

UBA Forum mobil & nachhaltig – Luftverkehr der Zukunft • Berlin, 6./7. November 2019  
Workshop 5: Flugverfahren – Routen sicher und lärmarm gestalten

## Wie kann man lärmarm fliegen ?

### Potenziale und Grenzen lärmoptimierter Flugprozeduren

Ullrich Isermann  
DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen



Dieser Vortrag über Lärmoptimierte Flugprozeduren kann aufgrund der Komplexität der Thematik nur eine grobe Übersicht über die physikalischen Grundlagen geben. Einige weitergehende Links zum Thema sind auf der letzten Seite der Präsentation zu finden.

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.

Dr. Ullrich Isermann  
DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik  
Bunsenstrasse 10  
37073 Göttingen

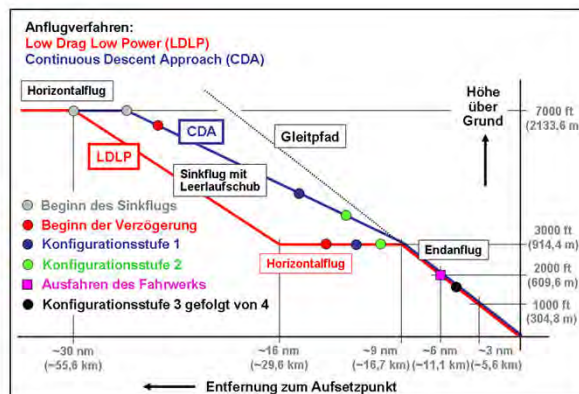
Tel. 0551 709 2255  
Fax 0551 709 2404  
E-Mail ullrich.isermann@dlr.de

## Ansätze für lärmoptimiertes Fliegen

### Optimierung der „Flugprozedur“

durch Variation von

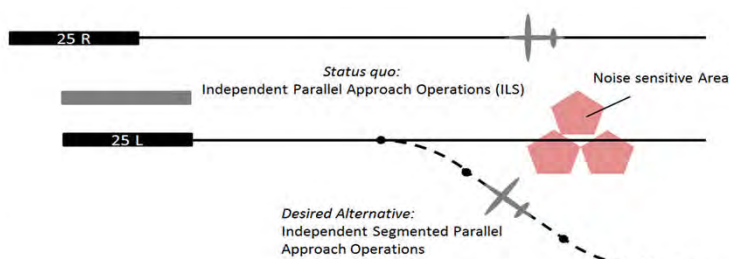
- Flughöhe
- Fluggeschwindigkeit
- Triebwerksleistung
- aerodynamischer Konfiguration



### Optimierung des „Flugverfahrens“

z.B. durch ATM-Vorgaben zur

- lateralen Führung
- Höhen und Geschwindigkeiten



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 2

Ein Ansatz für lärmarmes Fliegen ist die Optimierung der „Flugprozedur“, d.h. des vertikalen Flugprofils. Das umfasst eine geeignete Variation von Flughöhe, Fluggeschwindigkeit, Triebwerksleistung sowie aerodynamischer Konfiguration (also dem Setzen von Klappen, Spoilern und Fahrwerken).

Eine zweite Möglichkeit ist die Optimierung des „Flugverfahrens“, d.h. des horizontalen Verlaufs der Bahntrajektorie. Sie fällt weitestgehend in den Bereich der Flugsicherung und umfasst z.B. die Ausweisung von „Minimum Noise Routings“ für Abflüge im Luftfahrthandbuch oder auch von Vorgaben für die Flächennavigation („Area Navigation“ RNAV). Derartige Optimierungen können sehr effizient sein, da sie sich an der Struktur der Besiedlung orientieren und somit ein Überfliegen bewohnter Gebiete vermeiden können.

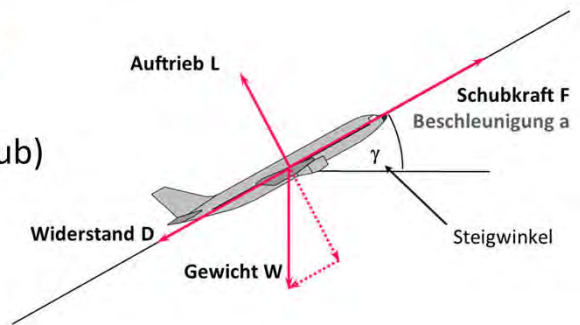
Im vorliegenden Vortrag wird auf horizontale Optimierung nicht eingegangen, da diese Problematik in anderen Vorträgen des Workshops 5 (M. Hopp: „Beitrag zur Nachhaltigkeit durch Optimierung von Flugverfahren und –prozessen“ und A. Biestmann: „Sicher, geordnet, flüssig und umweltoptimiert für alle Luftraumnutzer“) adressiert wurde.

## Ziele und Anforderungen bei An- und Abflug

**Abflug:** sicher Höhe und Geschwindigkeit gewinnen

**notwendig:** primär effiziente Triebwerke (Schub)

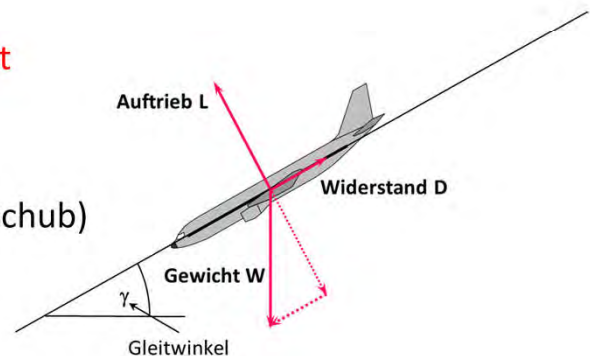
$$\begin{aligned} F - W \cdot \sin \gamma - D &= m \cdot a \\ L - W \cdot \cos \gamma &= 0 \end{aligned}$$



**Anflug:** sicher Höhe und Geschwindigkeit abbauen

**notwendig:** primär gute aerodynamische Eigenschaften (im Idealfall kein Schub)

$$\begin{aligned} D - W \cdot \sin \gamma &= 0 \\ L - W \cdot \cos \gamma &= 0 \end{aligned}$$



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 3

Bei einem Abflug geht es um das Gewinnen von Flughöhe und Fluggeschwindigkeit, beim Anflug um den Abbau beider Größen. In beiden Fällen muss der Vorgang sicher durchgeführt werden können. Aspekte wie Treibstoffverbrauch oder Lärmminimierung am Boden sind von sekundärer Bedeutung.

Das Bild veranschaulicht ein einfaches Massenpunktmodell für flugmechanische Berechnungen, das von einem Kräftegleichgewicht ausgeht. Ein solches Modell ist z.B. im ECAC Document 29 beschrieben (Download über <http://www.ecac-ceac.org/>). Es ist trotz der vereinfachenden Annahmen vollkommen ausreichend als Grundlage für nachgeschaltete akustische Berechnungen.

Beim Abflug kompensiert der Auftrieb einen Teil des Flugzeuggewichts. Der Triebwerksschub kompensiert den restlichen Anteil des Gewichts sowie den aerodynamische Widerstand. Im nicht beschleunigten Flug bestimmt dieses Kräftegleichgewicht den Steigwinkel. Im beschleunigten Flug wird ein Teil des Schubes zur Geschwindigkeitserhöhung verwendet. Er steht dann nicht mehr zum Steigen zur Verfügung, der Steigwinkel fällt daher geringer aus.

Beim Anflug sind die Kräfteverhältnisse am Flugzeug insofern anders, als die Schwerkraft hier nicht überwunden werden muss, sondern den Prozess unterstützt. Das heißt, dass im Idealfall kein Triebwerksschub benötigt wird (wie beim Segelflug).

Das Verhältnis von Widerstand zu Auftrieb ist dabei der Tangens des Gleitwinkels. Dieses Verhältnis nimmt mit zunehmendem Landeklappenwinkel zu, so dass durch deren Ausfahren ein größerer Gleitwinkel resultiert. Wird der Winkel nicht optimal eingestellt, so beschleunigt oder verzögert das Flugzeug.

## Auslegung von lärmoptimierten Flugprozeduren

### Grundlegendes

- Lärmoptimierte Flugprozeduren können nur auf der Basis von Modellrechnungen effizient und kostengünstig ausgelegt werden.
- Abflugprozeduren ↗ können mit „best practice“ Rechenverfahren (AzB, INM) ausgelegt werden.
- Für Anflugprozeduren ↘ muss Umströmungslärm berücksichtigt werden. Hier sind höherwertige Verfahren nötig (z.B. das DLR-Modell SIMUL).

**Zielsetzung beachten:**

- ↗ Sicher Höhe und Geschwindigkeit gewinnen
- ↘ Sicher Höhe und Geschwindigkeit abbauen

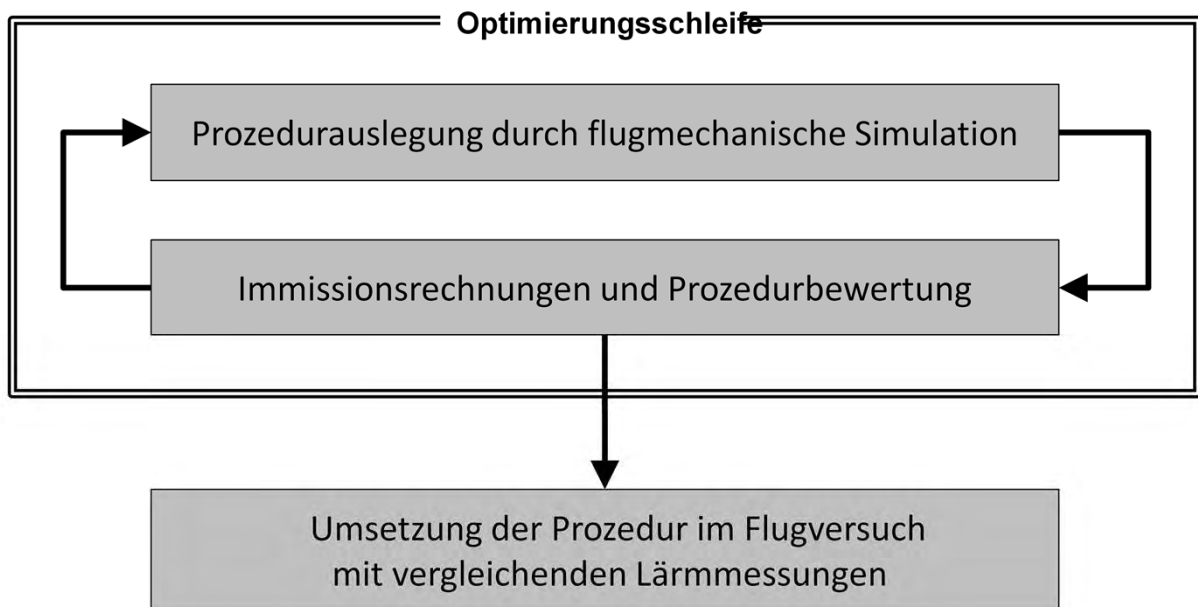


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 4



Die Auslegung von lärmoptimierten Flugprozeduren ist in der Praxis nur mit Simulationsrechnungen (sowohl für Flugmechanik als auch Lärm) sinnvoll. Dabei ist die Wahl des geeigneten Berechnungsmodells essenziell – es muss der Aufgabenstellung angepasst sein. Insbesondere bei der Modellierung von Anflügen, bei der Umströmungslärm berücksichtigt werden muss, sind hier hochwertige Modelle aus dem wissenschaftlichen Bereich wie die DLR-Modelle SIMUL oder PANAM notwendig.

## Auslegungsprozess – Optimierung und Validierung

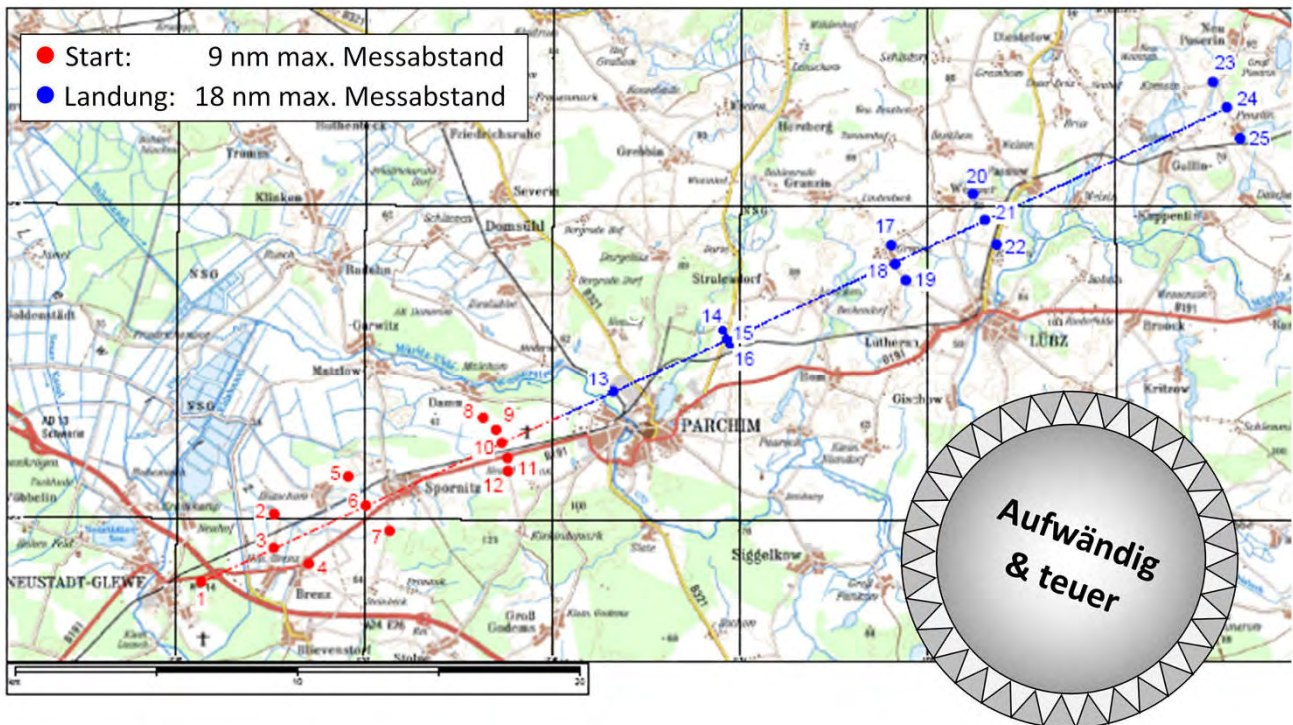


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 5

Die Auslegung einer Prozedur wird in der Regel durch eine Simulation, die in einer Optimierungsschleife abläuft, realisiert. Das für die Optimierung verwendete Gütekriterium kann dabei unterschiedlich ausfallen. Denkbar ist die Orientierung an der Belastung (messbare Immissionswerte) oder aber auch an der Lärmwirkung (über ein Expositions-Wirkungs-Kriterium, das die gemessene Belastung auf eine Wirkung abbildet und diese ggf. mit einer hinterlegte lokalen Bevölkerungsstruktur verschneidet). Außerdem kann das Gütekriterium auch tageszeitspezifisch ausgelegt werden (z.B. tagsüber Anzahl Hochbelastigter, nachts Anzahl von Aufwachreaktionen).

Die Validierung der Prozedur ist in der Praxis oft auf eine Auswertung von Messdaten z.B. von Fluglärmüberwachungsanlagen vor und nach der Einführung der Prozedur, beschränkt.

## Validierung im Idealfall (Projekt LAnAb, Baltic Airport Parchim)



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie

Hochwertige Validierungsuntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen sind in der Praxis aus Kostengründen kaum realisierbar. Ein Beispiel für eine derartige Validierung war die Messkampagne, die im Rahmen des LAnAb-Projektes unter Federführung von Lufthansa und DLR im Jahr 2006 am Baltic Airport in Parchim durchgeführt wurde (siehe Link auf der letzten Folie). Hier wurde an 25 bemannten Messstationen, die über einen Bereich von ca. 50 km positioniert waren, gemessen. Die Messergebnisse wurden hier auch zur Validierung des DLR Rechenprogramms SIMUL herangezogen. Dazu wurden die realen Flugbahndaten (Daten des Flugschreibers) in das Rechenprogramm eingefüttert. Darauf basierend wurde eine Lärmberechnung für die 25 Messstellen durchgeführt und mit den Messwerten verglichen.

## Lärmarm Abfliegen ...

### Möglichst hoch (großer Abstand zum Empfänger)

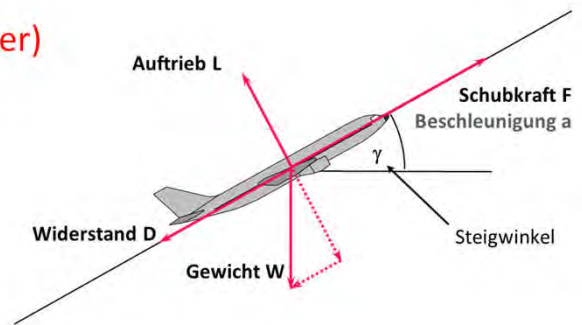
☞ geht auf Kosten der Beschleunigung

### Möglichst schnell (kurze Geräuschkdauer)

☞ geht auf Kosten des Steigvermögens

### Möglichst geringer Schub (weniger Triebwerks-Emissionen)

☞ geht auf Kosten von Beschleunigungs- und Steigvermögen



### Unvorteilhaft:

- ☞ geringe verfügbare Startrollstrecke
- ☞ Höhen-/Geschwindigkeitsvorgaben durch ATC
- ☞ Kurven im Streckenverlauf



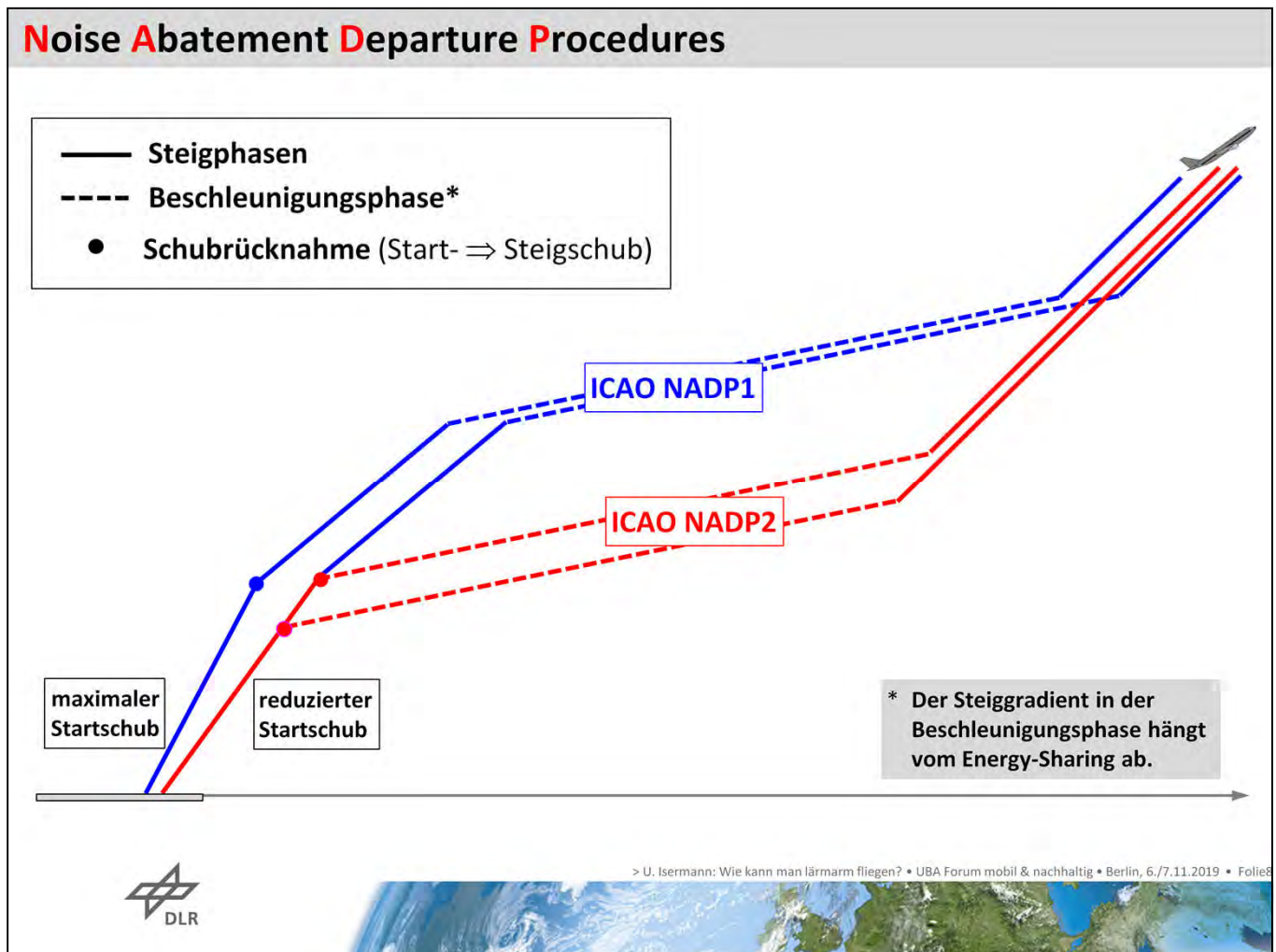
> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 7

Im Prinzip gibt es die drei oben ausgewiesenen Möglichkeiten, um leise abzufliegen. Diese widersprechen sich aber teilweise: So kann man den Triebwerksschub in Höhen- oder Geschwindigkeitsgewinn umsetzen. Diese Verteilung auf beide Komponenten (das „Energy-Sharing“) beeinflusst neben dem Lärm auch noch andere Größen wie z.B. den Treibstoffverbrauch.

Zusätzlich sind externe Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dies sind neben den oben ausgewiesenen z.B. noch meteorologische Faktoren wie Temperatur, Druck, Wind und Niederschlag.

Unvorteilhaft sind Beschränkungen in der verfügbaren Rollstrecke, die z.B. Anwendung von reduziertem Startschub verhindern, oder aber Kurven im Flugstreckenverlauf, weil die Energie, die hier zum Kompensieren der Fliehkraft benötigt wird, nicht mehr zum Steigen oder Beschleunigen zur Verfügung steht.

Höhen und Geschwindigkeitsvorgaben durch die Flugsicherung („Air Traffic Control ATC“) können die optimale Ausführung von Flugprozeduren be- oder sogar verhindern.



Beim Abflug wird üblicherweise nach dem Abheben bis auf eine bestimmte Zielhöhe (üblicherweise zwischen 800 und 1500 Fuß) mit konstanter Geschwindigkeit gestiegen. Dies erfolgt bei modernen Flugzeugen in der Regel nicht mit dem maximal verfügbaren Startschub, sondern mit reduzierter Startleistung. Ist die Zielhöhe erreicht, so wird der Schub auf Steigschub reduziert („Cutback“). Die Variation dieser Cutback-Höhe bildet einen der Ansatzpunkte für die Lärmoptimierung von Abflugprozeduren.

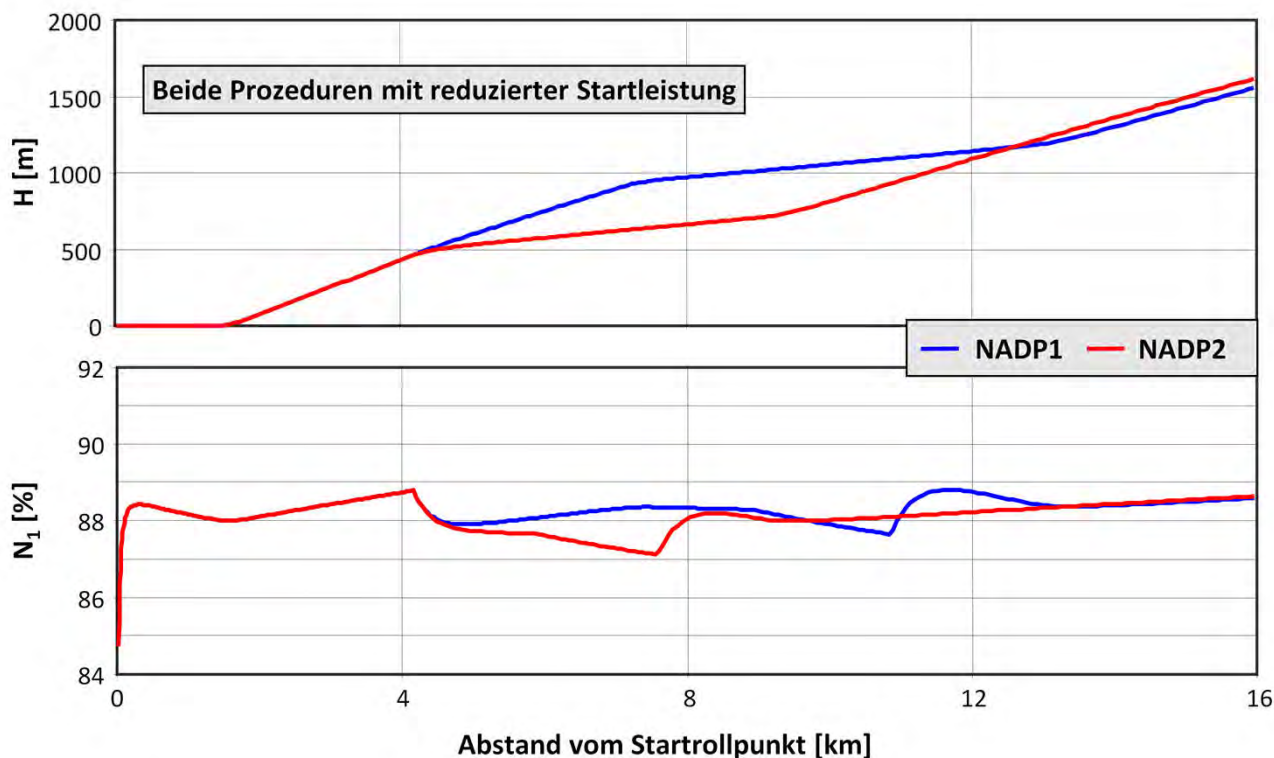
Anschließend kann man im Prinzip zwei Formen von charakteristischen Abflugprozeduren unterscheiden, die von der ICAO als „Noise Abatement Departure Procedures NADP“ definiert sind.

Die eine Form wird als NADP1 (früher ICAO-A) bezeichnet. Sie wurde in Deutschland als „Steilstartverfahren“ 1972 eingeführt. Hier wird der Schub nach dem Cutback zunächst bis zum Erreichen einer zweiten Zielhöhe (in der Regel 3000 Fuß) vollständig in Steigleistung umgesetzt.

Bei der NADP2-Prozedur (früher ICAO-B) wird demgegenüber nach dem Cutback soweit beschleunigt, bis die Klappen eingefahren werden können. Anschließend erfolgt eine weitere Beschleunigung, bis diejenige Geschwindigkeit erreicht ist, mit der dann ohne weitere Beschleunigung auf Reiseflughöhe gestiegen wird. Diese beiden Segmente werden bei der NADP1-Prozedur erst nach dem zweiten Steigsegment erfolgen.



## Vergleich Abflugprozeduren A319 – Höhe und Triebwerksleistung

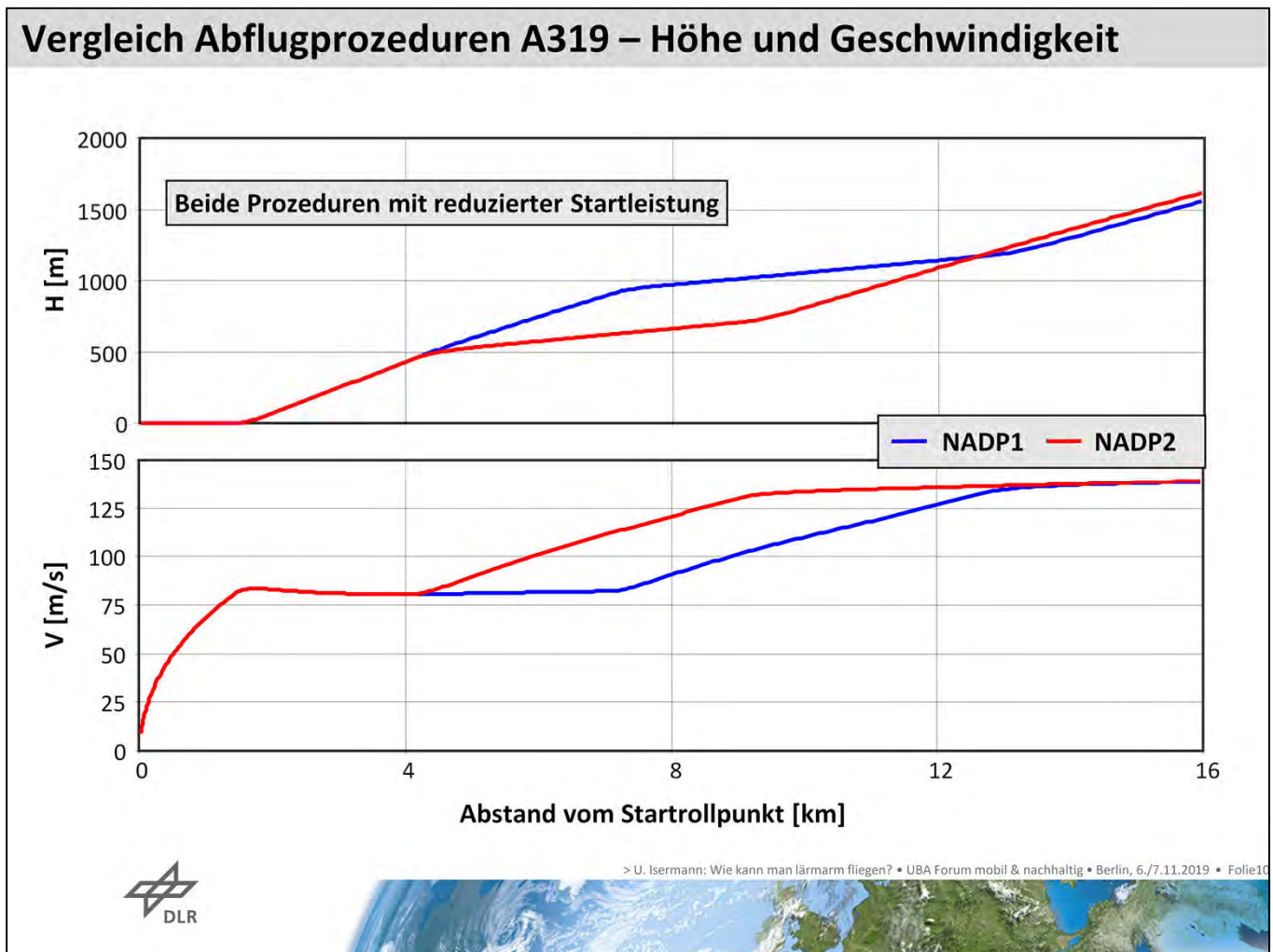


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 9

Die folgenden Folien zeigen die Ergebnisse von Vergleichsrechnungen für einen Airbus A319 mit dem DLR-Rechenprogramm SIMUL. Diesen Berechnungen lagen die im Rahmen des LANAb-Projektes am Flughafen Parchim durchgeführten Flugversuche zu Grunde. Mehr Informationen dazu finden sich in den auf der letzten Folie ausgewiesenen Berichten. Die NADP2-Prozedur wird in diesen Berichten in Anlehnung an die Nomenklatur von Lufthansa als MATA („modifiziertes ATA-Verfahren“) bezeichnet. Dargestellt sind Flughöhenverlauf und Verlauf der Triebwerksleistung (ausgedrückt in Prozent der Nenndrehzahl des Fans) als Funktion der ab Startrollpunkt zurückgelegten Strecke.

Die Schubrücknahme findet in beiden Fällen in einer Flughöhe von 1500 Fuß statt. Bei der NADP1-Prozedur wird dann weiter bis 3000 Fuß gestiegen bevor beschleunigt wird.

Der Start erfolgt mit einer niedrigen Leistungssetzung (FLEX-Power), die Schubrücknahme fällt also nur gering aus.

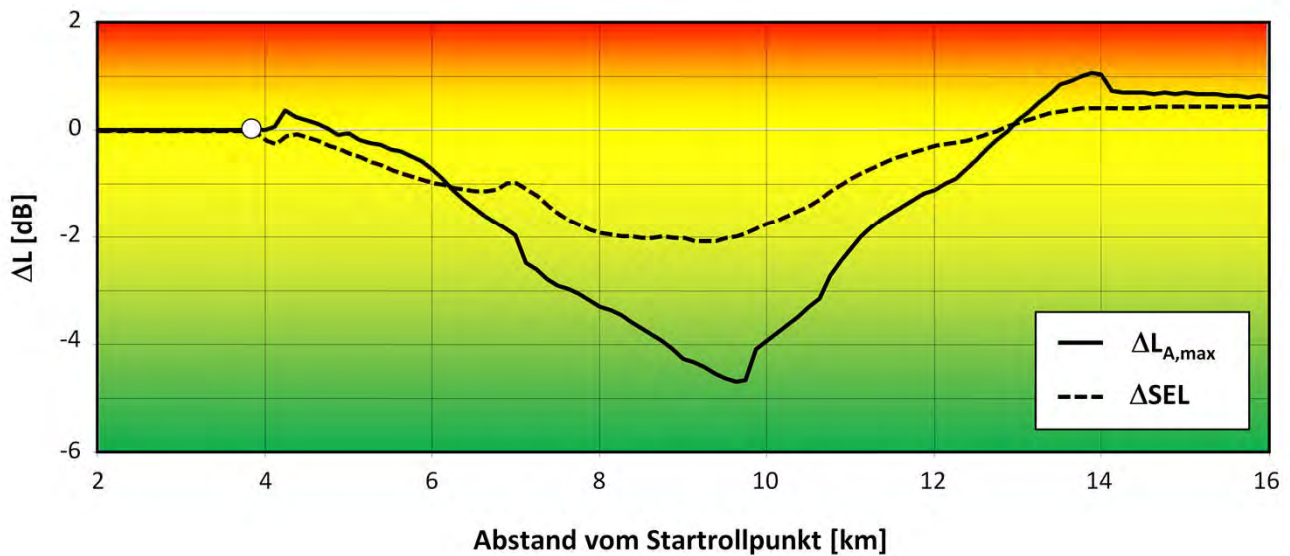


Diese Folie zeigt noch einmal den Verlauf der Flughöhe sowie den der Fluggeschwindigkeit

## Abflug A319 – Vergleich NADP1/NADP2 (Berechnung mit SIMUL)

Pegeldifferenz  $\Delta L = L_{\text{NADP1}} - L_{\text{NADP2}}$  unter der Flugbahn

○ Schubrücknahme in beiden Fällen 1500 ft

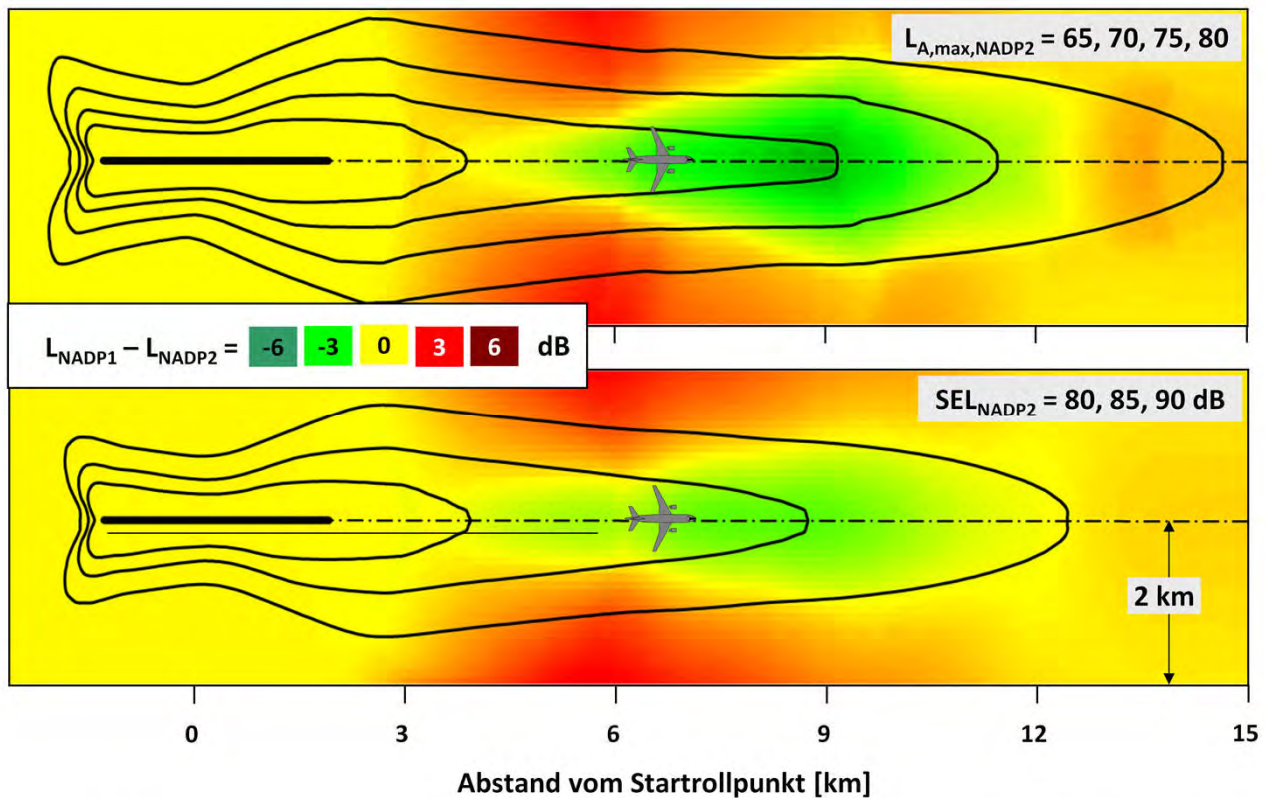


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 11

Hier sind die Pegeldifferenzen aufgetragen, die sich zwischen den beiden Prozeduren 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 wird in Deutschland als Einzelereignis-Schalldruckexpositionspegel  $L_{pAeq}$  bezeichnet (z.B. DIN 45643). Sie 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.

Erwartungsgemäß ergeben sich die größten Pegelunterschiede im Abstand von 4 bis 12 km vom Startrollpunkt. Diese fallen beim Maximalpegel deutlicher aus, da sich die Flughöhe auf die Geräuschkdauer gerade entgegengesetzt wie auf den Maximalpegel auswirkt (große Höhe, große Dauer). Außerdem nimmt die Dauer mit zunehmender Geschwindigkeit ab.

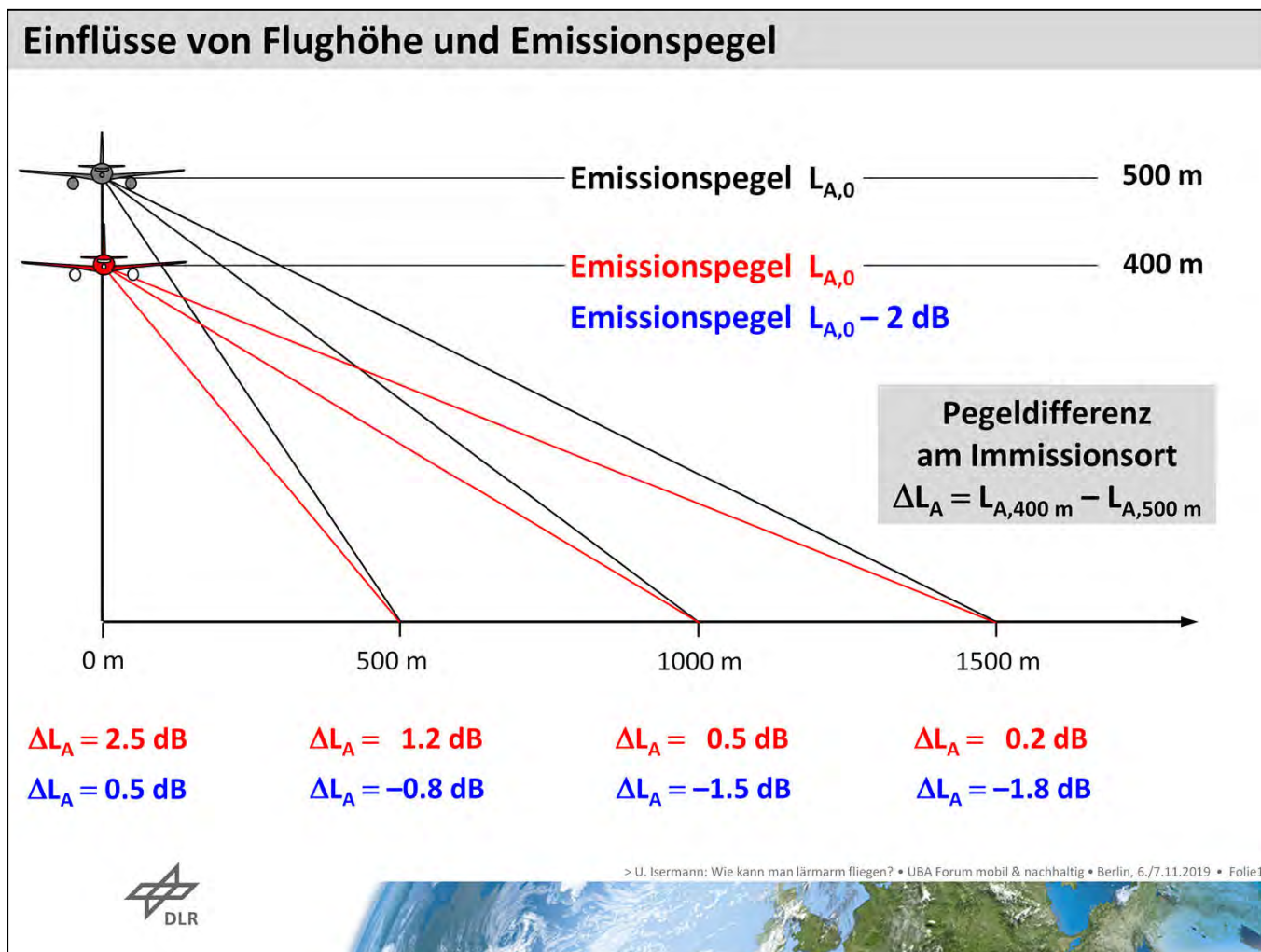
## Abflug A319 – Vergleich NADP1/NADP2 (Berechnung mit SIMUL)



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 12

Die in der vorigen Folie ausgewiesenen Pegeldifferenzen sind hier flächig dargestellt. Zusätzlich sind noch die Konturen konstanten A-bewerteten Maximalschallpegels bzw. konstanten Sound Exposure Levels SEL für die NADP2-Prozedur eingetragen.

Hier ergibt sich ein deutlich anderes Bild als bei einer Analyse der Pegel direkt unter der Flugbahn, bei der das Steilstartverfahren deutlich vorteilhafter erscheint. Bezieht man nämlich auch die Bereiche seitlich der Flugbahn mit ein, so fällt diese Tendenz nicht mehr so eindeutig aus. Hier ergeben sich durch das Steilstartverfahren z.T. deutlich höhere Pegel, weil hier im Bereich von 4 bis 8 km ein höherer Schub als bei der NADP2-Prozedur eingestellt ist.



Der Grund für diese Tatsache liegt im Wesentlichen im Abfallverhalten des Maximalschallpegels mit der Entfernung, was in dieser Folie exemplarisch dargestellt ist.

Ausgewiesen sind hier die Differenzen, die sich im Maximalpegel an Immissionsorten unter bzw. seitlich der Flugbahn für Überflüge in 400 und 500 m ergeben. Diese Differenzen nehmen mit zunehmendem seitlichem Abstand ab, da sich hier die Längen der beiden Ausbreitungswege des Schalls einander annähern. Die Berechnungen basieren auf einem typischen Frequenzspektrum für ein modernes Strahlflugzeug und berücksichtigen alle relevanten Ausbreitungseffekte.

Geht man von gleichen A-bewerteten Emissionspegeln  $L_{A,0}$  aus, so bleiben die Pegeldifferenzen natürlich positiv. Setzt man aber den Emissionspegel für die Höhe von 400 m um 2 dB niedriger an, so ändern die Differenzen bei etwa 500 m seitlichem Abstand das Vorzeichen – die Quelle in 500 m Höhe erzeugt also höhere Pegel am Immissionsort als die niedriger positionierte Quelle.

Ein Einstellen niedrigerer Emissionswerte der Quelle ist also unter Lärminderungsaspekten oft effektiver als eine größere Überflughöhe, da die Emissionswerte als Eigenschaften der Quelle durch Abstandsveränderungen nicht beeinflusst werden.

## Lärmarm Anfliegen ...

**Möglichst im Leerlauf (weniger Triebwerks-Emissionen)**

**Möglichst lange hoch (großer Abstand zum Empfänger)**

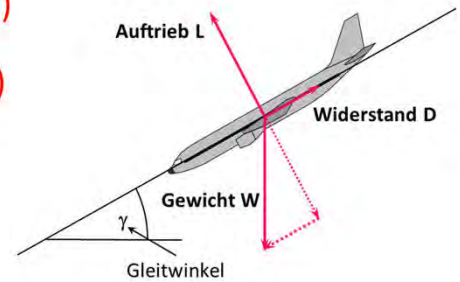
☞ limitiert durch Anforderungen des idealen Anflugs

**Möglichst langsam (wenig Umströmungslärm)**

☞ erfordert Zeit  $\Rightarrow$  hemmt Verkehrsfluss

**Möglichst wenig Widerstand (wenig Umströmungslärm)**

☞ Verzögern durch kleine Sinkwinkel / Horizontalflug  $\Rightarrow$  niedrig fliegen



### Unvorteilhaft:

☞ lange Horizontalflugsegmente (evtl. Schubeinsatz erforderlich)

☞ Höhen-/Geschwindigkeitsvorgaben durch ATM

☞ Sicherheitsaspekte (stabile Endkonfiguration, Fehlanflug)



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 14



Wie beim Abflug sind beim Anflug niedrige Triebwerksleistung und großer Abstand Möglichkeiten, leise anzufliegen. Die Geschwindigkeit sollte 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, was mit erhöhtem Umströmungslärm verbunden ist.

Die Verzögerung auf die zum Anschneiden des Gleitpfades notwendige Geschwindigkeit erreicht man sehr effizient durch einen Horizontalflug im Leerlauf mit Clean Configuration. Ist die Länge eines solchen Zwischenanflugsegmentes allerdings zu lang angesetzt (z.B. durch Vorgaben des Fluglotsen), so muss Schub eingestellt werden, um nicht zu stark zu verzögern.

Der Einsatz dieser Maßnahmen kann durch Flugsicherungs- oder Sicherheitsaspekte auch limitiert oder sogar ganz ausgeschlossen werden. So müssen beim Anflug immer Vorgaben für Zeiten, Höhen und Abstände seitens der Fluglotsen eingehalten werden. Außerdem geht Sicherheit immer vor, so dass letztendlich die Entscheidung über den Einsatz von Schub und Auftriebshilfen durch den Piloten erfolgt.

## Beispiel: Vergleich von Anflugprozeduren für den A319

### Untersuchte Prozeduren:

<b>LDLP</b>	Low-Drag-Low-Power (Standardprozedur)
<b>CDA</b>	Continuous Descent Approach
<b>SLDLP</b>	Optimierter Low-Drag-Low-Power-Approach mit steilem Endanflug
<b>SCDA</b>	Segmented-Continuous-Descent-Approach

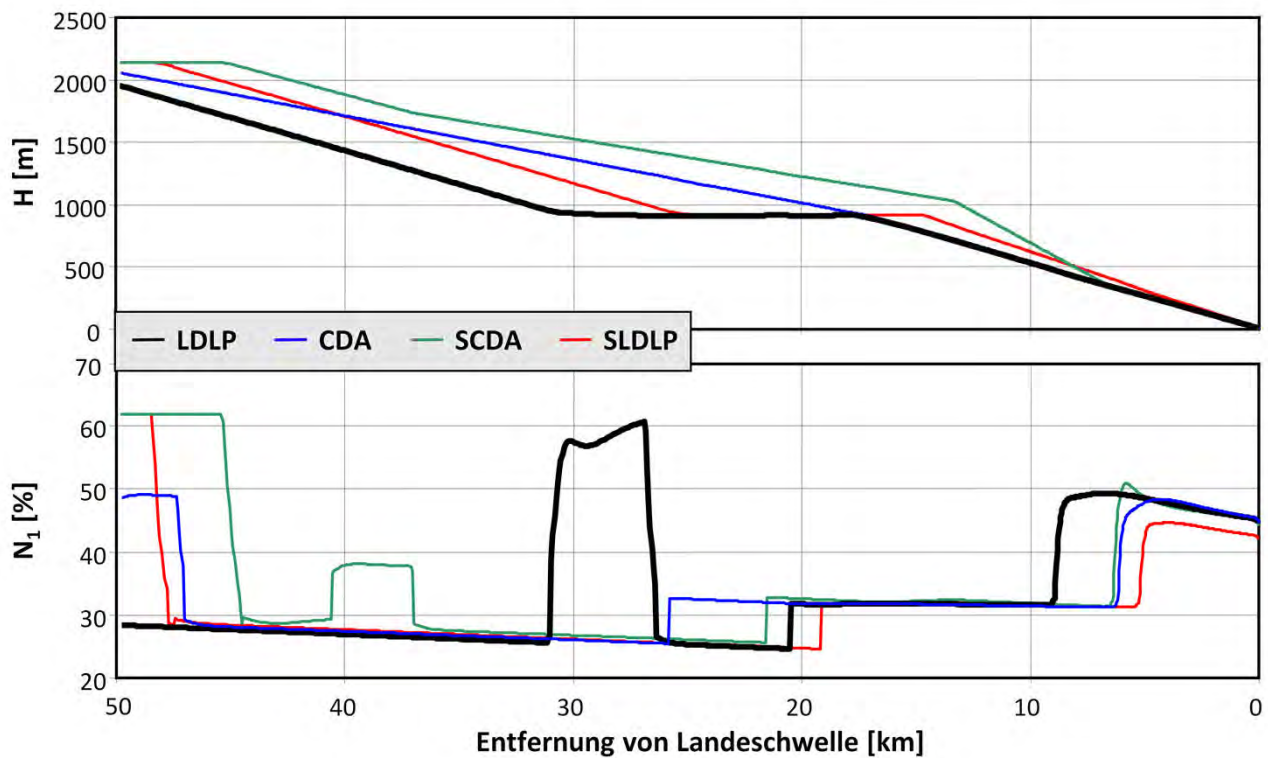


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 15

Im folgenden werden vier Anflugprozeduren am Beispiel des A319 vorgestellt. Auch hier finden sich weitere Informationen in den am Ende ausgewiesenen Berichten.

Eine Standardprozedur ist die 1972 als „Frankfurter Verfahren“ eingeführte Low-Drag-Low-Power-Prozedur, bei der nach dem Sinken aus dem Reiseflug auf einem Horizontalflugteil verzögert wird. Diese Prozedur dient im folgenden als Referenz.

## Anflugprozeduren A319 – Höhe und Triebwerksleistung

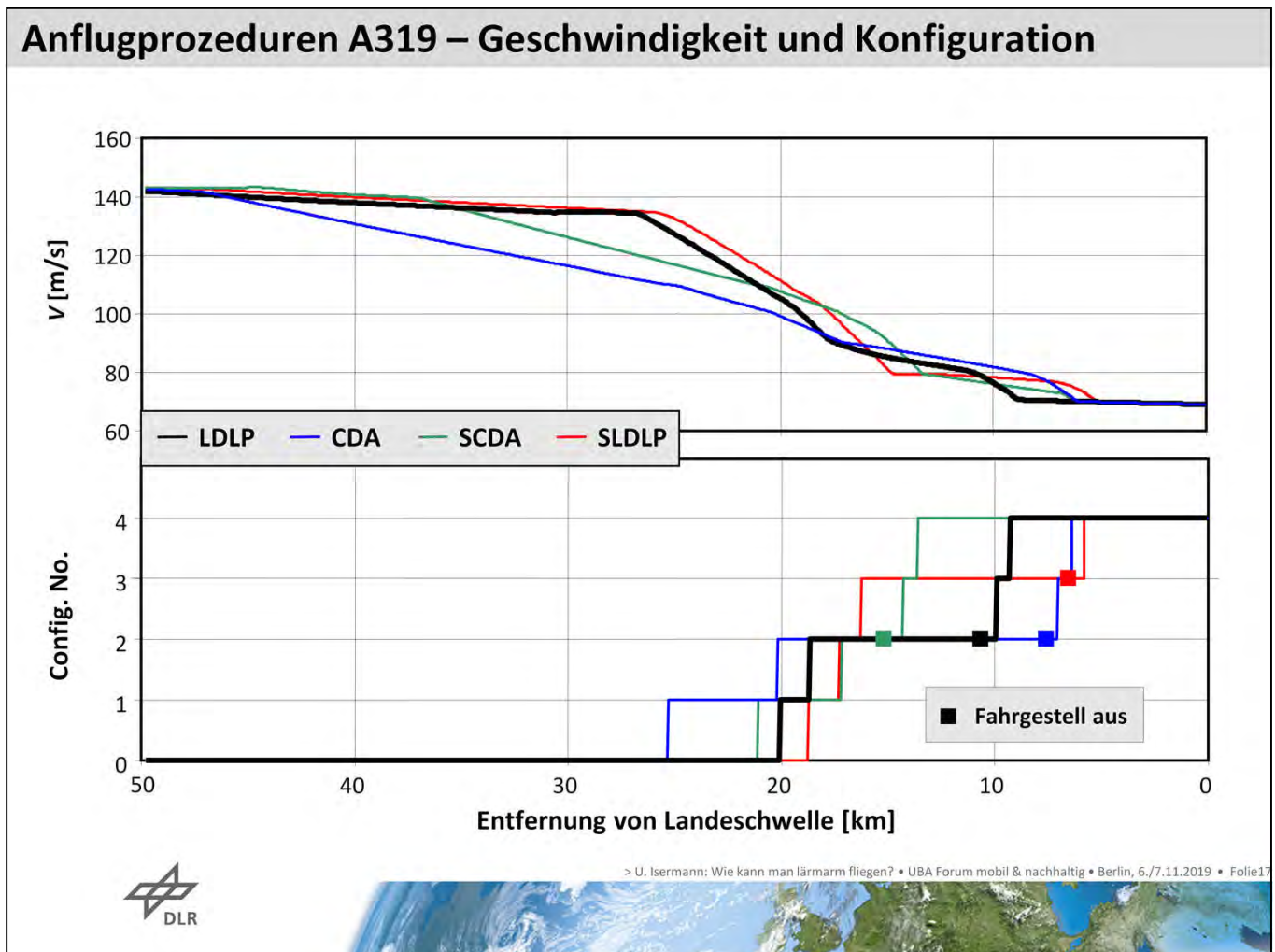


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 16

Diese Folie zeigt für die vier Prozeduren das Flughöhenprofil und den zugehörigen Verlauf des Triebwerksschubs. Man erkennt, dass die Standardprozedur 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 die LDLP-Prozedur gerade bei hohem Verkehrsaufkommen in der Regel nicht optimal geflogen werden kann.



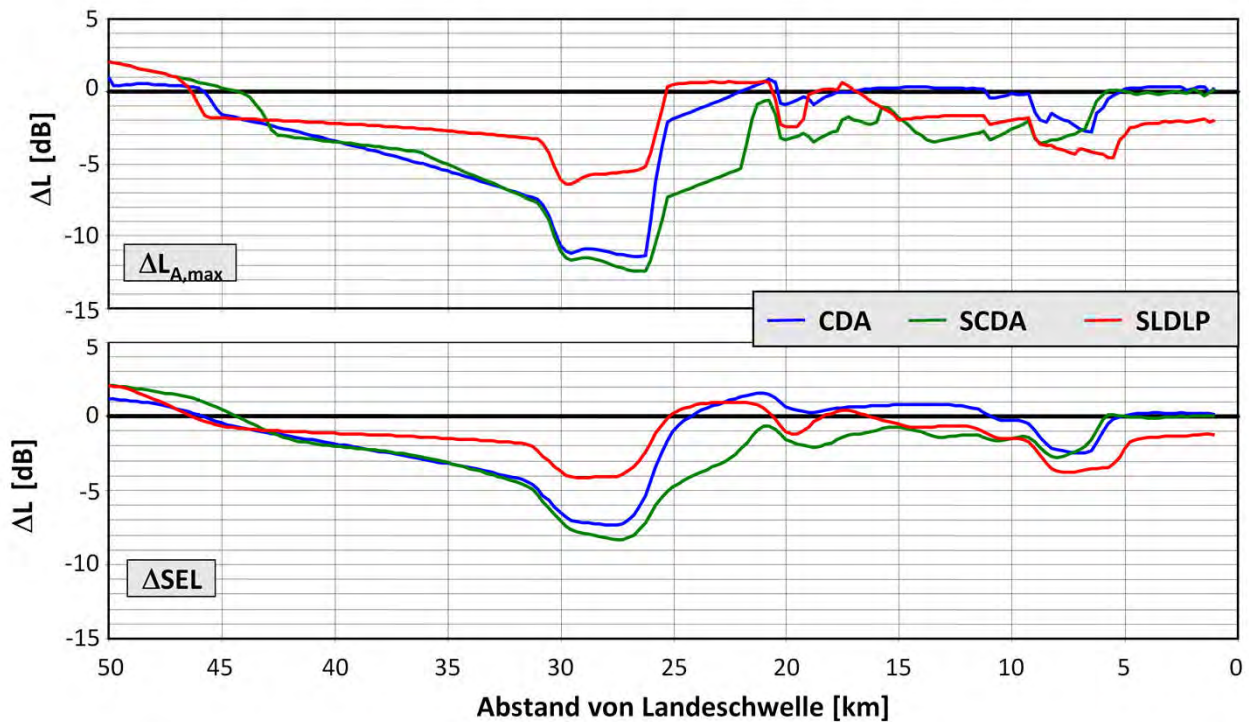


Hier sind die zugehörigen Geschwindigkeiten und aerodynamischen Konfigurationen dargestellt. Beim A319 gibt es 5 Konfigurationsstufen. Config 0 ist die Clean Configuration, Config 4 die Konfiguration mit maximal ausgestellten Klappen. Der Punkt, an dem das Fahrgestell ausgefahren wird, ist ebenfalls eingetragen.

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.

## Anflugprozeduren A319 - Pegel unter Flugbahn

Pegeldifferenz gegen Standardanflug:  $\Delta L = L_{LDLP} - L$



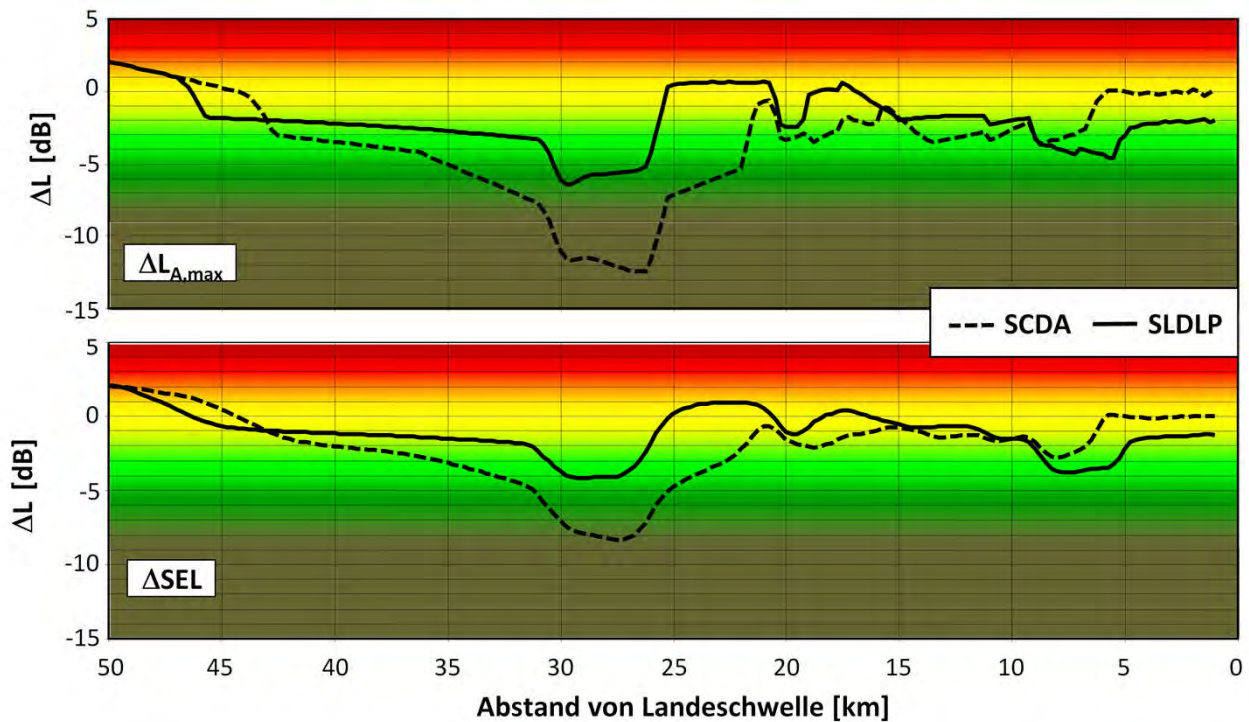
> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 18

Wie beim Abflug sind auch hier Pegeldifferenzen gegenüber der Standardprozedur dargestellt. Die Immissionsorte liegen direkt unter der Flugbahn.

Die größten Änderungen ergeben sich in dem Bereich, in dem beim Zwischenanflug im Standardanflug Schub gesetzt werden muss. Bei einem idealen LDLP würden diese Minima im Pegeldifferenz-Verlauf nicht so ausgeprägt ausfallen.

## Anflugprozeduren A319 - Pegel unter Flugbahn

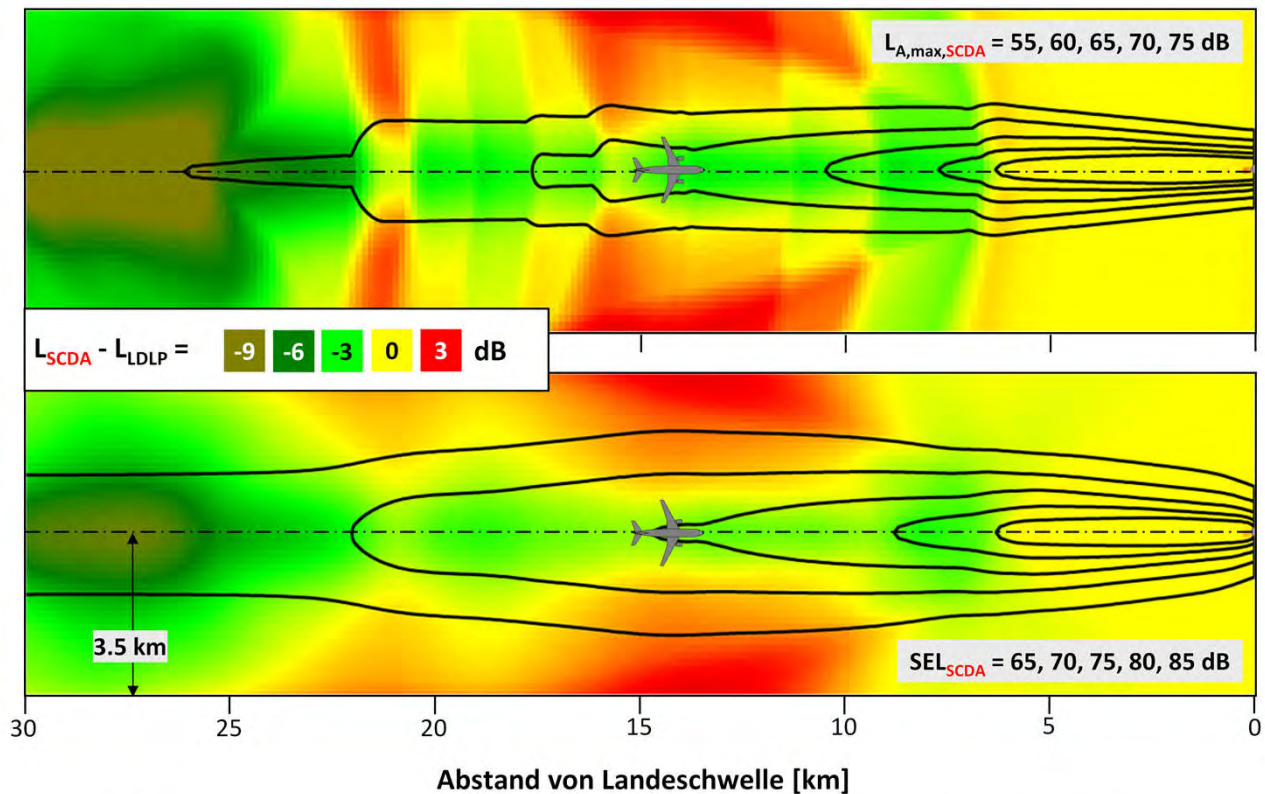
Pegeldifferenz gegen Standardanflug:  $\Delta L = L_{LDLP} - L$



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 19

Hier sind nur die beiden Prozeduren dargestellt, die das größte Potenzial zur Lärminderung aufweisen. Orientiert man sich an den Werten direkt unter der Flugbahn, so wäre der SCDA dem optimierten Low-Drag-Low-Power-Anflug SLDLP vorzuziehen.

## Vergleich Anflugprozeduren A319: SCDA vs. Standardverfahren

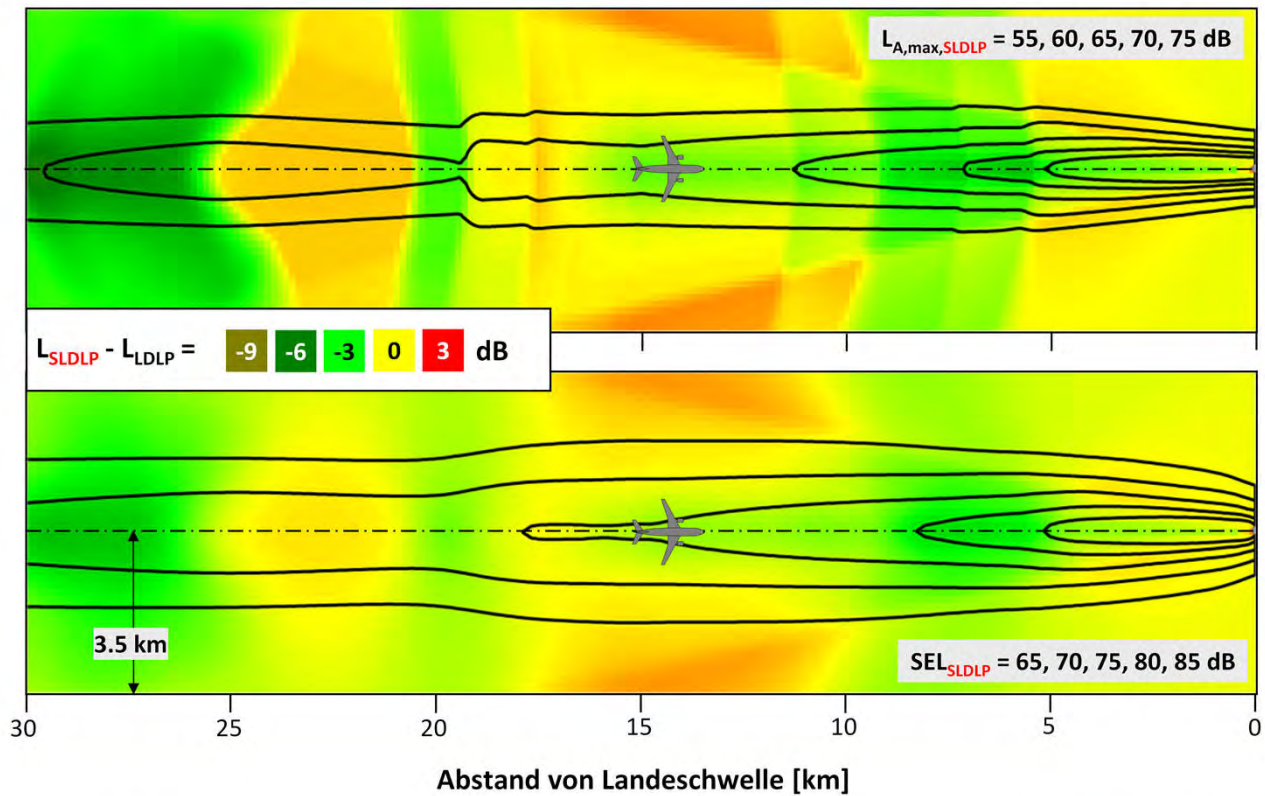


> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 20

In der Flächenbetrachtung zeigt sich, dass der SCDA zwar direkt unter der Flugbahn immer leiser ist als die Standardprozedur, 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.

## Vergleich Anflugverfahren A319: SLDLP vs. Standardverfahren



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 21

Bezogen auf die Fläche liefert der optimierte Standardanflug 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 umfassend wieder.

## Lärmarme Flugprozeduren - Zusammenfassung

### Potenziale

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

### Konsequenz

- Einsatz muss an lokale Siedlungsstruktur angepasst werden

### Einschränkende Anforderungen

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

← gerade beim Anflug



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 22



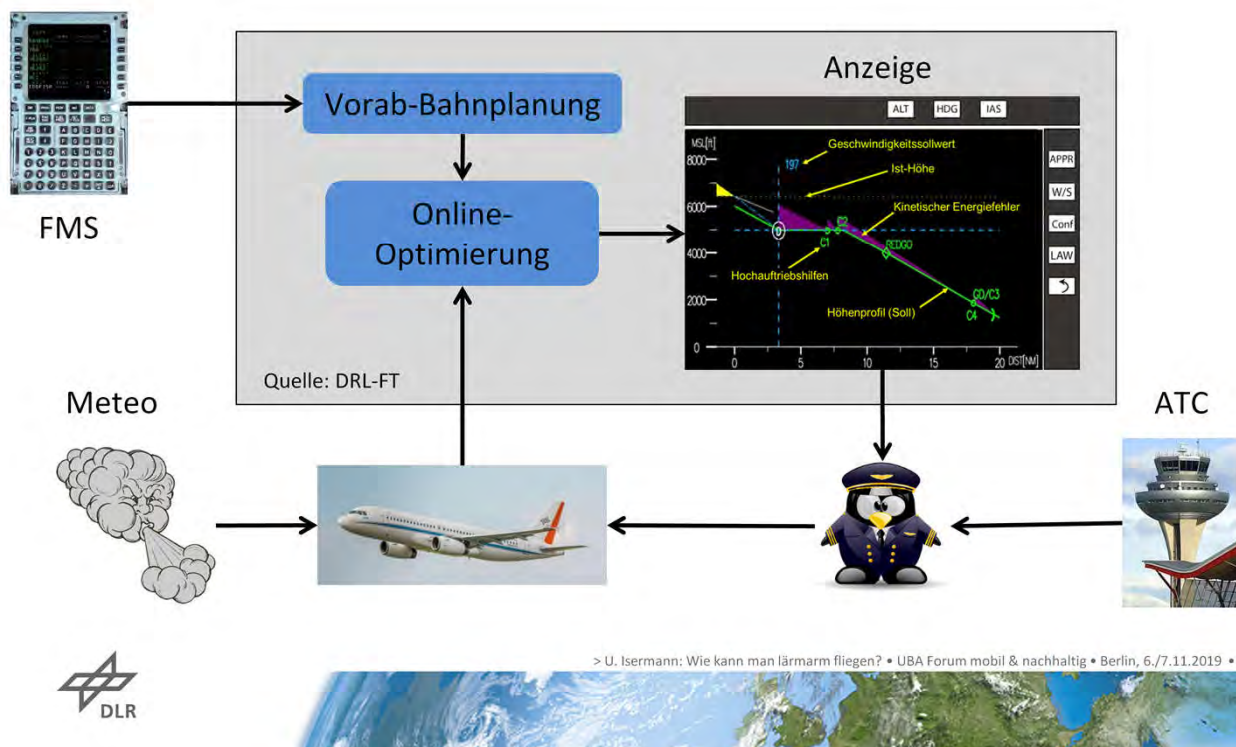
Zusammenfassend kann man sagen, dass unterschiedliche Abflugprozeduren den Lärm nur umverteilen. Die Konsequenz ist, dass die Wahl einer Prozedur der lokalen Struktur der Besiedlung in Bezug auf die Abflugstrecke angepasst werden muss. Diese Anpassung sollte idealerweise noch bezogen auf Flugzeugtypen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

Auch beim Anflug muss die Prozedur 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 Umsetzung der Prozedur notwendig. Geringe Abweichungen von Zielhöhen oder Geschwindigkeiten können das vorzeitige Setzen von Klappen oder Schuberrhöhungen nötig machen und damit im schlimmsten Fall zu Pegelerhöhungen gegenüber dem Standardanflug führen. Hier spielen sowohl der Faktor Mensch als auch die Effizienz der technischen Ausrüstung eine Rolle.

## Ausblick – LNAS als Pilotenunterstützungssystem

### Energiebasiertes Pilotenunterstützungskonzept für das präzise Einhalten von vertikalen Anflugprofilen (Low Noise Augmentation System LNAS)



Am Institut für Flugsystemtechnik des DLR wurde das Pilotenunterstützungssystem LNAS („Low Noise Augmentation System“) entwickelt. Dieses System unterstützt den Piloten beim möglichst präzisen Abfliegen einer Anflugprozedur. Diese wird im Prinzip durch das Flight-Management-System FMS als Vorab-Bahnplanung definiert. Im Laufe des Anfluges wird diese Planung im Rahmen einer Online-Optimierung verbessert. Dabei werden aktuelle Anweisungen des Fluglotsen, der aktuellen Wetterlage und auch des Pilotenverhaltens berücksichtigt. Die Schnittstelle zum Piloten bildet eine Anzeige, die mit vergleichsweise einfachen Mitteln nachgerüstet werden kann.

Bei ersten Testflügen mit dem DLR-Flugversuchsträger (A320 D-ATRA) zeigte sich eine hohe Akzeptanz durch die Piloten. Derzeit wird LNAS im Rahmen einer umfassenden praktischen Testphase in der A320-Flotte der Lufthansa eingesetzt.

## Downloads zum Thema

### **DLR-Projekte „Leiser Flugverkehr“**

[https://www.dlr.de/as/Desktopdefault.aspx/tabid-192/402\\_read-1633/](https://www.dlr.de/as/Desktopdefault.aspx/tabid-192/402_read-1633/)

### **Projekt „Lärmarme An- und Abflugverfahren (LAnAb)“**

[https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx\\_tibsearch\\_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A565894943&cHash=74616ee02dd132a213b71a1db3efa909](https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A565894943&cHash=74616ee02dd132a213b71a1db3efa909)

### **LuFo-Projekt „Modelle und Daten zur Entwicklung von aktiven Schallschutzmaßnahmen im Luftverkehr (MODAL)“**

<https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A864345402/Modelle-und-Daten-zur-Entwicklung-von-aktiven-Schallschutzma%C3%9Fnahmen/>



> U. Isermann: Wie kann man lärmarm fliegen? • UBA Forum mobil & nachhaltig • Berlin, 6./7.11.2019 • Folie 24

