulassung gemessenen Schallpegel (ausgedrückt in Effective Perceived Noise Dezibel, einer der menschlichen Lärmempfindung angepassten Pegelgröße).

Die rot markierten Flugzeugmuster stellen die in den jeweiligen Jahren größten Passagierflugzeuge dar – von der Boeing B707 mit 120 Tonnen über die Boeing B747 mit bis zu 400 Tonnen hin zum Airbus A380 mit 570 Tonnen. Bei diesem Übergang nahmen die bei der Zulassung seitlich der Flugbahn beim Abflug gemessenen Pegelwerte um mehr als 20 dB ab. Das entspricht einem Rückgang der Schalleistung auf weniger als 1% bzw. der empfundenen Lautstärke auf weniger als 1/4.

Der Übergang vom reinen Turbojet- bis zum High-Bypass Turbofan-Triebwerk war mit einer sehr starken Abnahme der Seitenpegel verbunden. Diese Triebwerksgeneration dominierte dann von Mitte der 70er Jahre bis nach der Jahrtausendwende den Luftverkehr – in dieser Periode blieben die Zulassungspegel relativ konstant. Mit Einführung der 3. Turbofan-Generation sind die Pegel in dieser Flugzeugkategorie dann noch einmal abgesunken.

Entsprechendes ist auch für kleinere Flugzeuge zu erwarten, da hier u.a. die neuen Triebwerke mit Getriebefan (z.B. im A320 neo) zum Einsatz kommen.

Beispiel: Chevron-Düse (DLR-Projekt **Leiser Flugverkehr**)

Flugversuche mit einer von DLR entwickelten und von Lufthansa gebauten Chevrendüse auf einem CFM56-5A5-Triebwerk (A319)



Quelle: DLR-Leiser Flugverkehr

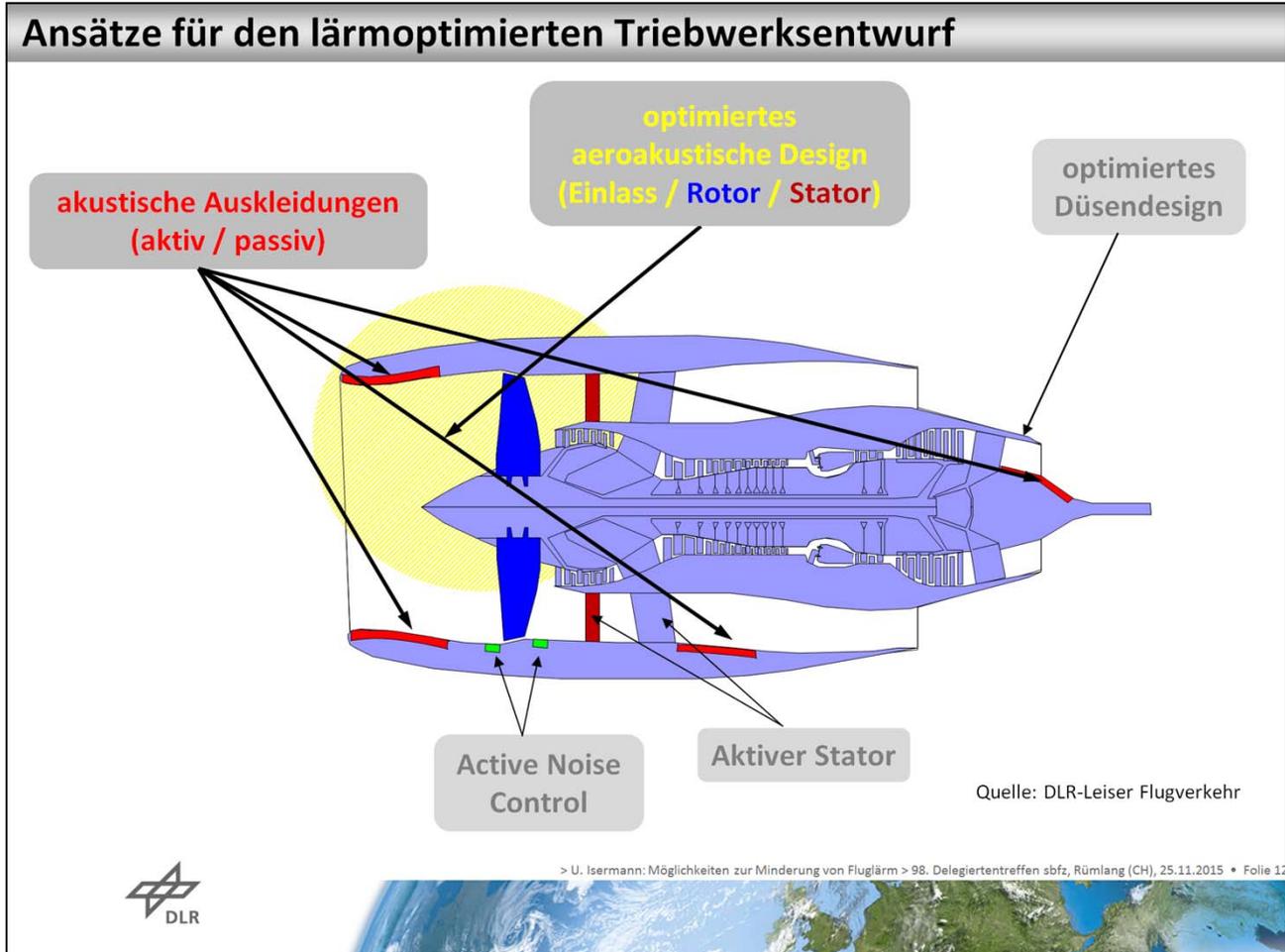
- **Reduktion des Strahlärms von ca 1 dB möglich**
- **kurzfristig an bestehendem Gerät einsetzbar !**



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 11



Es gibt allerdings auch noch nachrüstbare Maßnahmen zur Reduktion des Freistrahllärms. Besonders aussichtsreich, da mit nur geringen Schubverlusten verbunden, ist der Einsatz von gezackten Düsen. Im Rahmen des Projektes „Leiser Flugverkehr“ ergab sich die Möglichkeit, eine solche Düse für einen Airbus A319 der Lufthansa auszulegen und zu testen. Die Düse wurde vom DLR ohne vorherige Modellversuche in Zusammenarbeit mit Lufthansa Technik entworfen, von Lufthansa Technik in Hamburg gebaut und zur Zulassung eingereicht. Bei Frequenzen bis zu 1000 Hz wurde im Flugtest eine Lärminderung von ca. 1 dB ermittelt.

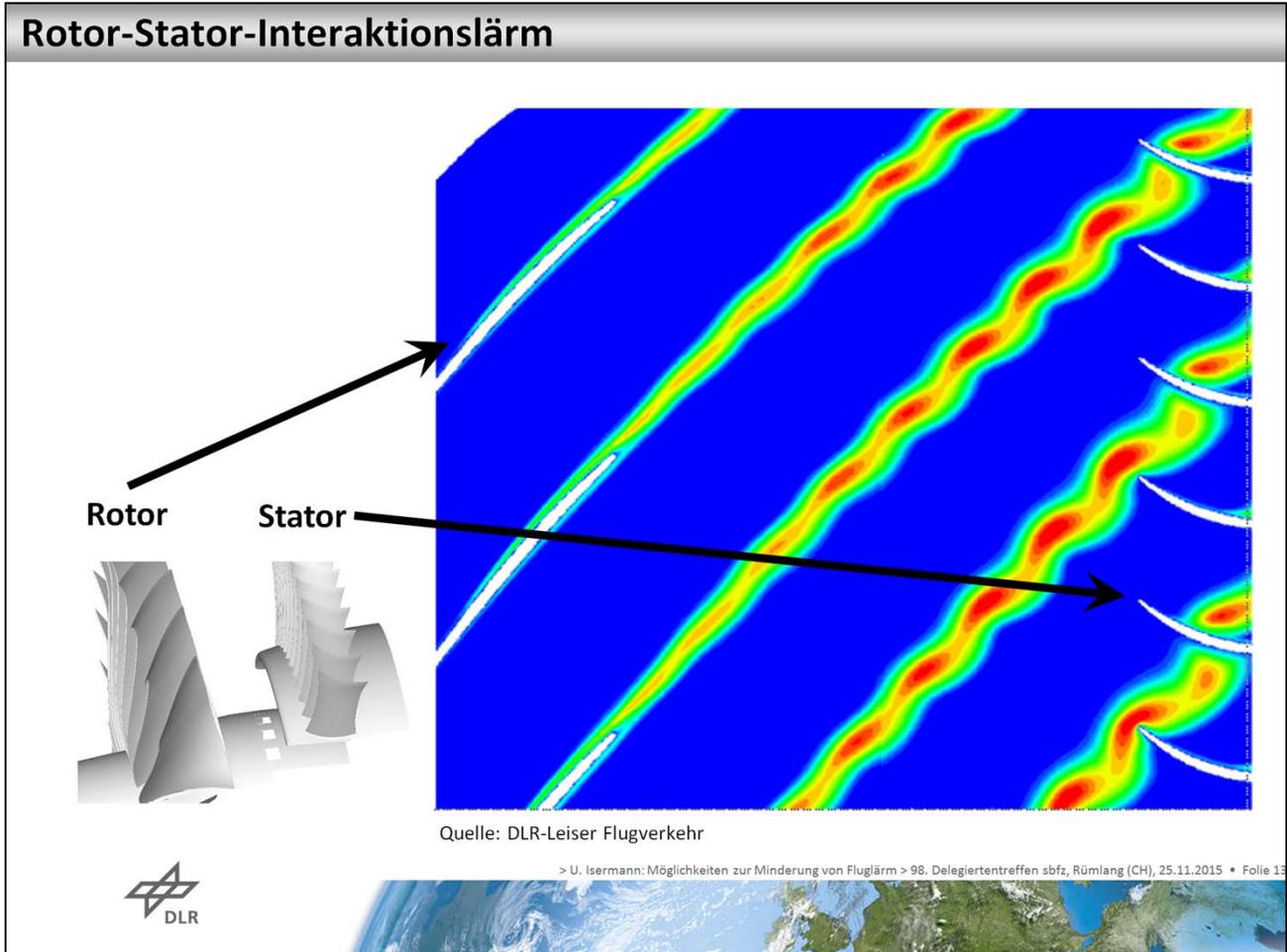


Langfristig sind aber nur Maßnahmen sinnvoll, die den Strahlärm erheblich stärker reduzieren, nämlich die Erhöhung des Nebenstromverhältnisses. Dadurch wird der Lärm des Fans aber immer dominierender. Er wird von zwei Anteilen bestimmt, dem Wechselwirkungsärm zwischen Rotor und Stator und dem allein durch den Rotor erzeugten Lärm.

Der Rotor-Stator-Wechselwirkungsärm ist überwiegend eine Folge der turbulenten Nachlaufdübeln der Rotorschaukeln und wird auch durch das Zahlenverhältnis von Rotor- und Statorschaukeln beeinflusst, das neben weiteren Parametern die innerhalb der Gondel ausbreitungsfähigen akustischen Kanalmoden bestimmt. Der Wechselwirkungsmechanismus erzeugt Töne bei Vielfachen der Blattfolgefrequenz, aber auch Breitbandgeräusche.

Das allein vom Rotor erzeugte Geräusch setzt sich aus zwei Bestandteilen zusammen. Der Erste ist Folge einer ungleichförmigen Zuströmung zum Rotor und besteht aus Tönen und Breitbandgeräuschen. Er tritt bei jeder Strömungsmaschine auf. Der zweite Anteil wird abgestrahlt, wenn die Strömungsgeschwindigkeit an den Blattspitzen größer als die Schallgeschwindigkeit ist. Ein wesentlicher Teil dieses Rotorgeräusches wird in Form eines sehr unangenehmen Kreissägeneräusches („Buzz-saw Noise“) abgestrahlt. Dieser Teil des Rotorlärms kann durch Schaufelgestaltung, z. B. geschweifte Schaufelvorderkanten, in begrenztem Maße reduziert werden. Eine erhebliche Lärminderung dieser Geräuschkomponente gibt es aber nur, wenn die Relativgeschwindigkeit an den Rotorspitzen etwa auf Schallgeschwindigkeit reduziert wird – was letztendlich zur Entwicklung des Getriebefans führte.

Weitere Maßnahmen zum lärmoptimierten Triebwerksentwurf sind insbesondere der Einsatz von schallabsorbierenden Auskleidungen („Linern“) sowie ein optimiertes Design von Einlauf und Düse.



Der von einem Fan abgestrahlte Lärm kann durch konstruktive Veränderungen an den Rotoren und Statoren gesenkt werden. Dies wurde durch Berechnung des instationären Strömungsfeldes in einer kompletten Fanstufe mit dem Rechenverfahren TRACE des DLR demonstriert.

Mit dem so weiterentwickelten Verfahren wurde die instationäre Strömung und die tonale Schallabstrahlung eines Modellfans berechnet, für den von Rolls-Royce (im Rahmen des EU-Projektes TurboNoiseCFD) experimentelle Daten zur Validierung zur Verfügung gestellt wurden.

Das Ergebnis einer Strömungsrechnung ist im rechten Bild zu sehen, wo die Nachläufe hinter den im Bild links liegenden Rotorscheaufeln dargestellt sind, die auf die rechts liegenden Statorschaufeln treffen und dabei die Rotor-Stator-Interaktionstöne erzeugen.

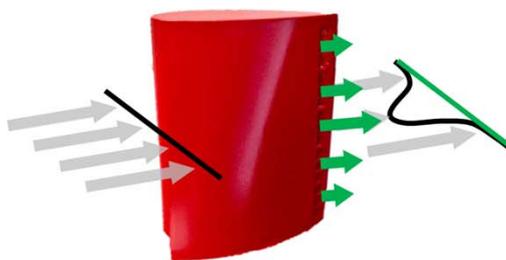
Rotor-Stator-Interaktionslärm



Geschwindigkeitsprofil hinter dem Rotorblatt



Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit der Universität Siegen, Prof. Dr.-Ing. Th. Carolus



Geschwindigkeitsprofil hinter dem Rotorblatt mit Ausblasung

Quelle: DLR-AT



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 14



Die Delle im Geschwindigkeitsprofil des Rotornachlaufs bestimmt im wesentlichen den Interaktionslärm. Eine Möglichkeit, um wieder ein ungestörtes Geschwindigkeitsprofil herzustellen, ist das Einblasen von Luft durch die Rotorschaukeln. Ein derartiges Konzept wurde im Rahmen des EU-Projektes FLOCON in Kooperation mit der Universität Siegen untersucht.

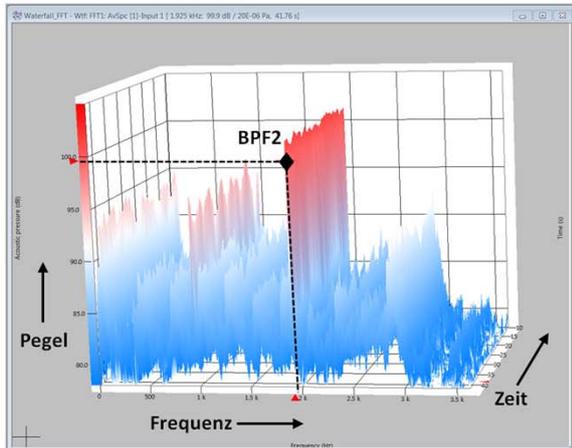
Rotor-Stator-Interaktionslärm



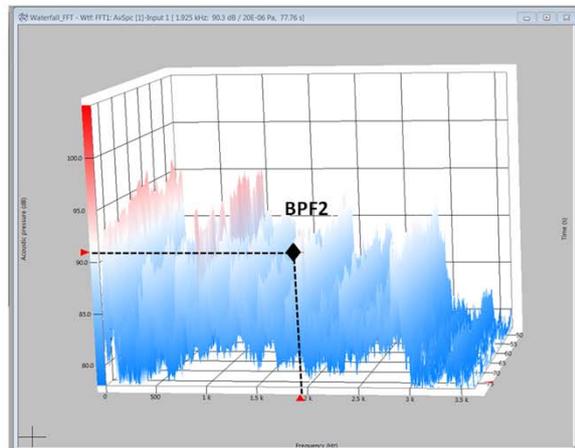
Ergebnis des Experiments (Wasserfalldiagramm)

- ◆ Blattfolgefrequenz BPF2 bei 1920 Hz

ohne Einblasung



mit Einblasung



Quelle: DLR-AT

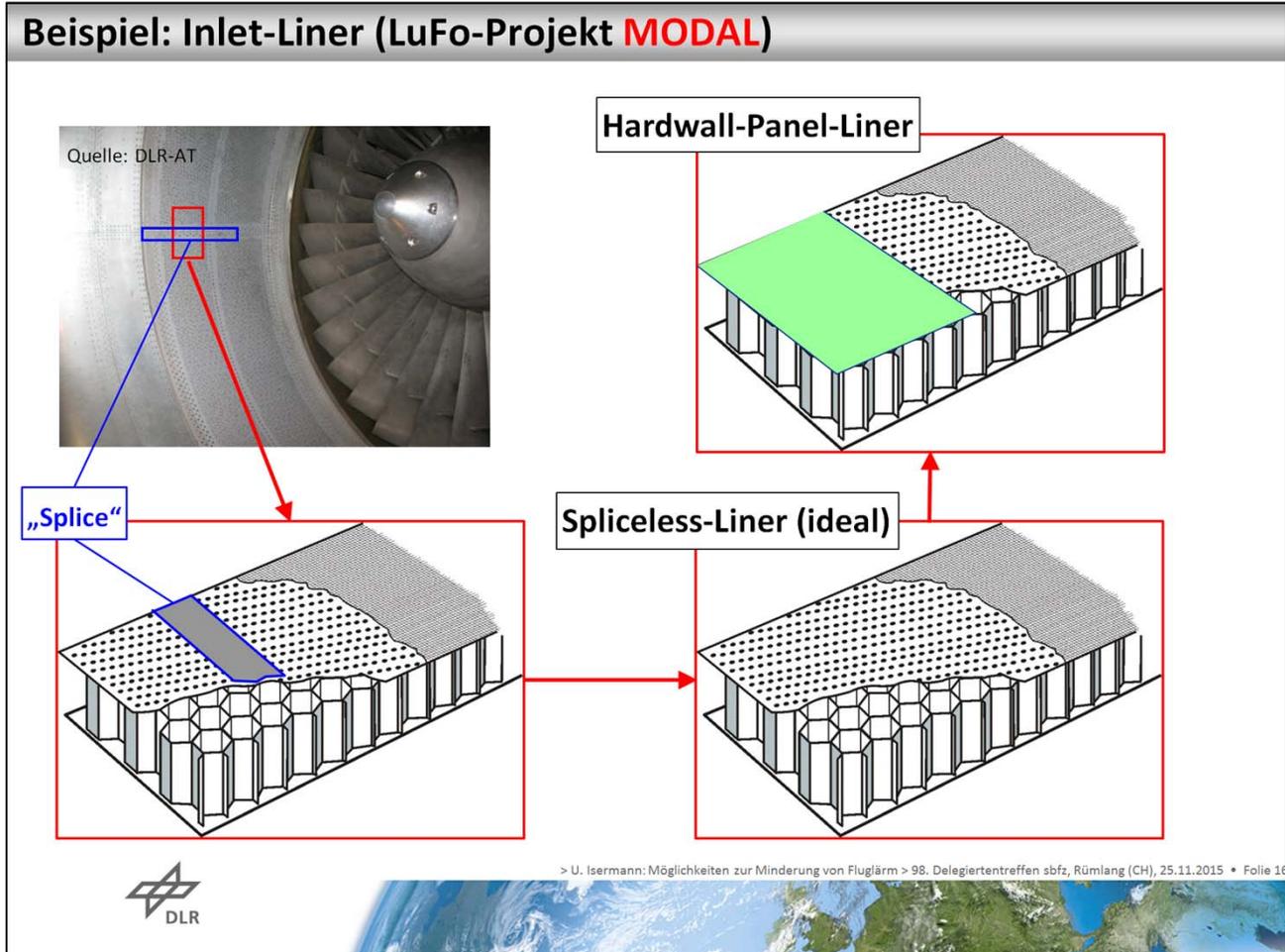


> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 15

Diese Abbildung zeigt die Ergebnisse eines Experimentes zur Einblasung durch den Rotor. Dargestellt sind sog. „Wasserfalldiagramme“, also die Auftragung einer zeitlichen Abfolge von Frequenzspektren.

Das linke Teilbild zeigt den Fall ohne Einblasung. Hier zeigt sich ein Maximum von etwa 100 dB bei 1920 Hz – was der 2. Harmonischen der Blattfolgefrequenz („Blade-passage-frequency BPF“) des Rotors entspricht. Schaltet man die Einblasung ein, so reduziert sich dieser Ton um fast 10 dB.

Die Umsetzung dieses Konzepts bei realen Triebwerksfans stellt aber eine extreme technische Herausforderung dar, da moderne Rotorschaukeln nur noch sehr geringe Dicken haben. Erfolgversprechender ist ein modifiziertes Konzept der Einblasung, das zwar nicht so effizient, aber einfacher realisierbar ist.



Im Rahmen des Projekts FREQUENZ im Jahr 2007 wurde nachgewiesen, dass in bestimmten Drehzahlbereichen an den schallharten Nahtstellen des Liners (den „Splices“) eine Umwandlung von akustischer Energie aus nicht-ausbreitungsfähigen in ausbreitungsfähige akustische Moden stattfindet. Dadurch wird das tonale Geräusch bei der Blattfolgefrequenz des Fans und damit sogar der Gesamtpegel signifikant erhöht. Da tonhaltige Geräusche als sehr unangenehm empfunden werden ist die Reduktion der Pegel der Töne sehr wichtig für die Reduktion des Triebwerksgeräuschs.

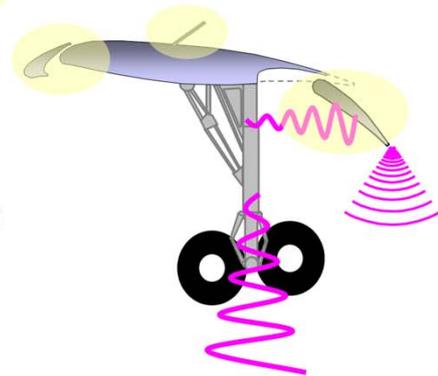
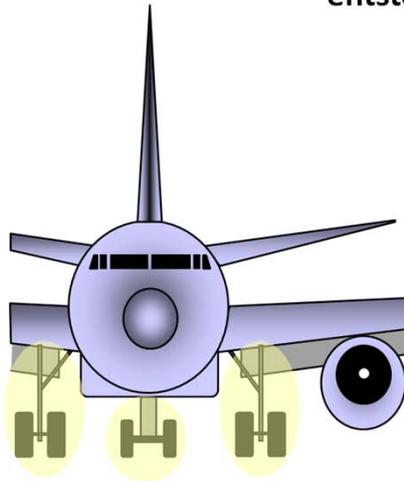
Im Projekt MODAL fanden daher Messungen von drei verschiedenen Varianten der schallabsorbierenden Auskleidungen eines CF6C2-Triebwerks am Triebwerksprüfstand von Lufthansa Technik in Hamburg statt, wobei einmal der ursprüngliche Liner vollständig und einmal nur zur Hälfte mit einer schallharten Oberfläche versehen wurde. Die Ergebnisse von Messungen zeigten sowohl das Reduktionspotenzial der modifizierten Auskleidungen als auch ein möglicherweise kritisches Verhalten bei sehr hohen Drehzahlen:

- Im mittleren Drehzahlbereich haben die Auskleidungen mit 50% und 100% schallharter Oberfläche niedrigere Pegel als die Ausgangs-Variante. Welche Variante in der Praxis besser ist, hängt von den genauen Drehzahlen beim Landeanflug ab. Auf Basis von früheren Messungen kann das Reduktionspotenzial auf 1 bis 2 dB des A-bewerteten Gesamtpegels im Anflug abgeschätzt werden.
- Bei sehr hohen Drehzahlen ist der dagegen originale Liner leiser. Wenn die Blattspitzen des Fans sich mit Überschallgeschwindigkeit bewegen, dominieren die vielen tonalen Komponenten des Kreissägengeräuschs (*Buzz-Saw-Noise*) das Gesamtgeräusch. Die relativ breitbandig wirkenden ursprünglichen Acoustic Panels absorbieren den Schall in diesem Bereich offensichtlich besser als die Varianten mit reduzierter absorbierender Oberfläche.

Umströmungslärm („Airframe Noise“)

entsteht durch Umströmung von:

- Fahrgestell
- Klappen
- Vorflügelklappen
- Spoilern
- Winglets
- Hohlräumen



Interaktionslärm durch Wechselwirkung zwischen

- Triebwerksstrahl und Klappen,
- Fahrwerksnachlauf und Fahrwerk
- Fahrwerksnachlauf und Klappen



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 17



Umströmungslärm entsteht vor allem dann, wenn Hindernisse in eine Strömung gebracht werden. Die Ursachen an einem Flugzeug sind daher vielfältig, da Fahrgestelle und Hochauftriebssysteme (Klappen, Spoiler, Winglets) komplexe Geometrien darstellen. Ein zusätzlicher Effekt ist die Überströmung von Hohlräumen (ähnlich wie das Anblasen einer leeren Flasche).

Daneben tritt sog. „Interaktionslärm“ auf, wenn Triebwerksstrahlen oder Fahrwerksnachläufe mit Klappen oder Fahrwerk wechselwirken.

Welche Bedeutung hat Umströmungslärm ?

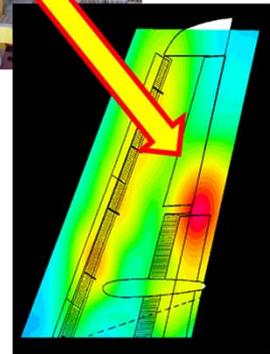
- Beim Start spielt Umströmungslärm (“airframe noise”) keine Rolle.
- Beim Anflug kann Umströmungslärm in manchen Flugzuständen dominieren.
- Leisere Triebwerke erfordern zwangsläufig auch leisere Zellen und Hochauftriebssysteme.

A320 Originalflügel im Deutsch-Niederländischen Windkanal



akustischer Hohlspiegel

Quelle: DLR-Leiser Flugverkehr



Die Minderung von Umströmungsgeräuschen ist daher seit Jahren intensiver Gegenstand der Forschung.



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 18

Umströmungslärm stellt derzeit nur beim Anflug ein Problem dar – beim Abflug dominiert immer noch das Triebwerk die Emissionen. Außerdem werden die Fahrgestelle und Klappen hier möglichst schnell eingefahren, um den Widerstand zu minimieren.

Beim Anflug dagegen dominiert Umströmungslärm in den Bereichen, in denen mit Leerlauf geflogen wird und gleichzeitig die Klappen oder Spoiler zum Abbau der Geschwindigkeit ausgefahren werden. Diese Maßnahmen erhöhen den Widerstand, erzeugen aber durch die Umströmung der jeweiligen Komponenten aerodynamischen Lärm. Dieser gewinnt um so mehr an Bedeutung, je leiser die modernen Triebwerke werden.

Aus diesem Grund ist die Minderung des Umströmungslärms seit Jahren Gegenstand der Forschung. Das Bild zeigt die Vermessung eines A320-Originaltragflügels durch das DLR im Deutsch-Niederländischen-Windkanal. Mit Hilfe eines akustischen Hohlspiegels wurde hier die Klappenseitenkante als eine Hauptschallquelle im Bereich der Landeklappen identifiziert.

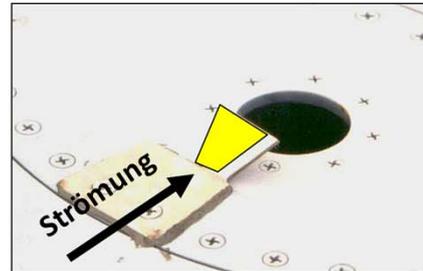
Einfache Techniken zur Reduktion von Umströmungslärm

Verkleidung von Fahrgestellen



Quelle: DLR-Leiser Flugverkehr

Tonunterdrückung bei Überströmung von Öffnungen (Wirbelgenerator)



Versiegelung von Aussparungen und Hohlräumen



Vorflügelführungen



Klappenseitenkante



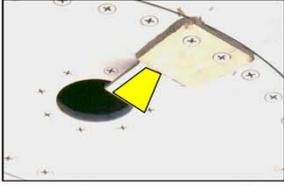
> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 15

Die Minderung von Umströmungslärm ist insofern nicht einfach, als die Funktionalität der ihn erzeugenden Bauteile gewährleistet bleiben muss. So ist eine aerodynamisch optimierte Vollverkleidung eines Fahrgestells zwar aus akustischer Sicht optimal – allerdings lässt sich das Fahrwerk dann nicht mehr einfahren. Hier sind also Kompromisse – wie die im oberen linken Teilbild angebrachten Teilverkleidungen und Radkappen – oder aber vollständig neue Konstruktionskonzepte notwendig. Letztere müssen dann aber auch den hohen Anforderungen an die Sicherheit genügen.

Nichtsdestoweniger wurde demonstriert, dass man schon mit einfachen Maßnahmen (z.B. der Versiegelung von Aussparungen und Hohlräumen) Umströmungslärm mindern kann. So wurde im DLR-Projekt „Leiser Flugverkehr“ ein Wirbelgenerator entwickelt, mit dem die bei der Überströmung einer konstruktionsbedingten Öffnung im Tragflügel des A320 erzeugten sehr störenden Töne unterdrückt werden konnten.

Da das DLR mittlerweile über ein neues Forschungsflugzeug vom Typ A320 verfügt, bietet sich die Möglichkeit, die Forschungen zum Umströmungslärm auf den Flugversuch zu erweitern und die in Windkanaluntersuchungen entwickelten Minderungsmaßnahmen auch unter realen Bedingungen zu testen.

Technische Umsetzung




- Ältere Flugzeuge können nachgerüstet werden
- Bei Neuauslieferungen ist der Wirbelgenerator installiert
- Messungen in Frankfurt bestätigen das Lärminderungspotential

An even quieter approach: Airbus introduces air flow deflectors on the A320 Family



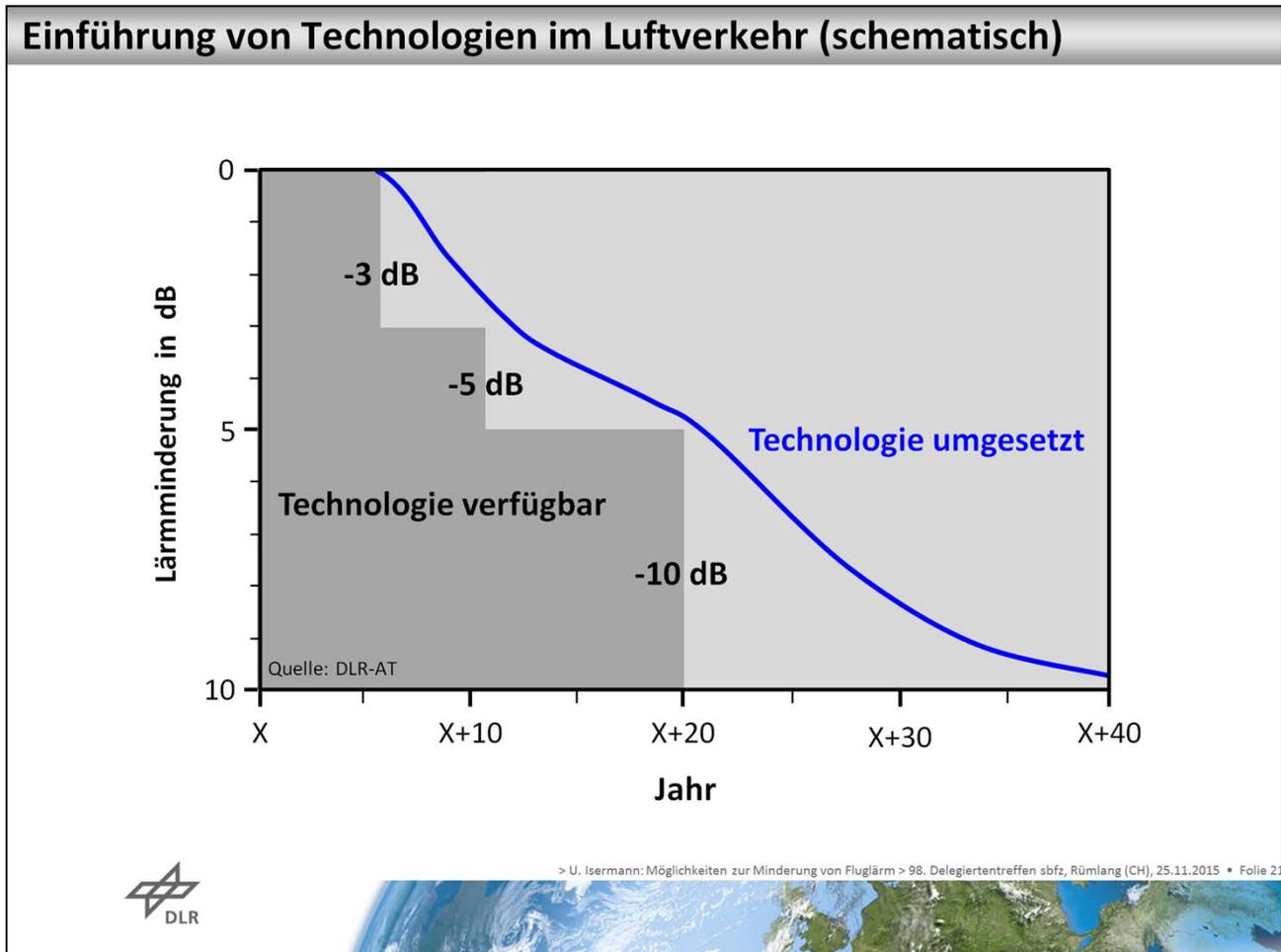
Quelle: Airbus News
10. Juli 2014

> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 20




Der im Rahmen des „Leisen Flugverkehrs“ entwickelte Wirbelgenerator wird von Airbus mittlerweile an den neuen A320-Modellen angebaut und kann bei alten Modellen nachgerüstet werden. Airbus bezeichnet das Gerät als „Air Flow Deflector“.

Da Lufthansa die A320-Flotte schon nachgerüstet hat, war es möglich, den Effekt des Wirbelgenerators durch Messungen zu quantifizieren. Ein Vergleich der gemessenen A-bewerteten Gesamtschallpegel ergab am Flughafen Frankfurt Pegelreduktionen von 3-4 dB im Abstand von etwa 12 km vor der Landeschwelle.



Auch wenn viele Airlines das geringe Durchschnittsalter ihrer Flotten (und damit die Modernität) herausstellen, so bleibt doch die Tatsache, dass ein Verkehrsflugzeug 20-30 Jahre im Dienst bleibt. Daraus resultiert, dass die Umsetzung neuer Technologien in der Praxis deren aktueller Verfügbarkeit immer verzögert folgt. Das Diagramm soll das schematisch darstellen: Wenn eine im Jahr X für das Jahr X+20 anvisierte, um 10 dB leisere Technologie wie geplant verfügbar ist, so können durchaus noch 20 Jahre vergehen, bis sich diese Technologie auch weitgehend im Luftverkehr durchgesetzt hat.

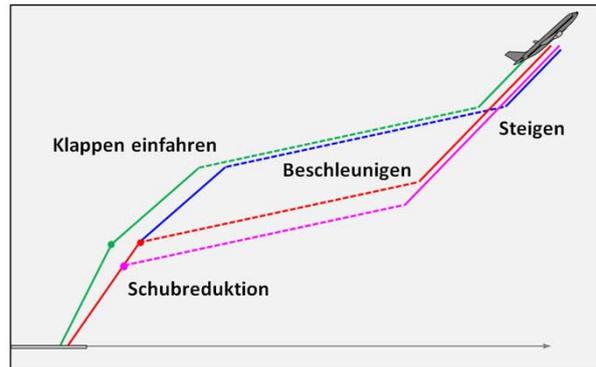
Hier muss man auch berücksichtigen, dass die Ausmusterung älteren Fluggerätes ja in der Regel nicht mit dessen Verschrottung einhergeht. Diese Flugzeuge bleiben oft in Ländern der dritten Welt noch lange im Einsatz. Das Erzwingen ihrer Ausmusterung aus dem internationalen Luftverkehr durch ICAO-Zulassungsbeschränkungen ist in der Regel nicht so einfach, da auch diese Länder Stimmrecht in der ICAO haben. Das war auch ein Grund, warum vor einigen Jahren die europäischen und insbesondere deutschen Forderungen zur Grenzwertabsenkung bei der ICAO nicht durchgesetzt werden konnten.

Lärmoptimierte Flugverfahren

Vertikale Optimierung

durch Variation von:

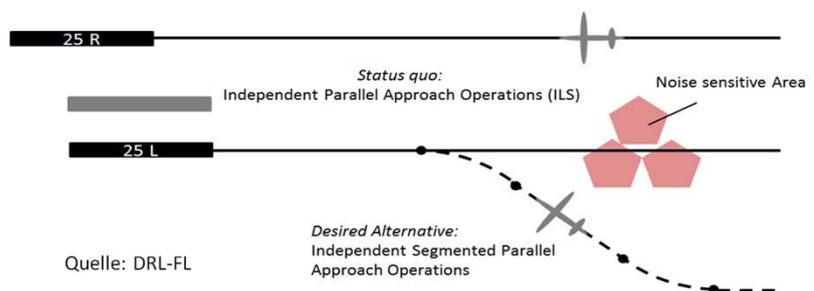
- Flughöhe
- Fluggeschwindigkeit
- Triebwerksleistung
- Konfiguration (Klappen, Fahrwerk)



Horizontale Optimierung

durch Variation von:

- Flugstreckenführung („minimal noise routing“)
- Bündelung / Streuung



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 22

Eine Optimierung von Flugverfahren erfolgt sowohl in der Horizontalen als auch der Vertikalen. Erstere fällt weitestgehend in den Bereich der Flugsicherung. Dies umfasst die Ausweisung von „Minimum Noise Routings“ für Abflüge im Luftfahrthandbuch oder auch von Vorgaben für Flächennavigation („Area Navigation RNAV“). Auch Regeln für die Einhaltung der Nominalrouten und ein entsprechendes Monitoring können dazugehören. Derartige Optimierungen können sehr effizient sein, da sie sich primär an der Struktur der Besiedlung orientieren, d.h. ein Überfliegen bewohnter Gebiete zu vermeiden versuchen. Allerdings sind sie oft auch mit einer Verlängerung der Abflugwege verbunden, was zumindest erhöhte Schadstoffemissionen zur Folge hat.

Die vertikale Optimierung erfolgt in der Regel durch flugmechanische Simulationen, bei denen die Verläufe von Triebwerksleistung, Flughöhe, Geschwindigkeit und aerodynamischer Konfiguration längs der Flugbahn variiert werden. Ein Übersichtsvortrag über vertikale Optimierung wurde auf der ALD-Veranstaltung „Minderung des Fluglärms“ gehalten. Er steht auf der Webseite des ALD zum Download bereit (siehe Linkliste auf der letzten Seite).

Es muss betont werden, dass die Optimierung von Flugverfahren nur durch Simulationsrechnungen effizient und kostengünstig umsetzbar ist. Erprobungen im Flugversuch sind zu teuer und auch aufgrund von luftrechtlichen und Sicherheitsaspekten im realen Flugbetrieb kaum umsetzbar. Das bedeutet aber auch, dass viel Sorgfalt bei der Entwicklung der zur Optimierung herangezogenen Rechenmodelle verwendet werden muss und dass die in diese Simulation einfließenden Daten von hoher Qualität sein müssen.

Zielsetzung beim Abflug: Höhe und Geschwindigkeit gewinnen

Wie fliegt man möglichst leise ab?

- **wenig Triebwerksleistung** (leise Schallquelle)
 - ⇒ niedrig
 - ⇒ langsam
- **möglichst hoch** (großer Abstand zum Empfänger, hohe Dämpfung)
 - ⇒ langsam
- **möglichst schnell** (niedrige Geräuschkdauer)
 - ⇒ niedrig



Regel: Lärmreduktion an der Quelle ist die effizienteste Maßnahme!
 Schneller Höhengewinn wirkt sich nur direkt unter der Flugbahn aus !



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 23



Im Prinzip gibt es die drei oben ausgewiesenen Möglichkeiten, um leise abzufliegen. Diese Möglichkeiten widersprechen sich aber teilweise. So kann man den Triebwerksschub in Höhen- und/oder Geschwindigkeitsgewinn umsetzen. Die Auslegung dieses „Energy-Sharings“ beeinflusst neben dem Lärm aber auch noch andere Faktoren wie z.B. den Treibstoffverbrauch.

Zusätzlich sind externe Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dies sind z.B. die verfügbare Startstrecke oder lokale Höhen- und Geschwindigkeitsvorgaben durch die Flugsicherung. Auch meteorologische Faktoren wie Temperatur, Druck, Wind und Niederschlag spielen hier eine Rolle.

Nichtsdestoweniger haben die Erfahrungen aus Simulationsrechnungen gezeigt, dass die effizienteste Maßnahme zur Lärmreduktion am Immissionsort die Reduktion der Emission an der Quelle ist. Änderungen in der Flughöhe wirken sich nämlich hauptsächlich direkt unter der Flugbahn aus – die gerade beim Abflug aber möglichst über unbewohntes Gebiet geführt wird. Mit zunehmendem seitlichen Abstand nimmt der Höheneffekt auf die Dämpfung aber ab, weil sich die Ausbreitungsentfernungen für unterschiedliche Flughöhen einander annähern (Satz des Pythagoras). Änderungen in der Emission wirken sich demgegenüber unabhängig von der Entfernung aus.

Zielsetzung beim Anflug: Höhe und Geschwindigkeit reduzieren

Wie fliegt man möglichst leise an?

- **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
 - ⇒ falls zu langsam ⇒ Erhöhung der Triebwerksleistung notwendig
- **mit möglichst wenig Widerstand** (wenig aerodynamischer Lärm)

Regel: Lärmreduktion an der Quelle ist die effizienteste Maßnahme !
Lange im Leerlauf fliegen und Klappen und Fahrwerk spät einsetzen !



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 24



Wie beim Start sind niedrige Triebwerksleistung und großer Abstand Möglichkeiten, leise anzufiegen. Die Geschwindigkeit sollte beim Anflug allerdings möglichst niedrig gehalten werden, um den Umströmungslärm zu minimieren. Aus diesem Grund sollten auch Klappen und Fahrwerk so spät wie möglich gesetzt werden (Fliegen in „Clean Configuration“).

Auch hier widersprechen sich die Maßnahmen zum Teil: Wenn lange hoch angefliegen wird, muss zum Schluss steil gesunken werden. Das heißt aber auch, dass Geschwindigkeit nur noch durch Ausfahren von Klappen oder Spoilern abgebaut werden kann, wodurch Umströmungslärm generiert wird.

In manchen Situationen während des Anflugs kann auch es passieren, dass die Verzögerung auf eine bestimmte Zielgeschwindigkeit zu schnell erfolgt ist (z.B. auf Grund von Vorgaben der Flugsicherung). In diesem Fall muss zusätzlicher Triebwerksschub eingesetzt werden um die Geschwindigkeit halten zu können und das langsame Fliegen wird kontraproduktiv.

Der Einsatz aller dieser Maßnahmen kann also durch Flugsicherungs- oder Sicherheitsaspekte auch limitiert oder sogar ganz ausgeschlossen werden. Denn beim Anflug müssen immer Vorgaben für Zeiten, Höhen und Abstände durch die Fluglotsen eingehalten werden. Außerdem geht Sicherheit immer vor, so dass letztendlich die Entscheidung über den Einsatz von Schub und Auftriebshilfen durch den Piloten erfolgt. Diese kann je nach Belastungssituation durchaus unterschiedlich ausfallen.

Vergleich von Anflugverfahren für A319 (BMW-Projekt **LAnAb**)

Untersuchte Verfahren:

- LDLP** Low-Drag-Low-Power (Standardverfahren)
- SLDLP** Optimierter Low-Drag-Low-Power-Approach mit steilem Endanflug
- SCDA** Segmented-Continuous-Descent-Approach

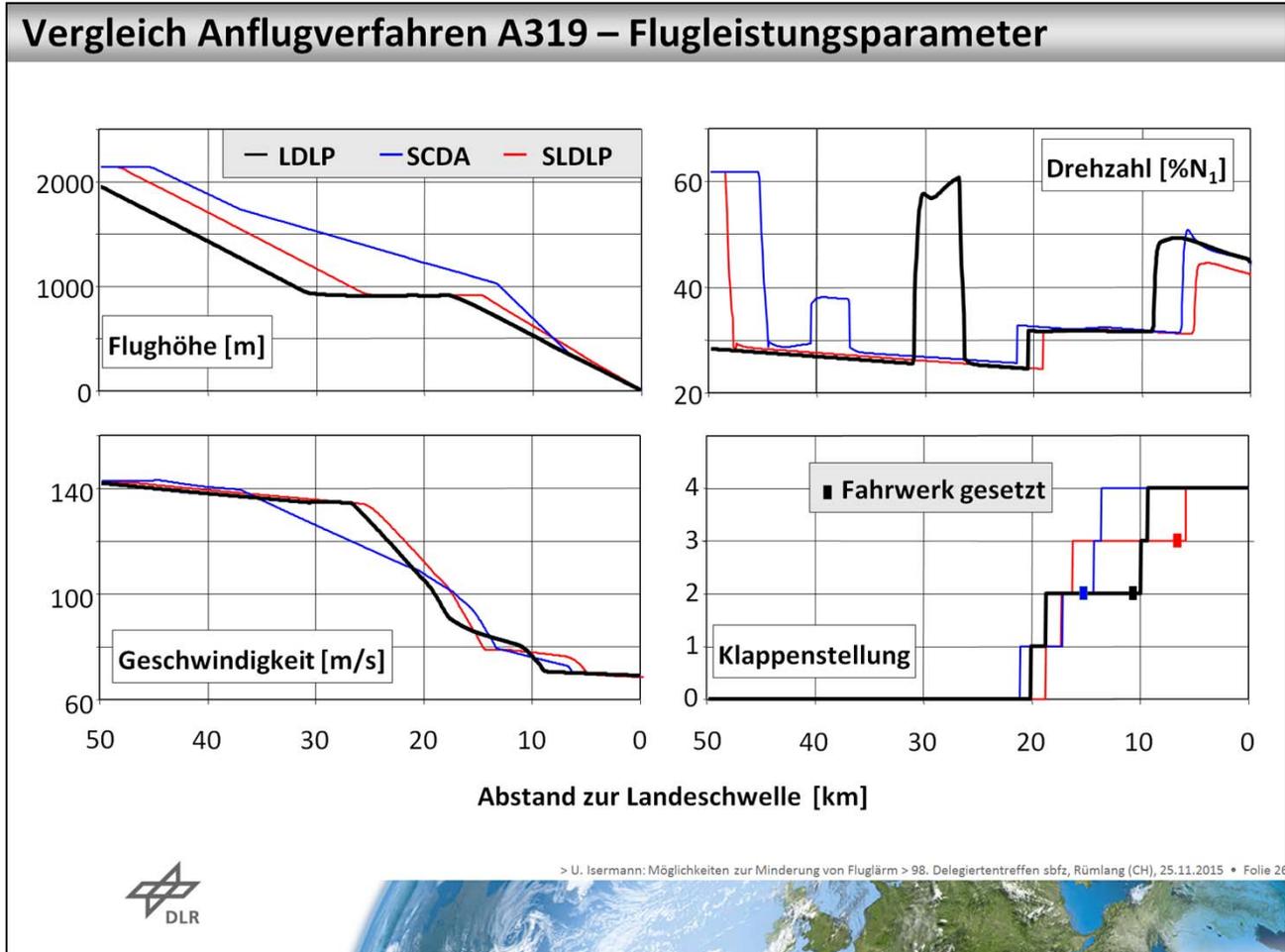


> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 25



Im folgenden werden drei Anflugverfahren für den A319 vorgestellt, die im Forschungsprojekt „Lärmarme An- und Abflugverfahren (LAnAb)“ untersucht wurden. Weitere Informationen finden sich in den am Ende dieses Vortrags ausgewiesenen Berichten.

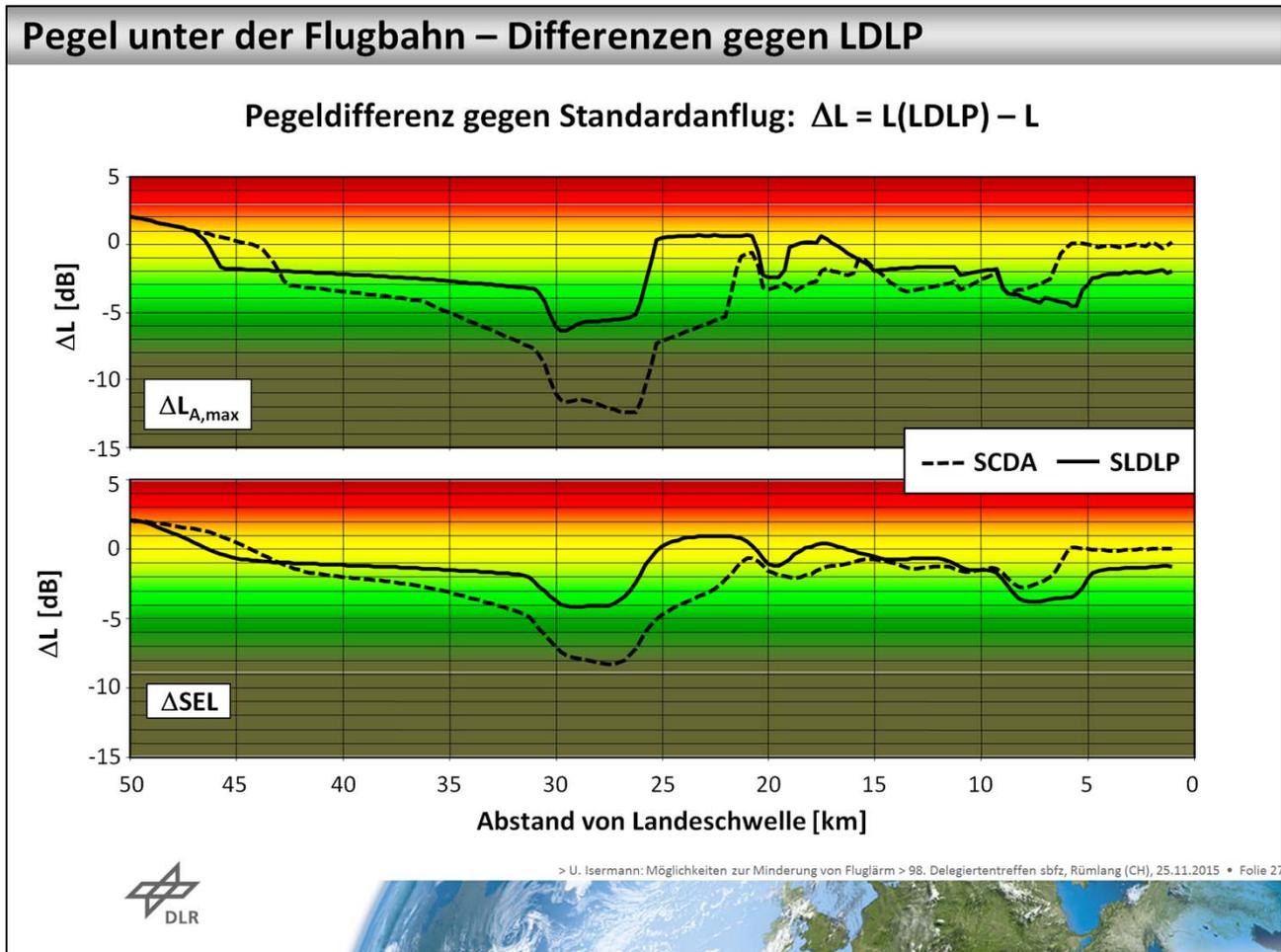
Das Standardverfahren ist das 1972 als „Frankfurter Verfahren“ eingeführte Low-Drag-Low-Power-Verfahren LDLP, bei dem nach dem Sinken aus dem Reiseflug auf einem Horizontalflugteil verzögert wird. Dieses Verfahren dient im Folgenden als Referenz.



Diese Folie zeigt für die drei Verfahren das Flughöhenprofil, den zugehörigen Verlauf des Triebwerksschubs, die zugehörigen Geschwindigkeiten und aerodynamischen Konfigurationen. Beim A319 gibt es 5 Konfigurationsstufen. In „Config 0“ ist keine Klappe gesetzt („Clean Configuration“). „Config 4“ ist die Konfiguration mit maximal ausgestellten Klappen. Der Punkt, an dem das Fahrgestell ausgefahren wird, ist ebenfalls eingetragen.

Man erkennt, dass das Standardverfahren nicht optimal geflogen wird – das Zwischenanflugsegment ist zu lang, so dass zunächst Schub gesetzt werden muss, um nicht zu stark zu verzögern. Es wird also bei der Referenz von einem „Worst-Case“-Fall ausgegangen. Dies ist allerdings nicht unrealistisch, da das Verfahren gerade bei hohem Verkehrsaufkommen in der Regel nicht optimal geflogen werden kann

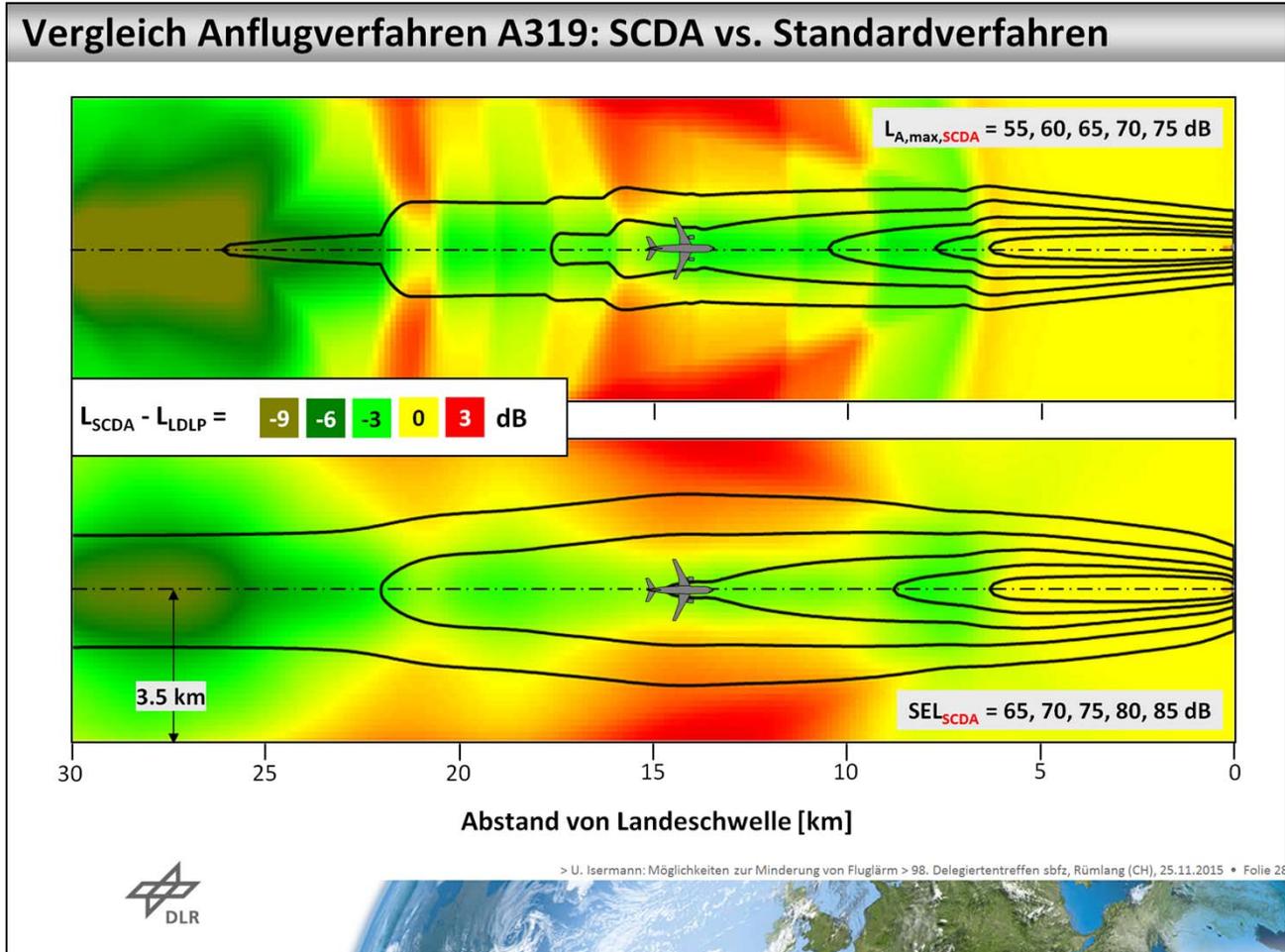
Man kann anhand der Informationen aus den vier Diagrammen die einzelnen Effekte wie Schubänderungen, Verzögerungen und Änderungen im Gleitwinkel gut mit den Änderungen der Konfiguration in Bezug bringen.



Hier sind die Pegeldifferenzen aufgetragen, die sich gegenüber dem Standardverfahren direkt unter der Flugbahn ergeben. Die durchgezogene Kurve ist die Differenz im A-bewerteten Maximalschallpegel. Die gestrichelte Kurve ist die Differenz im Sound Exposure Level SEL. Diese Größe ergibt sich aus der Integration des Schallpegelverlaufs eines Geräusches über die Zeit und kann vereinfachend als die Summe aus dem A-bewerteten Maximalschallpegel und einer Dauerkorrektur dargestellt werden*.

Die größten Änderungen ergeben sich in dem Bereich, in dem beim Zwischenanflug im Standardverfahren Schub gesetzt werden muss. Bei einem idealen LDLP würden dieser Dellen im Pegelverlauf nicht so ausgeprägt ausfallen. Orientiert man sich an den Werten direkt unter der Flugbahn, so wäre der SCDA dem optimierten Low-Drag-Low-Power-Verfahren SLDLP vorzuziehen.

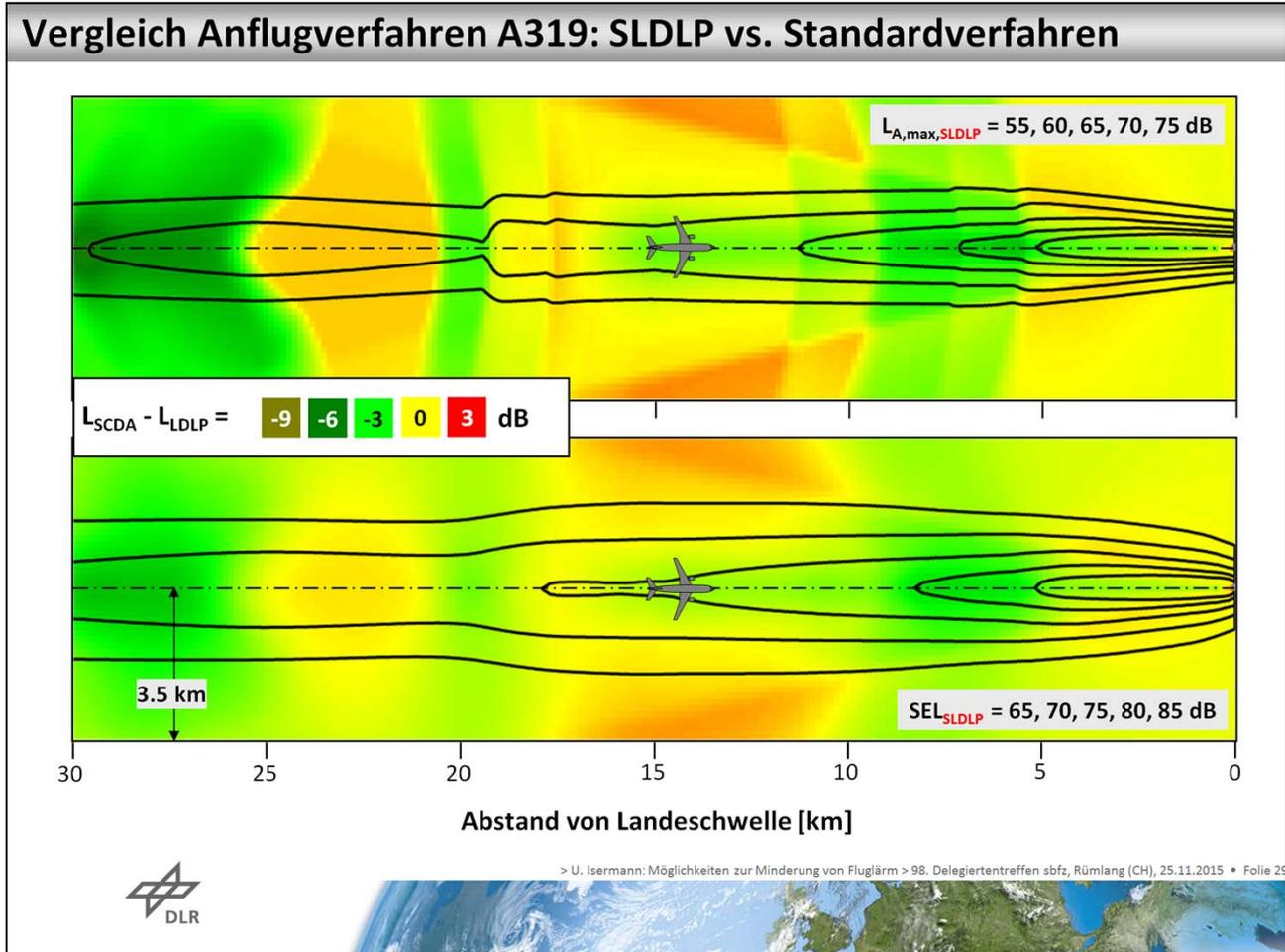
* Vereinfachend gesagt ist der Maximalpegel das, was man hören kann. Er korreliert z.B. mit Aufwachreaktionen und geht insofern in den Nachtbelastungs-Anteil des Zürcher Fluglärmindex ZFI ein. Der SEL der Beitrag eines Vorbeifluges zum äquivalenten Dauerschallpegel, der die Grundlage des Tagesbelastungs-Anteils des ZFI ist.



Die in der vorigen Folie ausgewiesenen Pegeldifferenzen sind hier flächig dargestellt. Außerdem sind noch die Konturen konstanten A-bewerteten Maximalschallpegels bzw. konstanten Einzelereignispegels SEL für das SCDA-Verfahren eingetragen.

In der Flächenbetrachtung zeigt sich, dass der SCDA zwar direkt unter der Flugbahn immer leiser ist als das Standardverfahren, dass seitlich davon aber auch Pegelerhöhungen auftreten. Die Gründe sind auch hier im Zusammenspiel von Flughöhe und Änderungen der Emission zu suchen. Diese ergeben sich hier entweder durch Änderungen im Schub oder aber in der Konfiguration und damit im Umströmungslärm.

Das Bild veranschaulicht die Effekte von Konfigurationsänderungen auf den Lärm sehr deutlich. Hier wird klar, dass ein Rechenmodell, das zur Auslegung von lärmarmen Anflugverfahren benutzt wird, auf jeden Fall in der Lage sein muss, diese Lärmkomponente separat zu modellieren.



Bezogen auf die Fläche liefert der optimierte Standardanflug SLDLP ein wesentlich besseres Bild als der modifizierte CDA – der Eindruck, der sich durch die Betrachtung der Pegeldifferenzen unter der Flugbahn eingestellt, gibt die Situation also nicht belastbar wieder.

Lärmoptimierte Flugverfahren sind immer ein Kompromiss !

Potenziale

- beim Abflug im wesentlichen Umverteilung von Lärm
- beim Anflug zusätzlich „echtes“ Lärminderungspotenzial
(optimales Ausnutzen der Schwerkraft bei minimalem Widerstand)

Der Einsatz muss an die lokale Siedlungsstruktur angepasst werden !

Einschränkende Anforderungen

- Gewährleistung der Sicherheit
- Abwickelbarkeit des Flugbetriebs
- Exakte Umsetzbarkeit in der Praxis
 - Faktor Technik (Avionik)
 - Faktor Mensch (Pilot / Fluglotse)

von Bedeutung beim Anflug



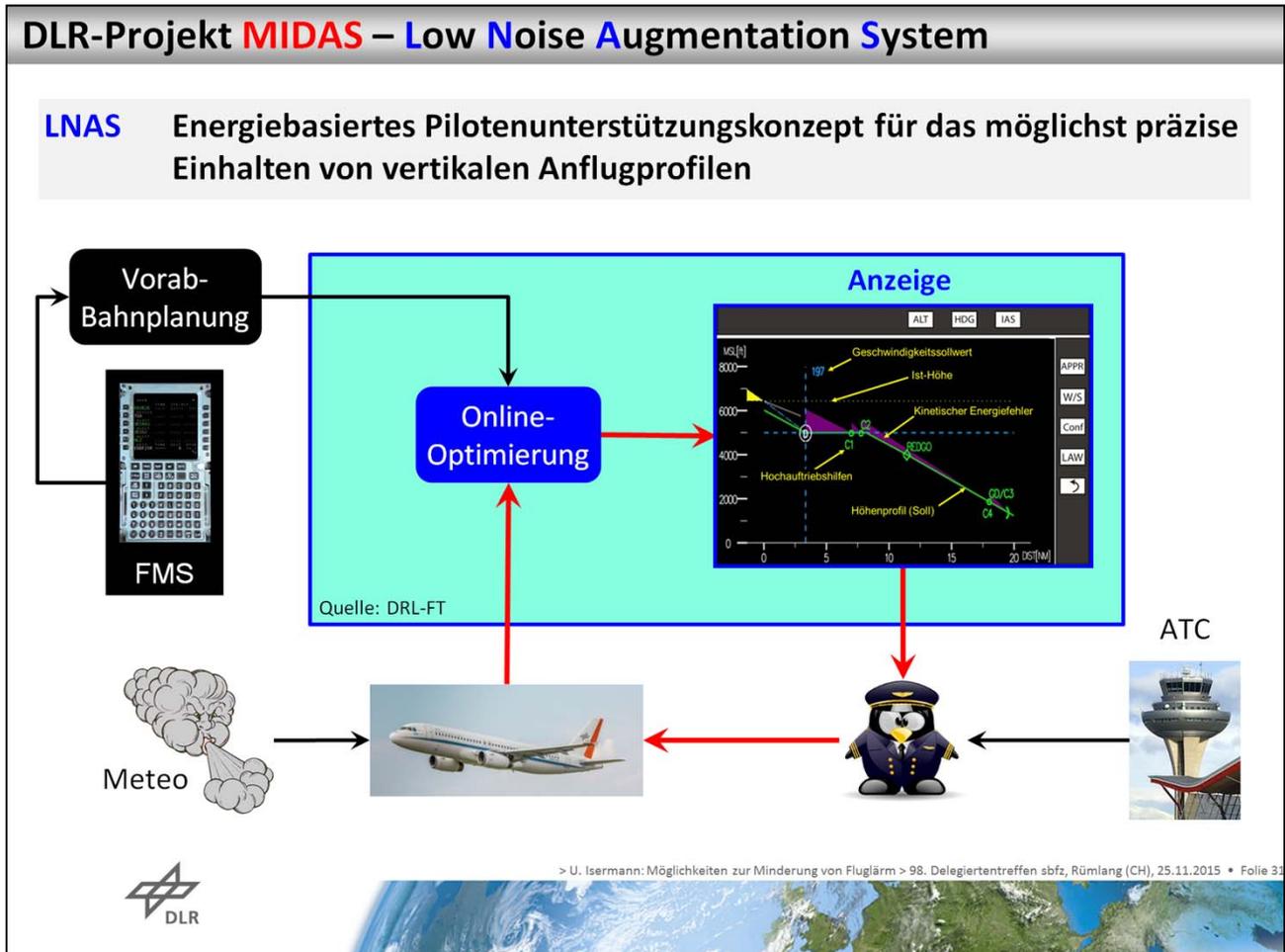
> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 30



Zusammenfassend kann man sagen, dass unterschiedliche Abflugverfahren den Lärm nur umverteilen. Die Konsequenz ist, dass die Wahl des Verfahrens der lokalen Struktur der Besiedlung in Bezug auf die Abflugstrecke angepasst werden muss. Diese Anpassung sollte idealerweise noch bezogen auf Flugzeugtypen oder –kategorien erfolgen. In der Praxis scheint dies aber derzeit nicht immer umsetzbar zu sein.

Auch beim Anflug muss das Verfahren der lokalen Situation angepasst werden. Allerdings gibt es hier auch „echtes“ Potenzial zur Lärminderung, da durch geschicktes Ausnutzen der Schwerkraft durchaus mit wenig Widerstand verzögert und Höhe abgebaut werden kann.

Allerdings ist gerade beim Anflug eine exakte Verfahrensumsetzung notwendig. Flugsimulatorstudien haben gezeigt, dass geringe Abweichungen von einzuhaltenden Zielhöhen oder -geschwindigkeiten das vorzeitige Setzen von Klappen oder auch Schuberhöhungen nötig machen können und damit im schlimmsten Fall zur Erhöhung des Lärms gegenüber einem Anflug im Standardverfahren führen. Hier spielt sowohl der Faktor Mensch als auch die Effizienz der technischen Ausrüstung eine Rolle.



Am DLR-Institut für Flugsystemtechnik – das sich schon seit längerem mit der Auslegung von lärmoptimierten Flugverfahren befasst – wurde ein Pilotenunterstützungssystem entwickelt, das ein möglichst präzises Einhalten von vertikalen Anflugprofilen gewährleisten soll. Dieses „Low Noise Augmentation System (LNAS)“ wird derzeit im Rahmen der DLR-Projekts MIDAS weiterentwickelt und in verschiedenen Flugversuchen in der Praxis getestet.

Beim Anflug muss sowohl Lageenergie (Höhe) als auch Bewegungsenergie (Geschwindigkeit) abgebaut werden. LNAS überwacht vereinfachend gesagt den Energiestatus des Flugzeuges und teilt dem Piloten mit, ob das Flugzeug sich in der vom Flight-Management-System (FMS) erstellten Vorab-Bahnplanung befindet oder ob Korrekturen notwendig sind. Dabei läuft das System in einer Schleife, in die die aktuellen Anforderungen des Fluglotsen (ATM) und die meteorologische Situation (vor allem Wind) eingehen.

Raumordnung & Lärmmanagement – Maßnahmen & Instrumente

- **Optimierte Flächennutzung**
 - Lärmschutzzonen
 - Bauleitplanung
- **Finanzielle Instrumente**
 - lärmabhängige Landegebühren
 - Entschädigungen für Betroffene
 - Immobilienaufkauf
- **Passiver Schallschutz**
 - baulicher Schallschutz
 - Bauverbotszonen
- **Fluglärmüberwachung und Kommunikation**
 - Monitoring und Information
 - Beschwerdemanagement



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 32



Vorgabe von Lärmschutzzonen und lärmbezogene Bauleitplanung sind Instrumente, die ebenso wie finanzielle Instrumente schon weitgehend umgesetzt werden. Dies gilt ebenso für den passiven Schallschutz – wobei hier gesagt werden muss, dass baulicher Schallschutz (z.B. Lärmschutzfenster) lediglich Symptombekämpfung darstellt und daher erst dann eingesetzt werden sollte, wenn Mittel des aktiven Schallschutzes keine ausreichende Wirkung zeigen. Alle diese Maßnahmen werden in der Praxis aber auch kontrovers diskutiert – insbesondere die Frage nach wirkungsgerechten Grenzwerten und Schutzzielen.

Von wichtiger Bedeutung, aber in der Vergangenheit oft vernachlässigt, sind die Fragen der Kommunikation und Information. Mit den neuen DIN-Vorgaben zur Veröffentlichung der Messungen von Fluglärmüberwachungsanlagen, dem Umweltinformationsgesetz und letztendlich auch den Initiativen der Betroffenenverbände im WWW hat sich diese Situation zwar verbessert; letztendlich werden die Möglichkeiten gerade der Kommunikation aber sicher noch nicht vollständig ausgereizt.

Lärmbedingte Betriebsbeschränkungen - Beispiele

- **Flugverbote**
 - während lärmsensibler Zeiten (Nacht, Tagesrandstunden)
 - für laute Flugzeugmuster
 - kombinierte Verbote

- **Bewegungskontingente**
 - Gesamtbetrieb
 - in Teilzeiten (z.B. Nachts)

- **Lärmkontingente**
 - Flächenkontingentierung (Referenz-Lärmkonturen)
 - Volumenkontingentierung (Lärmpunkte-Systeme)
 - wirkungsbezogene Kontingentierung (Zürcher Fluglärmindex)



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 33



Bekannte Beispiele für Flugverbote oder Bewegungskontingente sind Nachtflugverbote oder –beschränkungen oder auch zeitliche Ausmusterungsvorgaben für laute Flugzeuge.

Ansätze für Lärmkontingente sind demgegenüber etwa die Vorgabe eines Gebietes, außerhalb dessen eine bestimmte Lärmbelastung nicht überschritten werden darf, oder aber die Vorgabe eines einzuhaltenden Lärmvolumens (etwa auf der Basis eines Lärmpunktesystems).

Neu in diesem Bereich der Kontingentierung sind wirkungsbezogene Kontingente, bei der die Lärmbelastung z.B. in eine Anzahl hochbelastigter Personen umgerechnet wird. Beispiel ist der Zürcher Fluglärmindex ZFI. Diese Konzepte müssen sich als Kontingentierungsansätze noch bewähren. Sie bieten allerdings deutlich mehr Möglichkeiten in der Anwendung, insbesondere im Bereich der Auslegung und Kontrolle von Maßnahmen des aktiven Schallschutzes (wie z.B. die Anwendung des Frankfurter Index im Rahmen der Aktivitäten des Forums Flughafen und Region).

Zusammenfassung

➤ Die technische Lärminderung am Fluggerät

- hat eine neue Stufe erreicht (3. Turbofan-Generation). Die weitgehende Umsetzung wird aber erst in etwa 2 Dekaden erfolgt sein.

➤ Operationelle Maßnahmen

- bieten im wesentlichen Potential zur Lärmumverteilung und müssen daher lokal ausgelegt werden.
- erfordern zur sachgerechten und effizienten Auslegung den Einsatz hochwertiger Simulationswerkzeuge und Datengrundlagen.

➤ Raumordnung, Lärmmanagement (einschl. Betriebsbeschränkungen)

- sind weitgehend im Einsatz, aber teilweise immer noch heftig diskutiert.
- Neue Konzepte (Frankfurter Index) sind noch in der Erprobung.



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 34



Hier sei noch einmal auf die am Ende aufgeführten Links hingewiesen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Quelle: Delta Acoustics, DK



> U. Isermann: Möglichkeiten zur Minderung von Fluglärm > 98. Delegiertentreffen sbfz, Rümlang (CH), 25.11.2015 • Folie 35



Downloads zum Thema

DLR-Projekte „Leiser Flugverkehr“

http://www.dlr.de/as/Desktopdefault.aspx/tabid-192/402_read-1633/

Projekt „Lärmarme An- und Abflugverfahren (LAnAb)“

<http://www.fv-leiserverkehr.de/> (im Bereich „Arbeitskreise > Leises Verkehrsflugzeug“)

Forschungsverbund „Leiser Verkehr“

<http://www.fv-leiserverkehr.de/> (hier finden sich auch zahlreiche Links)

ALD-Veranstaltung „Minderung des Fluglärms (Berlin, 19.06.2012)“

<http://www.ald-laerm.de/downloads/veranstaltungen-des-ald> (mehrere Beiträge zum Thema)