

Hintergrundinformationen zum „Bericht Expertengremium Aktiver Schallschutz - Erstes Maßnahmenpaket Aktiver Schallschutz am Flughafen Frankfurt/Main“ Kap. 4.1.6

Optimierung kontinuierlicher Sinkflug (Continuous Descent Approach, CDA)

Stand: 29.06.2010, Expertengremium Aktiver Schallschutz

1. Definition und Beschreibung

Verfahrensbeschreibung

Der Continuous Descent Approach ist historisch betrachtet kein neues Verfahren. Ausgelöst durch die 1. Ölkrise in den 70er Jahre, diente er ursprünglich dazu, den Kraftstoffbedarf zu senken. Erst im zweiten Schritt wurden die Potenziale des CDA zur Reduktion der Lärmbelastung identifiziert.

Unter dem Aspekt der Kraftstoffersparnis beginnt ein CDA idealerweise mit dem Verlassen der Reiseflughöhe. Durch Rücknahme des Triebwerksschubs auf „Leerlauf“ (Idle Thrust) wird der Vortrieb durch die Triebwerke nahezu auf null reduziert und das Flugzeug „segelt“ quasi zu Boden. Damit wird sowohl der Treibstoffbedarf als auch die Lärmemission der Triebwerke gesenkt.

Eine Reihe von Faktoren führt dazu, dass die Nutzung des Idealbildes eines CDA nicht in vollem Umfang durchgeführt werden kann und Einschränkungen unterliegt.

Das Gleitverhalten der Flugzeuge ist nicht einheitlich. Modernes Fluggerät zeichnet sich u. a. dadurch aus, dass es für kommerzielle Flugzeuge eine extrem hohe Gleitzahl vorweist. Die Gleitzahl des Airbus A340-600 liegt bei ca. 1:16, das heißt, im Gleitflug kann das Flugzeug bei 1.000 m Höhenverlust 16 km weit „segeln“. Andere Flugzeugmuster weisen deutlich geringere Gleitzahlen aus. In Konsequenz bedeutet dies, dass die Sinkprofile der Flugzeuge sich deutlich unterscheiden.

Ein weiterer Faktor ist der Wind. Gegenwind führt zu flacheren und Rückenwind zu steileren Sinkprofilen im Segelflug.

Befinden sich nun eine Vielzahl von Flugzeugen in einem begrenzten Luftraum, zum Beispiel im Nahbereich eines Flughafens, an dem diese landen wollen, erschweren unterschiedliche Sinkflugprofile ganz erheblich die Sicherstellung der erforderlichen Staffelungsabstände und damit den sicheren Verkehrsablauf.

Diese Erschwernis wird dann noch verstärkt, wenn sich die Flugwege im Steigflug befindlicher Flugzeuge mit den Flugwegen der im Sinkflug befindlichen Flugzeuge kreuzen. Dies ist auch in den meisten Fällen gegeben.

Anfliegende Flugzeuge werden letztlich alle auf ein relativ kleines Segment zugeführt, dem Endanflugteil der Landebahn, auf der sie landen sollen. Das

bedeutet, der Luftraum, in dem sich eine Vielzahl von Flugzeugen mehr oder weniger gleichzeitig aufhalten, wird immer enger.

Um hier noch einen sicheren und zügigen Luftverkehr durchführen zu können, sind letztlich den Verkehrsfluss ordnende und steuernde Maßnahmen erforderlich. Diese jedoch schränken letztlich die Anwendbarkeit eines CDA ein.

Der eigentliche Endanflug ist nicht mehr dem CDA zuzuordnen. Er wird an internationalen Verkehrsflughäfen überwiegend durch Instrumenten-Landesysteme (meist ILS) definiert. Diese erzeugen einen grundsätzlich um 3° geneigten, geraden Funkleitstrahl, der zum Aufsetzpunkt führt. Bevor das anfliegende Luftfahrzeug diesem Funkleitstrahl im Sinkflug folgt, muss es in den meisten Fällen abgebremst werden. Dies erfolgt üblicherweise auf einem vorgelagerten horizontalen Flugsegment (Level Segment).

Auf dem Endanflug selbst werden die letzten Vorkehrungen zur Landung getroffen, d.h. das Fahrwerk wird ausgefahren, die Landeklappen gesetzt und das Flugzeug soweit abgebremst, das es in einem stabilen Flugzustand die Landekonfiguration erreicht.

Da diese Landekonfiguration mit erheblichen Luftwiderständen verbunden ist, ist spätestens auf dem Endanflug mit Schubsetzungen zu rechnen. Dies ist auch der Grund, dass die potenziell Lärm entlastende Wirkung des CDA vor Beginn des Endanfluges des Endanfluges und nicht dort selbst zu erwarten ist.

CDA in London-Heathrow

Am Flughafen London-Heathrow (LHR), der für seine umfassende CDA-Statistik bekannt ist, werden die den Verkehrsfluss steuernden und ordnenden Maßnahmen u. a. über so genannte Holding Fixe mit einer zugeordneten Höhenuntergrenze organisiert.

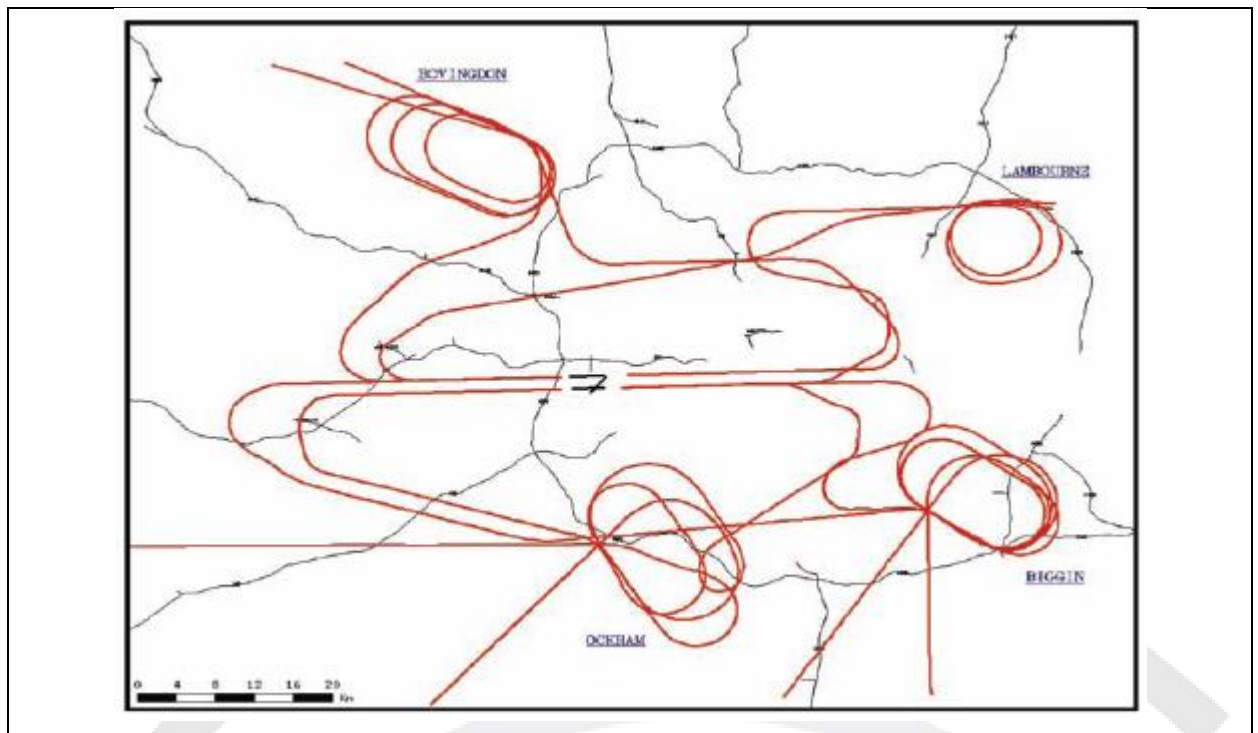


Abb. 1: Lage der Holding Fix in London Heathrow /Quelle B/

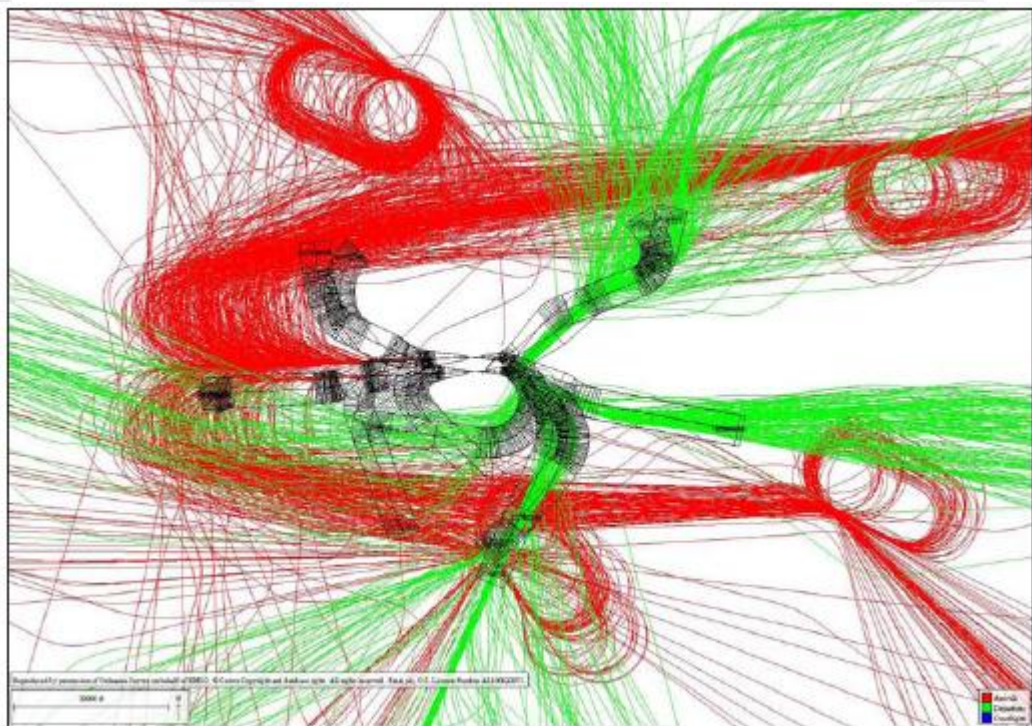


Abb. 2: Typische Flugspuren bei Ost-Betrieb in London Heathrow
(rot = Anflüge, grün = Abflüge) /Quelle B/

Annähernd alle LHR anfliegenden Flugzeuge werden zunächst auf eines der 4 sogenannten Holding Fixe geleitet. Die meisten der Flugzeuge werden an diesen Holding Fix in Warteschleifen auf niedrigere Flughöhen bis hinunter auf 6.000ft geführt. Ab 6.000ft Höhe (rd. 2.000 m) beginnt in LHR der CDA – Anflug. /**Quelle C**/ Die Auswertung der CDA – Konformität startet in dieser Höhe und reicht bis zum Erreichen eines stabilisierten ILS-Anfluges in 2.500ft bzw. 3.000ft Höhe. /**Quelle B**/

Das Bahnnutzungskonzept sieht in LHR derzeit so aus, dass die Landungen überwiegend auf einer Bahn durchgeführt werden, während die Starts von der jeweils anderen Bahn vorgenommen werden. Dies, zusammen mit der Konzentration der anfliegenden Flugzeuge auf die Holding Fix erleichtert das Sortieren und Einfädeln der anfliegenden Flugzeuge auf dieses eine Endanflugsegment. Dies gilt insbesondere für die Holding Fix östlich des Flughafens.

Letztlich werden dadurch auch relativ geringe Flugentfernungen über Grund bis zur Landung ermöglicht. Allerdings sind zusätzlich die Flugwege und die Aufenthaltsdauer in den Warteschleifen zu berücksichtigen, wenn es um die Beurteilung der Flugweglängen und damit die resultierenden Emissionen geht.

Der Fakt, dass die Flugzeuge über die Holding Fix wie in einem Reservoir „gesammelt“ werden und von dort quasi nach Bedarf nacheinander auf den Endanflug geführt werden, erlaubt die Anwendung des CDA für den Bereich ab dem Holding Fix bis zum Endanflug während der kompletten Betriebszeit, schränkt aber die Wirkung auf ein Höhenband zwischen 6.000ft und der Einflughöhe in den Endanflug (ca. 3.000ft) ein.

CDA in Frankfurt

Im Gegensatz zu LHR wird in Frankfurt (FRA) auf die Nutzung von Holding Fix als „Sammelpunkt“ kurz vor dem Endanflug verzichtet. Die Anzahl der durchgeführten Warteschleifen (Holdings) liegt in FRA z. Zt. bei ca. 10 %.

Da in FRA beide Parallelbahnen gleichzeitig für Landungen genutzt werden, ist ein Eindrehen auf beide Endanflüge erforderlich. Die Flugzeuge, die den Flughafen aus unterschiedlichen Richtungen auf den Flughafen zufliegen, müssen vorsortiert werden, bevor sie auf den eigentlichen Endanflug geführt werden können. Was in LHR über die Holding Fixe erreicht wird, geschieht in FRA über die sogenannten „CDA Transition Routes“. Um den verfügbaren Raum unter kapazitiven Gesichtspunkten optimal nutzen zu können werden die anfliegenden Luftfahrzeuge mittels Radarkursen geführt. Sobald eine geeignete Lücke vorliegt bzw. der erforderliche Abstand zwischen zwei Anflügen ausreichend ist, wird das betreffende Flugzeug über eine 40-180° - Kurve von Norden bzw. Süden auf den Ost – West ausgerichteten Endanflug eingedreht.

Die Höhe, in der diese Eindrehvorgänge stattfinden, müssen sich zwischen den Anflügen von Norden und Süden um 1.000ft (ca. 300 m) unterscheiden, um die erforderliche Vertikalstaffelung zu erreichen. Dies führt in Konsequenz dazu, dass zwei teilweise ausgeprägte Horizontalflugsegmente in 3.000ft und 4.000ft Höhe in FRA existieren.

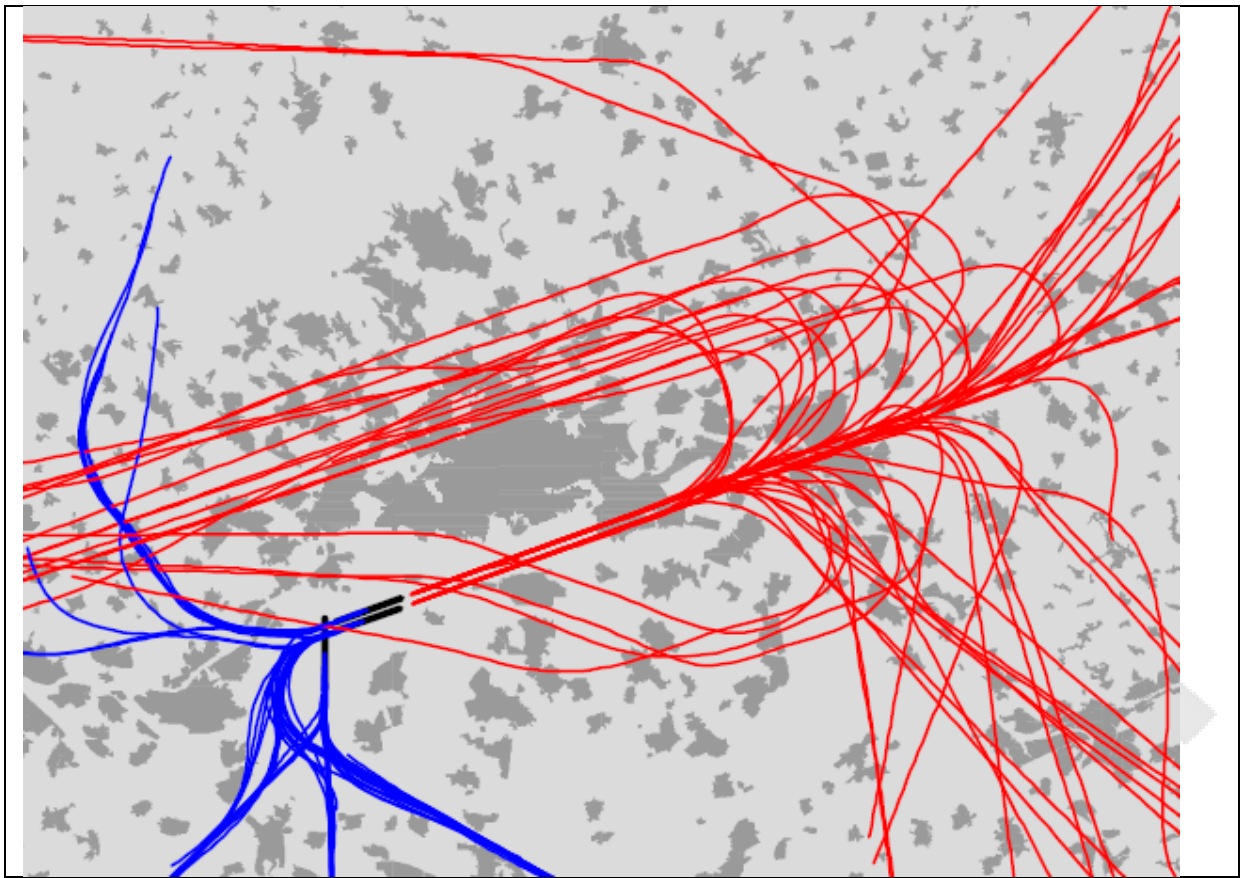


Abb. 3: Beispiel Eindrehbereich in FRA (22:00 – 06:00 Uhr Ortszeit)

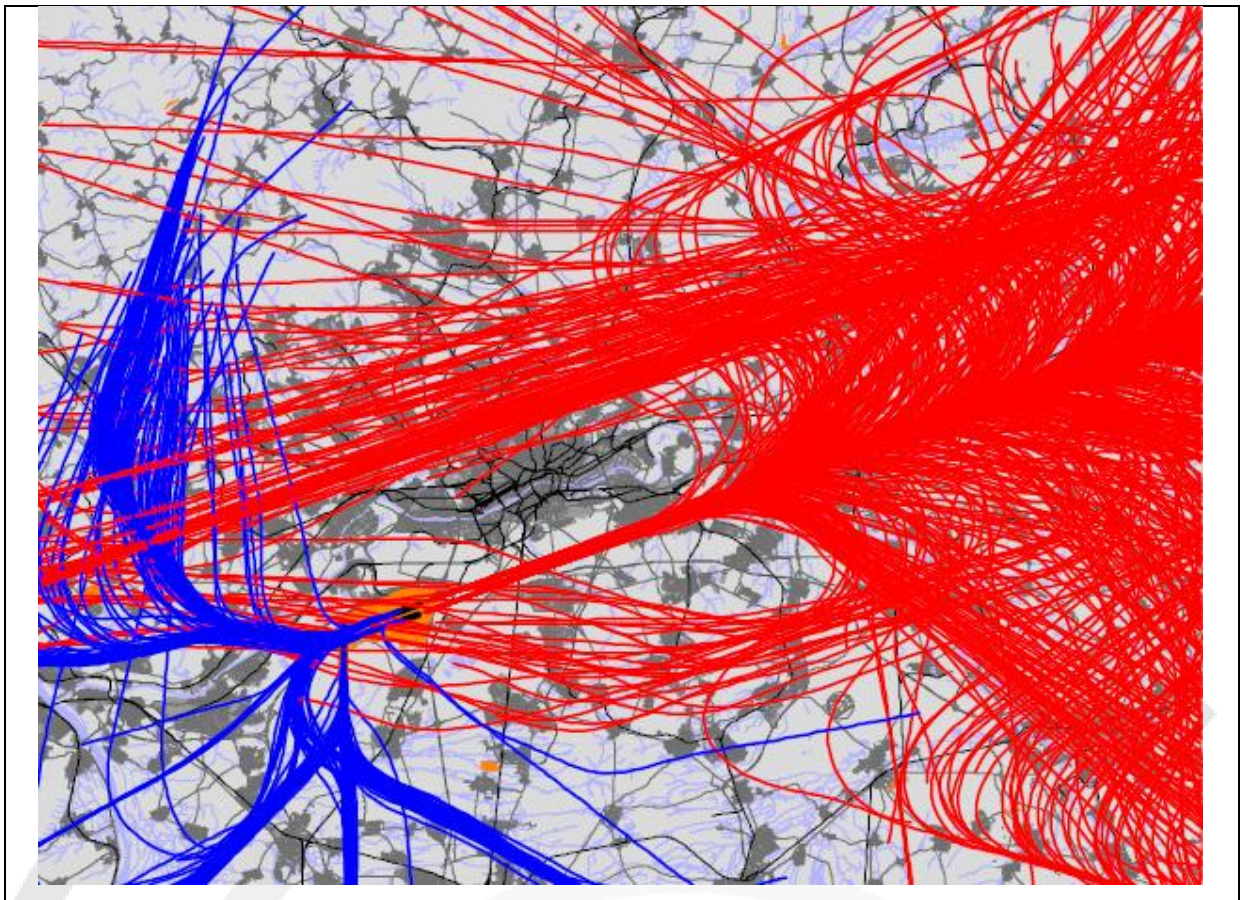


Abb. 4: *Beispiel Eindrehbereich in FRA 24h*

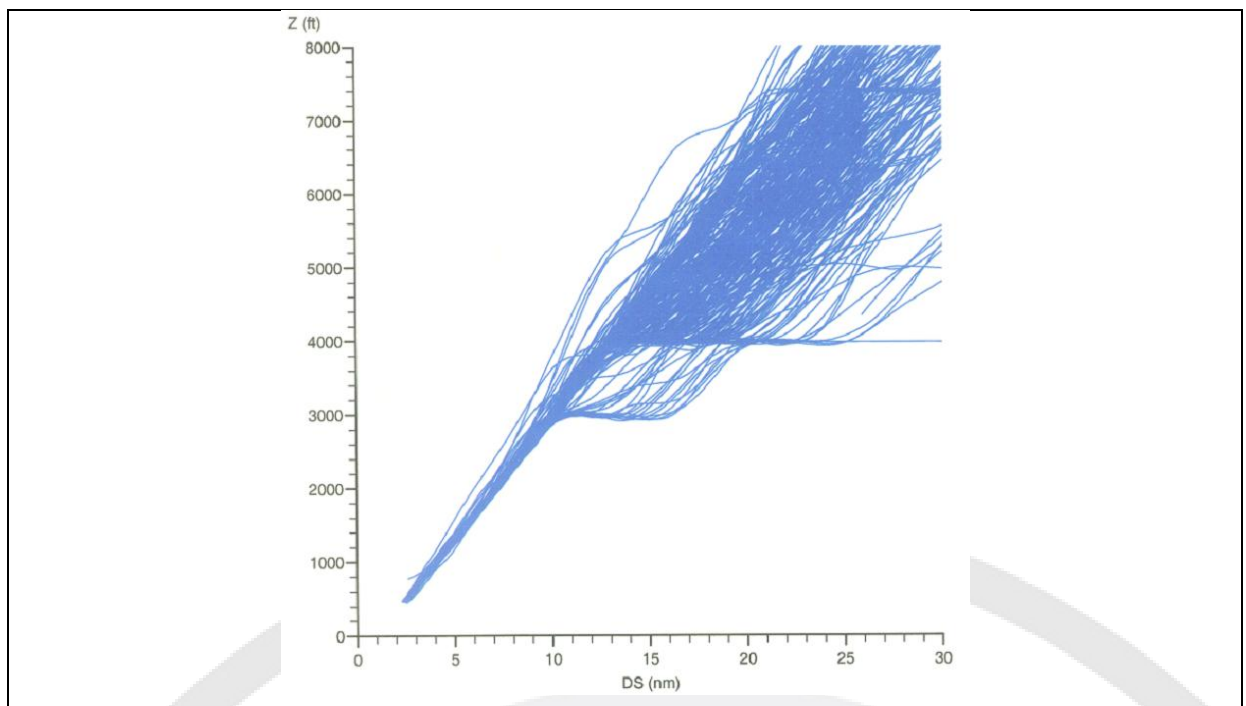


Abb. 5: Beispiel eines 24h Stundenplot für Anflugprofile in FRA

Da der Zeitpunkt des möglichen Eindrehens insbesondere bei höheren Verkehrsmengen derzeit nicht planbar ist, müssen die Anflüge auf den Gegenanflügen rechtzeitig in der entsprechenden Höhe sein. Dies kann zu teilweise längeren Horizontalflugsegmenten führen.

Bei geringer Verkehrsdichte hingegen kann aufgrund der zwangsläufig entstehenden größeren Lücken davon ausgegangen werden, dass das Eindrehen auf den Endanflug mehr oder weniger immer in einer idealen Position durchgeführt werden kann. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für die Umsetzung eines CDA gegeben.

Dies ist auch die Grundlage für das seit 2005 in FRA angewandte Nacht – CDA Verfahren („Trichterverfahren“).

Grundlage für dieses Verfahren ist ein annähernd kreisförmiger Bereich, dessen Mittelpunkt ca. 18 - 19 NM (33 - 35 km) vor der Landeschwelle liegt. Der Radius des Kreises liegt bei 6 NM (11 km). Flugzeuge werden in der Nachtzeit zwischen 23:00 und 05:00 Uhr Ortszeit an diesen Kreis herangeführt und sollen spätestens dort eine Höhe von 7.000ft (rd. 2.100 m) ausweisen. Von dort wird der Sinkflug in Richtung des Mittelpunktes des Kreises geführt. Die Zielhöhe am Mittelpunkt ist 5.000ft (rd. 1.500 m).

Der Radius des Kreises ist so gewählt, dass er für einen kontinuierlichen Sinkflug mit ca. 3° Neigung geeignet ist. Da es sich aber um einen sogenannten „Pilot interpreted approach“ handelt und auch der Anflug nicht immer auf den Mittelpunkt des „Trichters“ gerichtet ist, ist das Sinkflugprofil durch den Piloten letztlich gestaltbar.

Vom Mittelpunkt aus, der selbst in direkter Verlängerung der Landebahnachsen des Parallelbahnsystems liegt, wird in 5.000ft Höhe der Gleitweg des Instrumentlandesystems erfolgen.

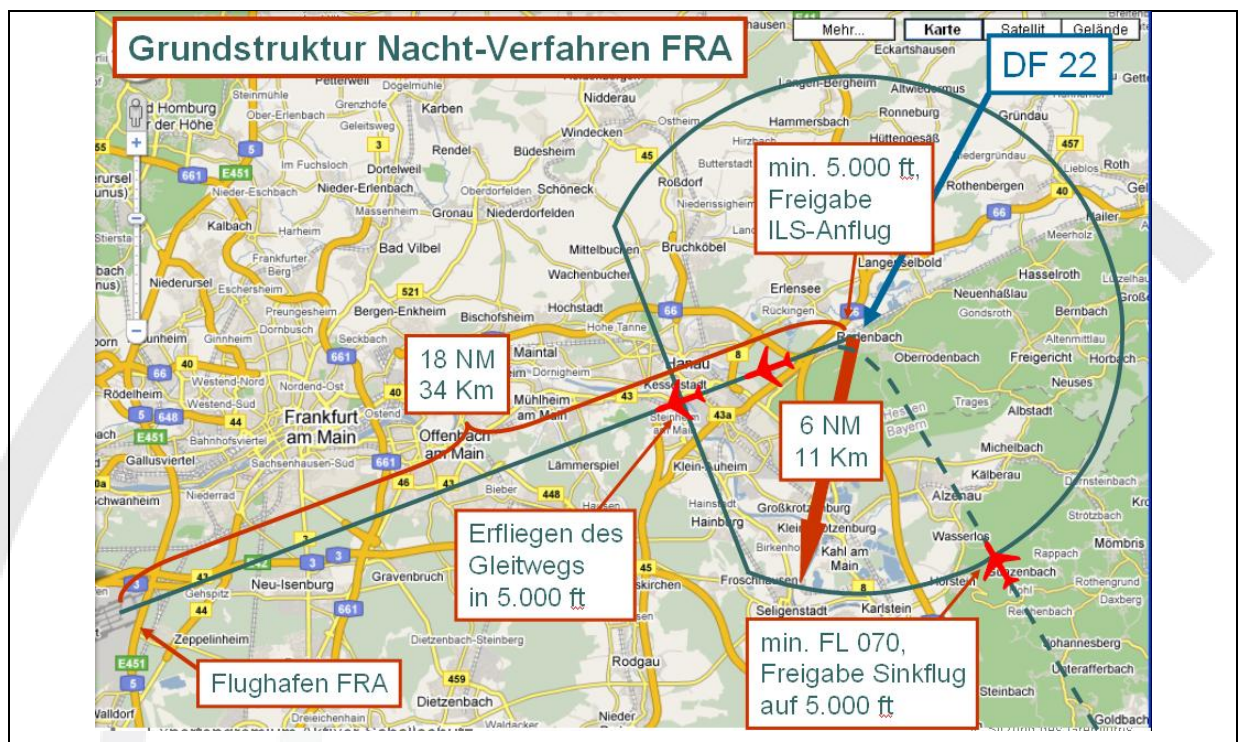


Abb. 6: Konzept des Nacht (CDA) – Verfahrens in FRA

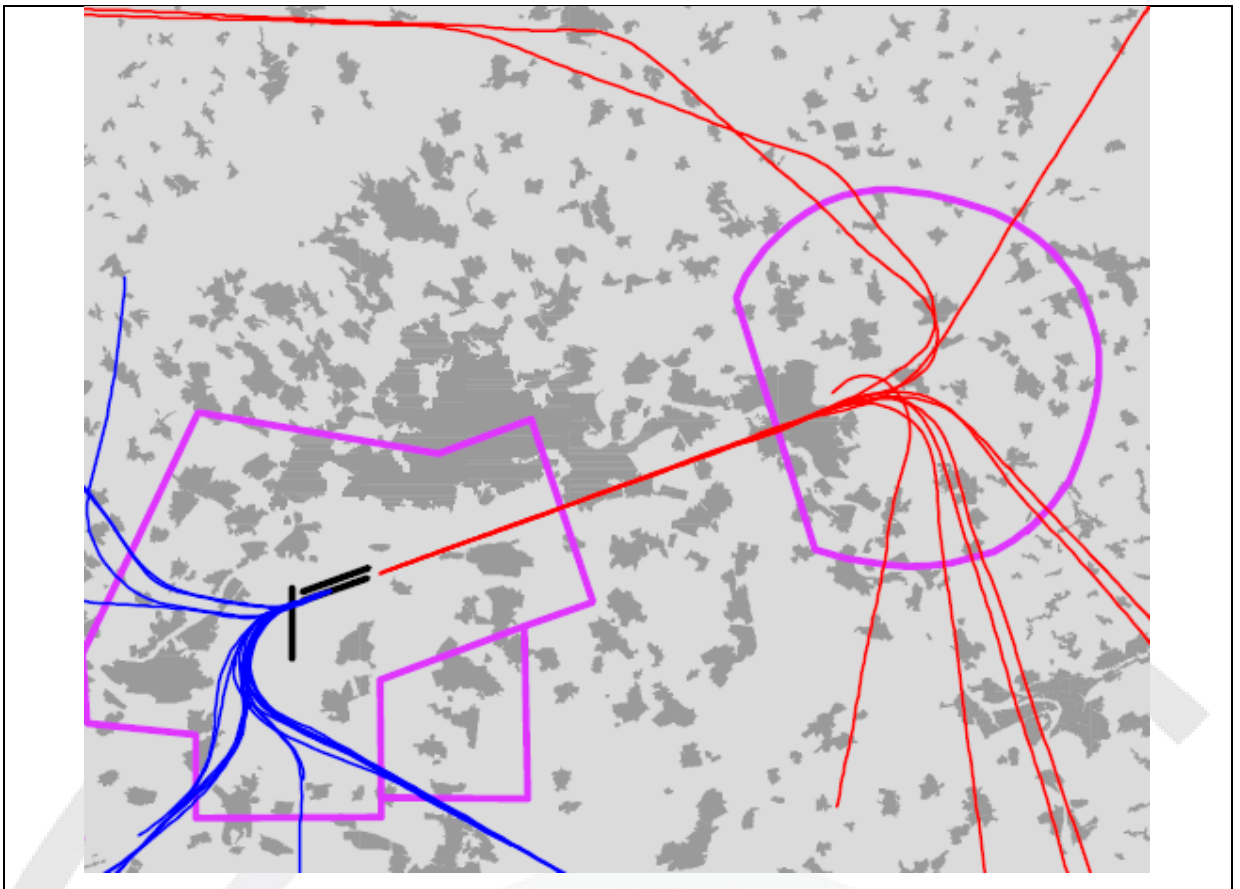


Abb. 7: *Umsetzungsbeispiel des Nacht (CDA) – Verfahrens in FRA (23:00 – 05:00 Uhr)*

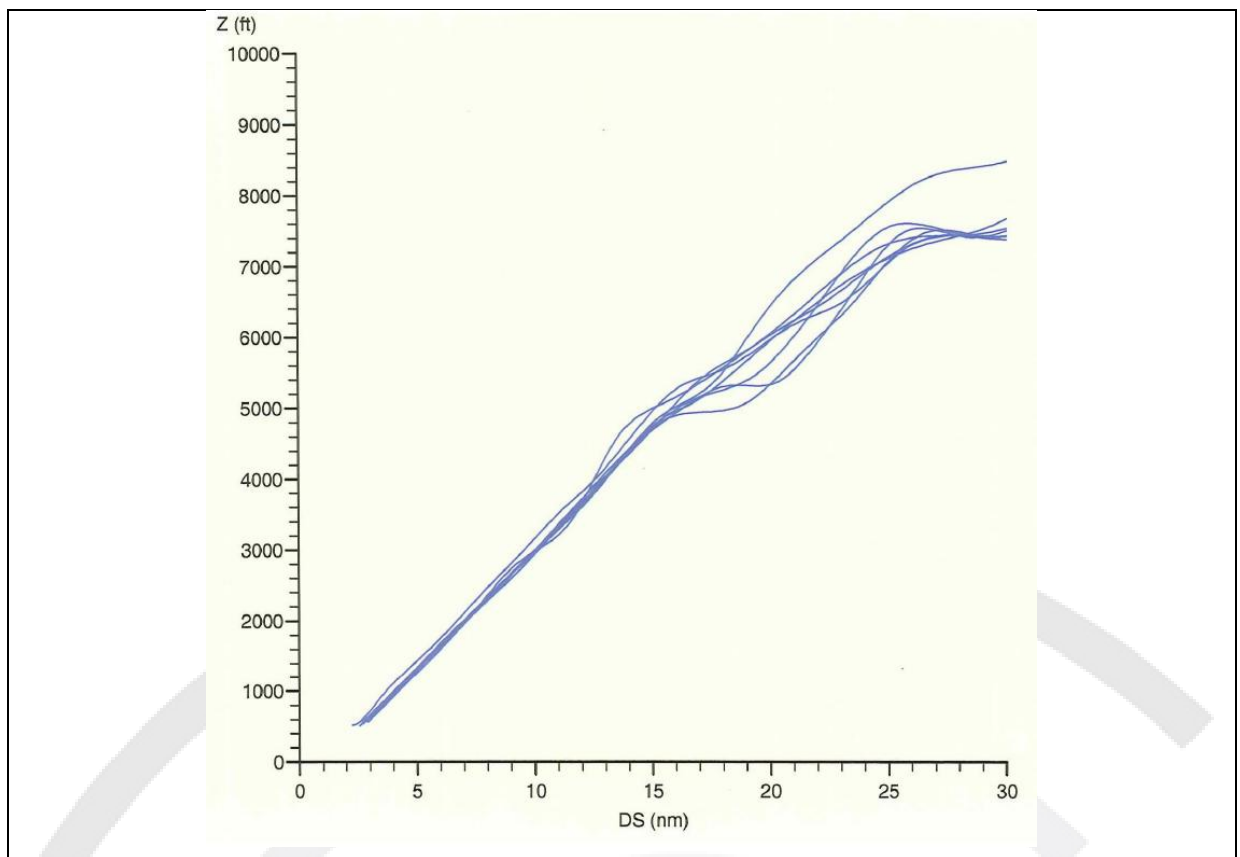


Abb. 8: Umsetzungsbeispiel des Nacht (CDA) – Verfahrens in FRA (23:00 – 05:00 Uhr)

Im Vergleich zum konventionellen Anflug führt das CDA – Verfahren dazu, dass die auf 3° (ca. 5%) geneigten Endanflüge der Instrumentenlandesysteme um 1.000ft (ca. 300 m) bzw. 2.000ft (ca. 600 m) höher erflogen werden.

CDA - Standard

Derzeit existiert kein einheitlicher Standard, was unter einem CDA verstanden wird. Die bisherigen Beschreibungen auf ICAO – Ebene stellen auch nur ein Grundverständnis dar. Allenfalls gibt es international eine grundsätzlich gemeinsame Vorstellung hinsichtlich der Ausgestaltung eines CDA, die sich auf die Komponenten

- Sinkflug im Leerlaufschub, möglichst mit 3° und
- möglichst kurzes Level Segment vor Einfliegen auf Endanflug

zurückführen lässt.

Dies führt letztlich dazu, dass keine Vergleichbarkeit der Aussagen und daraus resultierenden Schlussfolgerungen bezüglich CDA gegeben ist. Insbesondere bei der Auswertung von Anflugprofilen als CDA – konform und einem Vergleich zwischen Flughäfen macht sich das bemerkbar. Letztlich ist eine Vergleichbarkeit nur dann gegeben, wenn die unterschiedlichen Interpretationen eines CDA auf einen gemeinsamen Nenner zurück geführt werden.

Allerdings wird derzeit in einer Entwurfsversion an einem ICAO – Dokument mit dem Titel

Continuous Descent Operations (CDO) Manual (DOC 9931)

gearbeitet. In diesem Dokument wird für ein CDA – konformes Anflugprofil ein größerer Bereich definiert, in dem die Sinkflugprofile sowie ein kurzes Horizontalflugsegment von bis zu 2 nautischen Meilen (= ca. 5,7 km) abdecken.

Diese Bereichsdefinition berücksichtigt unter anderem das oben geschilderte, unterschiedliche Sinkflugverhalten verschiedener Flugzeugtypen durch die Obergrenze von $3,3^\circ$ bzw. Untergrenze von $2,0^\circ$.

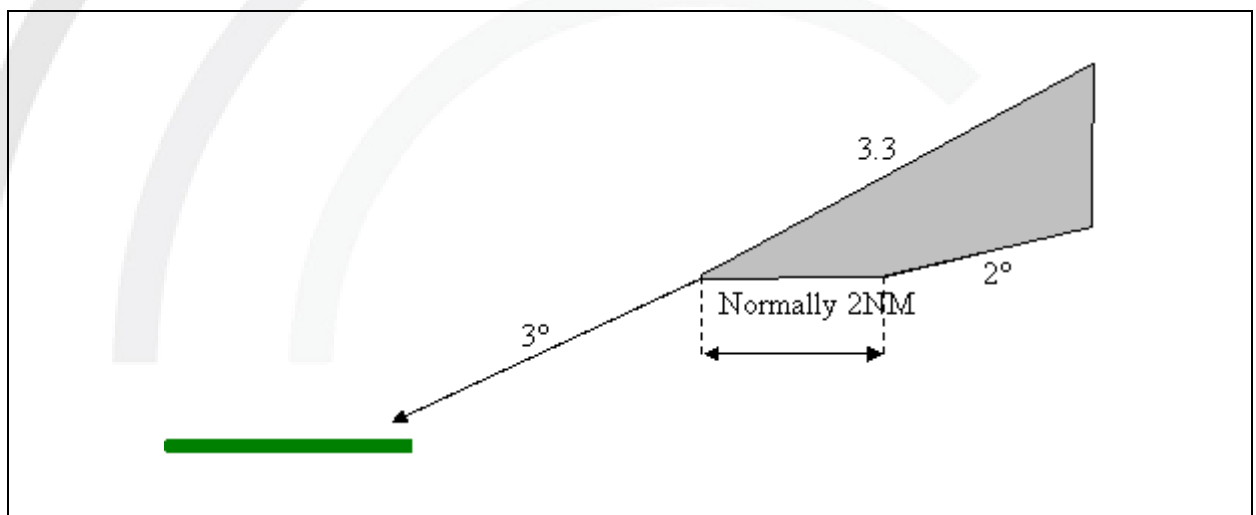


Abb. 9: CDA-Konformitätsbereich (schraffierte Fläche) nach ICAO CDO – Manual /Quelle A/

2. Prüfschritte

Hauptproblempunkte für die Anwendung eines idealen CDA auch über längere Strecken und bei höherer Verkehrslast sind im Wesentlichen:

- die individuellen Unterschiede zwischen den optimalen Verläufen der CDA – Profile der einzelnen Flugzeugmuster,
- die Anforderung an das Sortieren und Staffeln der aus unterschiedlichen Höhen und Richtungen anfliegenden Flugzeuge,
- die Anforderungen an einen zügigen Verkehrsablauf auch bei hoher Verkehrslast = Kapazitätsanforderung.

Die beiden letztgenannten Punkte sind grundlegend für die Planbarkeit der Anflüge. Dem stehen individuelle Gestaltungsspielräume insbesondere bei hoher Verkehrsnachfrage entgegen.

Letztlich geht es nicht darum, wie ein einzelnes Anflugprofil CDA – konform gestaltet werden kann, sondern wie die individuellen Anflugprofile in der Summe betrachtet möglichst umfassend und aufeinander abgestimmt als CDA durchgeführt werden können, ohne dabei Sicherheit und Kapazität zu beeinträchtigen.

Weiterhin ist festzustellen, dass im täglichen Betrieb individuelle Unterschiede bei den Verhaltensmustern der beteiligten Akteure auftreten können. So ist es zum Beispiel denkbar, dass nach einer Sinkflugfreigabe ein Pilot mit maximaler Sinkrate bis zur nächst zugelassenen Flughöhe sinkt und damit ggf. ein längeren Horizontalfluganteil daran anschließt. Ein anderer Pilot richtet seinen Sinkflug hingegen so ein, dass er deutlich flacher verläuft und damit der anschließende Horizontalflug kürzer ist oder gar nicht stattfindet.

Für eine optimierte Nutzung des CDA – sowohl was den Höhenbereich als auch den Zeitraum betrifft – ist einerseits eine stringenter Harmonisierung der Verkehrsabläufe ggf. unterstützt durch mehr Vorgaben sowie eine umfassendere / frühzeitigere Information der Beteiligten erforderlich.

In den Diskussionen der Arbeitsgruppe wurde herausgearbeitet, dass die so genannte „Distance to Go“ – Information, d. h. die Information an den Piloten, wie weit er noch zu fliegen hat, hier ein hilfreiches Instrument ist, um ein sinnvolles Sinkflugprofil zu erreichen. Gerade für Flugzeuge im Gegenanflug ist

dies relevant, da dort der Pilot nicht oder nur schwer einschätzen kann, wann der Lotse ihn auf den Endanflug eindrehen lässt.

Die „Distance to Go“ Information selbst kann der Lotse derzeit nur anhand der Verkehrslagedarstellung auf dem Radarbild unter Einbeziehung seiner Erfahrung abschätzen.

In einer ersten Stufe soll durch die Lotsen dem Piloten per Sprechfunk die „Distance to Go“ – Information, die er anhand des Radarbildes und der Verkehrslage identifiziert, übermittelt werden.

Die anhand des Radarbildes durch den Lotsen ermittelte „Distance to Go“ – Information stellt letztlich eine Schätzung dar und unterliegt damit entsprechenden Ungenauigkeiten. Dieses soll in einer zweiten Stufe dadurch verbessert werden, dass das derzeit in Entwicklung befindliche AMAN – System (Arrival Manager) um die Ermittlung und Darstellung dieser „Distance to Go“ – Information erweitert wird.

Die Stufen 1 und 2 ermöglichen in erster Linie eine noch bessere Ausnutzung des derzeitigen Nacht – CDA Verfahren.

Für eine zeitliche Ausweitung des CDA ist eine stringenter Organisation des Verkehrs insbesondere bzgl. der Strecken- und Vertikalführung erforderlich, um das individuelle Element des CDA auf die Anforderungen der Sicherheit und des Verkehrsflusses abzustimmen.

Als Mittel dazu wird bei der DFS als 3. Stufe derzeit das Konzept „CDA Transition and Profile“ erarbeitet. Grundidee ist hierbei, dass sowohl die laterale als auch vertikale Flugwegführung für einen CDA – Anflug vordefiniert wird. Damit wird die Grundlage für eine bessere Planbarkeit des einzelnen Anfluges gelegt und damit letztlich eine wesentliche Voraussetzung für die Harmonisierung in den Verkehrsabläufen insgesamt. Die Individualität des einzelnen CDA's wird etwas reduziert und damit geringfügig auch das Lärmentlastungspotenzial des Einzelfluges. Es ist zu erwarten, dass dieser „Verlust“ durch die zeit- und damit mengenmäßige Ausdehnung der CDA – Nutzung mehr als kompensiert wird.

Das Konzept „CDA Transition and Profile“ basiert letztlich auf der Analyse der bisherigen Anflugprofile und zwar sowohl lateral wie vertikal. Es wird erwartet, dass anhand der Analyse schwerpunktmäßige Verläufe dieser Profile erkennbar und damit „Stellvertreterprofile“ definierbar sind. Dies stellt einen Kompromiss

zwischen den individuell betrachtet optimalen CDA – Profilen und der angestrebten zeitlichen Ausweitung eines wirksamen CDA – Profils dar.

Betrachtet man beispielsweise die heutigen Verläufe der Vertikalflugprofile am Flughafen Frankfurt, ist festzustellen, dass bereit heute ein Vielzahl von Profilen erkennbar sind, die aus Höhen von 7.000ft und mehr einem idealen Flugprofil folgen.

Allerdings steht dem auch eine Anzahl von Anflügen gegenüber, die über größere Entfernungen Horizontalflugsegmente in 3.000ft bzw. 4.000ft ausweisen. Die Ursachen dafür sind bereits beschrieben worden. Letztlich wird im Laufe von 24 Betriebsstunden die komplette Bandbreite von Vertikalflugprofilen dazwischen abgebildet.

Da mit der Inbetriebnahme der Landebahn Nordwest in Teilen die An- und Abflugroutenstruktur angepasst werden muss, ist es in Anbetracht des Analyseaufwands und die Einbindung des Konzepts in diese Struktur sinnvoll, die Realisierung des „CDA Transition and Profile“ Konzepts mit der zukünftigen Struktur zu koppeln.

Bis zu welchen verkehrlichen Randbedingungen das „CDA Transition and Profile“ Konzept zur Anwendung kommen kann, ist anhand geeigneter Simulationen auf Basis der überarbeiteten Struktur noch zu prüfen.

Zielsetzung ist die Realisierung des „CDA Transition and Profile“ Konzepts für FRA ab 2012.

3. Lärmauswirkungen

CDA kann eine faktische Lärmentlastung in Bereichen VOR dem Erfliegen des eigentlichen Endanfluges bewirken.

Die Lärmentlastungswirkung resultiert aus dem Prinzip mit möglichst wenig Schub in tiefen Höhen auszukommen, d. h. während des Anfluges auf Horizontalflugsegmente zu verzichten bzw. diese so kurz wie möglich zu gestalten.

Dadurch entfaltet sich die Lärmentlastungswirkung jenseits des Erfliegens des ILS in einer Entfernung von ca. 20 km vor der Landeschwelle. Die wesentlichen Entlastungsbeiträge des CDA erfolgen damit außerhalb des Erfassungsgebiets des FNI. Da das CDA Verfahren in Frankfurt bereits eingeführt ist, wurde es, soweit im FNI Gebiet wirksam, in allen berechneten Szenarien unterstellt, also auch den Ausgangsszenarien ohne Maßnahmen. Die vorgeschlagenen Schritte dienen dazu, die tatsächliche Anwendung des CDA zu optimieren, also die vorhandenen Lärmentlastungspotenziale so weit wie möglich auszuschöpfen.

4. Ausblick und Perspektive

Neben der bereits beschriebenen 3. Stufe der CDA - Entwicklung („CDA Transition and Profile“) wird ein Analysewerkzeug zur Identifikation und Gütebewertung CDA – konformer Anflüge entwickelt. Mit diesem Werkzeug sollen auf Basis der zu erwartenden ICAO – Definition für CDA – konforme Anflüge sowohl Auswertungen über die Anzahl CDA – konformer Anflüge als auch eine Aussage über deren Güte ermöglicht werden.

Zur Bewertung der Güte soll die Fläche zwischen dem Flugbahnverlauf und dessen Projektion in die Horizontale herangezogen und mit der Fläche des Idealprofils verglichen werden.

Die Gütebewertung und die Analyse der CDA – Konformität sollen Hinweise für Untersuchungsschwerpunkte und Verbesserungspotenziale ermöglichen.

Quellen:

- A Draft Continuous Descent Operation (CDO) Manual
- B BAA Heathrow Flight Evaluation Report 2007
- C Adding Capacity at Heathrow Airport - CHAPTER 3 Heathrow in Future: Meeting the Environmental Tests

