

Ein Modell zur Berechnung zukünftiger Lärmimmissionen am Flughafen aus Fluglärm

Felix Will

Technische Universität München, Lehrstuhl für Luftfahrtsysteme, 85748 Garching, E-Mail: felix.will@tum.de

Einleitung

Fluglärm stellt für die Anwohner von Flughäfen und die Luftverkehrsindustrie eine Herausforderung dar. Das globale Luftverkehrsaufkommen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten circa alle 15 Jahre verdoppelt [1]. Zeitgleich konnte durch Technologieverbesserungen die Lärmemission einzelner Flugbewegungen signifikant reduziert werden. Zukünftig wird ein weiteres, beträchtliches Wachstum des Luftverkehrs erwartet, wohingegen die Lärmreduktion zukünftiger Flugzeugtypen möglicherweise weniger stark ausfallen wird als in den vergangenen Dekaden [1] [2].

Für die am Luftverkehr beteiligten Akteure ist es wichtig, die zukünftige Belastung aus Fluglärm abschätzen und verschiedene Lärminderungsstrategien und deren Auswirkungen auf die Lärmimmission am Flughafen bewerten zu können. Daher wurde in vergangenen Forschungsarbeiten ein Modell entwickelt, welches die an einem zu untersuchenden Flughafen erzeugte Lärmbelastung für zukünftige Szenarien quantifizieren kann. Das Modell wird im Folgenden in seinen Grundzügen vorgestellt und anschließend in einem kurzen Anwendungsfall beispielhaft angewandt.

Methodik

Die Grundstruktur des Modells besteht aus drei zu modellierenden Untersystemen wie in Abbildung 1 dargestellt [3]. Zunächst muss für einen zu untersuchenden Flughafen für den zu betrachtenden Zeithorizont ein zukünftiger Flugplan inklusive des zugrundeliegenden Flugzeug-Flottenmixes modelliert werden. Des Weiteren müssen die einzelnen im Flugplan enthaltenen Flugbewegungen hinsichtlich aller für die Lärmemission relevanter Charakteristika beschrieben werden. Zuletzt muss unter Beachtung der

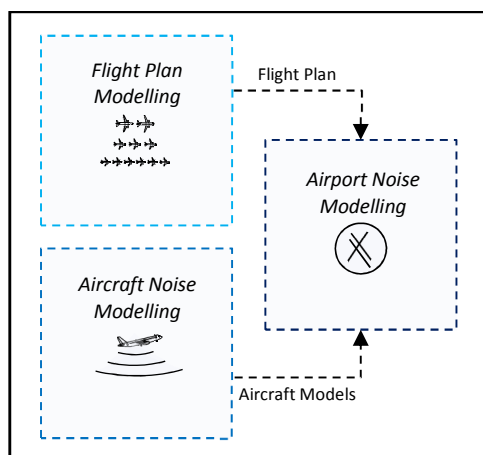


Abbildung 1: Grundstruktur des Modells bestehend aus drei modellierten Untersystemen. [3]

flughafenspezifischen Eigenschaften die am Flughafen entstehende Lärmimmission berechnet werden.

Die am Flughafen berechneten Immissionen werden als Dauerschallpegel (und deren Derivate) quantifiziert. In Anlehnung an die Vorgaben der Europäischen Union werden im Folgenden Day-Evening-Night (DEN) Pegel berechnet [4]. Die in dieser Arbeit ausgewertete Metrik ist die von einer Isokontour eingeschlossene Fläche (in km²). Die Auswertung anderer Metriken mit Hilfe der beschriebenen Methode ist möglich, ebenso wie die Bestimmung von Betroffenheitszahlen bei Vorhandensein eines Bevölkerungsmodells.

Flugplanmodellierung

Der zukünftige Flugplan ist essentiell für die zukünftige Lärmimmission am Flughafen. Die grundsätzliche Struktur der Modellierung zukünftiger Flugpläne wird in Abbildung 2 vorgestellt. Darin dient ein detaillierter Flugplan des zu untersuchenden Flughafens als Grundlage. Ausgehend aus dem Basisjahr des vorhandenen Flugplans wird in der Folge ein zukünftiger Flugplan iterativ für jedes Zukunftsjahr bestimmt. Die Bestimmung des Zukunftsflugplans ist darin abhängig von durch den Nutzer definierten Input-Daten und kann somit beliebige Zukunftsszenarien abbilden. Die Quantifizierung zukünftiger Flugpläne erfolgt nicht direkt auf der Anzahl von Flugbewegungen (OPS, operations), sondern auf Basis der Metrik AS (Available Seats, verfügbare Sitzplätze), wodurch die durchschnittliche Sitzplatzanzahl pro Flugbewegung als Freiheitsgrad der Modellierung erhalten bleibt.

Im ersten Modul (vgl. Abbildung 2) definiert der Nutzer das zukünftige Luftverkehrswachstum in Form von Verkehrswachstumsraten. Die Wachstumsraten können für jedes Zukunftsjahr individuell festgelegt werden. Außerdem können Wachstumsraten für Luftverkehr von und zu individuellen (Welt-)Regionen differenziert definiert werden.

Das zweite Modul berücksichtigt die Außerdienststellung von Flugzeugen. Hierbei wird im Modell standardmäßig ein statistischer Außerdienststellungsansatz angewandt. Der statistische Ansatz quantifiziert die sogenannte Überlebenswahrscheinlichkeit (POS, percentage of survival) eines Flugzeuges in Abhängigkeit des Flugzeugalters. Die Überlebenswahrscheinlichkeiten sind auf der statistischen Grundlage historischer Außerdienststellungen für verschiedene Flugzeugtyp-Cluster definiert. Prinzipiell kann der Nutzer auch alternative Außerdienststellungsfunktionen vorgeben.

Im dritten Modul wird aus der in Folge von Verkehrswachstum gestiegenen Nachfrage und dem in Folge von Außerdienststellung reduzierten Angebot eine Transportleistungslücke (engl. gap) berechnet. Diese Lücke

quantifiziert den Bedarf an Transportleistung, der durch die Indienststellung neuer Flugzeuge gedeckt werden muss.

Das vierte Modul ermöglicht dem Nutzer die Festlegung, durch Kombination welcher Flugzeugtypen die jeweilige Transportleistungslücke (s.o.) für ein spezifisches Zukunftsjahr geschlossen werden soll und somit, welche Flugzeugtypen in Dienst gestellt werden. Spezifische sogenannte Abtauschregeln können für jedes Zukunftsjahr definiert werden nach folgendem beispielhaften Schema: „Eine Flugplanlücke im Jahre t zugehörig zu Flugzeugtyp x wird gefüllt durch die Indienststellung der Flugzeugtypen x (20%), y (50%) und z (30%)“.

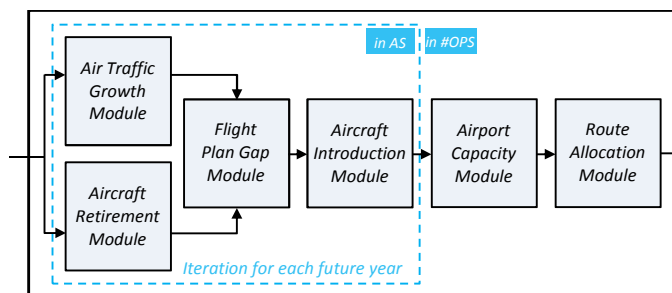


Abbildung 2: Struktur der Flugplanmodellierung: Generierung eines zukünftigen Flugplans (rechts) auf Grundlage eines Ausgangsflugplans (links) unter Berücksichtigung des Einflusses aus benutzerdefinierten Szenarioparametern in entsprechenden Modulen. [3]

Das fünfte Modul berücksichtigt vereinfacht den Einfluss von Flughafenkapazitätslimits durch die Spezifizierung des maximalen stündlichen Durchsatzes an Flugbewegungen. Flugbewegungen, die das flughafenspezifische Limit überschreiten, werden auf die nächstgelegene(n) Stunde(n) mit noch vorhandener Kapazität verschoben. In der Auswertung von DEN Pegeln z.B. wird dies relevant, sobald Flugbewegungen über die ursprünglichen Tageszeiten hinweg verschoben werden (beispielsweise von „Tag“ nach „Abend“).

Im sechsten Modul weist der Nutzer die Flugbewegungen eines erzeugten Zukunftsflugplans den entsprechenden Flugrouten (Anflug und Abflug) am Flughafen zu. Darin kann die Gesamtzahl der Flugbewegungen in beliebigen Anteilen auf die Routen verteilt werden; dergestalt kann auch die gewünschte Betriebsrichtungsverteilung spezifiziert werden.

Flugzeugmodellierung

Die Flugzeugmodellierung folgt dem Verfahren nach ECAC Doc. 29 [5]. Als konkrete Flugzeugdatenbank wird die Aircraft Noise and Performance Datenbank verwendet [6]. In der Modellierung von Flugzeugtypen, die (noch) keinen ANP-Datensatz besitzen, wie beispielsweise zu berücksichtigende zukünftige Flugzeugtypen, wird auf einen Vertreteransatz aus ECAC Doc. 29 zurückgegriffen. Um die entsprechenden Lärmreduktionen zukünftiger Typen zu berücksichtigen, werden die Differenzen aus Lärmzertifizierungswerten auf die Noise-Power-Distance (NPD) Daten angewandt. Darin wird angenommen, dass Differenzen in EPNdB mit Differenzen in SEL gleichzusetzen

sind, was für den Bereich konventioneller Flugzeugtypen eine tragfähige Annahme darstellt [7].

Flughafenmodellierung

Die Flughafenmodellierung inklusive der Berechnung resultierender Lärmimmissionen verwendet die Fähigkeiten des Aviation Environmental Design Tools (AEDT) der US-amerikanischen Luftfahrtbehörde FAA. Das AEDT ist der offizielle Nachfolger des zur Fluglärmrechnung anerkannten und weit verbreiteten Integrated Noise Model. Ein wesentlicher Vorteil des AEDT liegt in der Fähigkeit, gesamte Simulationen innerhalb einer einzelnen XML-Datei zu definieren. Das in diesem Paper beschriebene Modell nutzt diese Fähigkeit, indem auf Basis der benutzerdefinierten Daten eine vollständige XML-Datei automatisch erzeugt wird, was signifikante Gewinne bezüglich des Zeitaufwandes zur Definition und Berechnung mehrerer Szenarien ermöglicht.

Anwendung und beispielhafte Ergebnisse

Im Folgenden werden beispielhafte Ergebnisse des Modells in Kürze vorgestellt. Dazu wird zunächst ein generischer Zweibahnflughafen mit parallel unabhängigem Bahnsystem definiert. Die Flugbewegungen werden auf je vier generische Anflugstrecken und insgesamt acht generische Abflugstrecken verteilt. Als Basisflugplan dient der jahresgemittelte Flugplan eines europäischen Zweibahnflughafens des Jahres 2016. Die Modellierungen erfolgen für den Zeitraum der Jahre 2016 bis 2040.

Zunächst wird ein plausibler Referenzfall präsentiert, dessen szenariospezifische Input-Daten wie folgt definiert sind. Als Verkehrswachstumsraten dienen die Wachstumsraten des Airbus Global Market Forecasts für westeuropäische Flughäfen [1]. Bezüglich der Außerdienststellung werden die standardmäßigen Überlebenswahrscheinlichkeiten des entsprechenden Moduls verwendet (s.o.). Ein plausibles Indienststellungsszenario wird auf Grundlage der offenen Bestellungen wesentlicher Flugzeughersteller definiert. Zusätzlich werden hinsichtlich des Produktionsendes heutiger gefertigter Flugzeugtypen bzw. Produktionsbeginns zukünftiger Flugzeugtypen bekannte Jahreszahlen verwendet oder in Ermangelung offizieller Informationen angenommen.

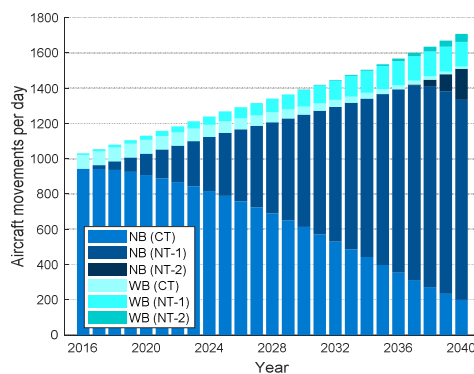


Abbildung 3: Referenzszenario. Entwicklung der Flugbewegungsanteile über die modellierten Jahre für Schmalrumpfflugzeuge (NB) und Großraumflugzeuge (WB) sowie verschiedene Technologiegenerationen (CT, NT-1, NT-2). [8]

Schmalrumpfflugzeuge werden durchweg durch Schmalrumpfflugzeuge sowie Großraumflugzeuge durch Großraumflugzeuge ersetzt. Die Lärmemission eines angenommenen NT-2 Schmalrumpfflugzeugtyps sowie eines angenommenen NT-2 Großraumflugzeugtyps entsprechen den langfristigen Lärmreduktionszielen der ICAO [2]. Ferner nimmt das Referenzszenario einen kapazitätsseitig unbeschränkten Flughafen an (d.h. der maximale Durchsatz ist unendlich). Die Betriebsrichtungsverteilung am Flughafen wird zu 40:60% festgelegt, die Zuordnung zur Flugroute erfolgt an Hand der Himmelsrichtung des Ziel-/Herkunftsflughafens. Sowohl Routen (horizontale Flugstrecken) als auch Prozeduren (vertikale Flugprofile) werden als konstant für zukünftige Jahre angenommen.

Abbildung 3 zeigt die modellierte Entwicklung der Flugbewegungsanteile differenziert in Schmalrumpf-/Großraumflugzeuge (NB von narrow-body; WB von wide-body) sowie in verschiedene Technologiegenerationen (CT: current technology; NT-1/2: new technology 1/2). Die Ergebnisse zeigen einerseits einen Anstieg der absoluten Flugbewegungszahlen, andererseits den Prozess der Flottenerneuerung durch Außerdienststellung alter Flugzeuge und Indienststellung neuer Flugzeuge.

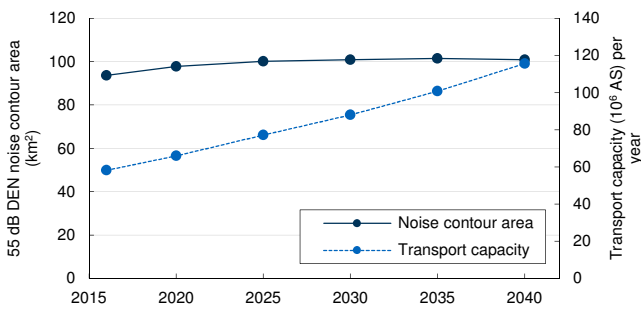


Abbildung 4: Referenzszenario. Entwicklung der Lärmkontourflächen (55 dB, links) sowie der Transportleistung (rechts) über die modellierten Jahre. [9]

Die daraus resultierende Entwicklung der 55 dB Lärmkontourflächen (DEN) ist in Abbildung 4 gezeigt. Zunächst zeigt der Verlauf der Transportleistung (gestrichelt) ein stetiges Wachstum und verdoppelt sich im untersuchten Zeitraum. Das demgegenüber etwas schwächere Wachstum in der Anzahl an Flugbewegungen (vgl. Abbildung 3) folgt aus der Indienststellung von Fluggerät mit durchschnittlich größerer Anzahl von Sitzplätzen pro Flugzeug. Des Weiteren zeigt Abbildung 4 als zentrales Ergebnis den im Vergleich zur Transportleistung andersgearteten Verlauf der Lärmkontourflächen: Nach einem anfänglich geringfügigen Wachstum findet das Flächenwachstum eine Sättigung und schließlich eine (sehr) geringe Reduktion. Die Flottenerneuerung schafft es im beobachteten Zeitraum folglich, die negativen Effekte des Luftverkehrswachstums deutlich zu vermindern bzw. mittel- bis langfristig zu kompensieren.

Als weiterer beispielhafter Fall wird der Einfluss eines hypothetischen, stark lärmreduzierten Studienflugzeuges untersucht. Als Grundlage des Szenarios dient das bereits vorgestellte Referenzszenario. Darüber hinaus wird die

zusätzliche Indienststellung eines Studienflugzeuges angenommen; in einer Simulationsreihe beginnend im Jahr 2030, in einer weiteren beginnend in 2035. Nach einer Anlaufphase von jeweils drei Jahren wird eine volle Produktion des Studienflugzeuges angenommen; fortan sind 50% aller in Dienst gestellter Schmalrumpfflugzeuge von Typ des Studienflugzeuges (die restliche Aufteilung wird gemäß des Referenzfalls definiert). Insgesamt werden in den Simulationen vier verschiedene Lärmreduktionen des Studienflugzeuges angenommen: Im Vergleich zum Flugzeugtyp Airbus A320 werden Reduktionen von -2.5 dB/-5 dB (Anflug/Abflug) bis hin zu -10 dB/-12.5 dB (Anflug/Abflug) definiert.

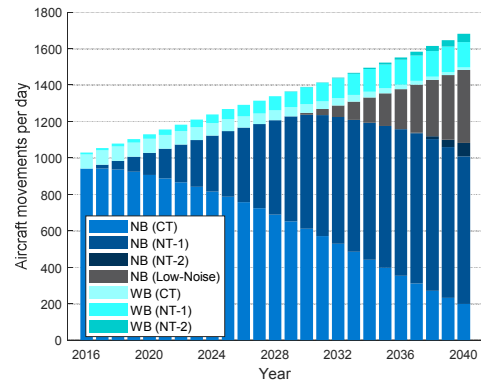


Abbildung 5: Einfluss eines lärmreduzierten Studienfliegers („Low-Noise“) mit Indienststellungsjahr 2030. Entwicklung der Flugbewegungsanteile über die modellierten Jahre. [9]

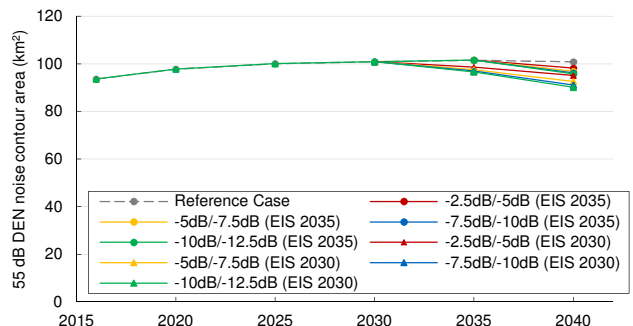


Abbildung 6: Einfluss eines lärmreduzierten Studienflugzeugtyps für Indienststellungsjahre 2030 und 2035 sowie für verschiedene Lärmreduktionen (Anflug/Abflug relativ zum Typ Airbus A320). Entwicklung der Lärmkontourflächen (55 dB) über die modellierten Jahre. [9]

Die Ergebnisse der Untersuchung des lärmreduzierten Studienfliegers sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt. Für das angenommenen Indienststellungsjahr 2030 nimmt das Studienflugzeug wie ersichtlich rasch signifikante Anteile am generischen Flughafen an (Abbildung 5: in grau). Die daraus resultierende Reduktion der Lärmmissionen am Flughafen ist abhängig von der angenommenen Lärmreduktion am Studienflugzeug selbst. Wie in Abbildung 6 zu erkennen, verringern sich die Lärmkontourflächen am Flughafen mit steigender Lärmreduktion des Studienflugzeuges. Ebenso wird deutlich,

dass seine frühere Indienststellung (EIS, entry into service) die Kontourflächen zumindest bis 2040 verringert. Die entsprechenden Lärminderungen am Flughafen können mit dem Modell quantifiziert werden.

Resümee

Das vorgestellte Modell wurde in vorgehenden Arbeiten entwickelt und validiert. Dieses Paper bietet einen kurzen Überblick über die Methodik und stellt die Ergebnisse beispielhafter Berechnungen vor. Das Modell kann prinzipiell auf beliebige Flughäfen angewandt werden. Wesentliche Fähigkeiten des Modells liegen in der Berücksichtigung des Einflusses des zukünftigen Luftverkehrswachstums, zukünftiger Außerdienststellungen, und zukünftiger Indienststellungen (inklusive der Vorgabe spezifischer Lärmreduktionen zukünftiger Flugzeugtypen). Des Weiteren bietet das Modell die Möglichkeit der Berücksichtigung von Kapazitätslimits des Start-/Landebahnsystems sowie die Definition spezifischer Routen- und Betriebsrichtungsverteilungen. Das Modell ist als szenariobasiertes Modell entwickelt und kann grundsätzlich beliebige Werte bezüglich der genannten Input-Daten verarbeiten. Somit ist das Modell in der Lage, ein weites Spektrum relevanter Zukunftsszenarien abzudecken. Die Berücksichtigung von Auswirkungen durch zukünftige Änderungen im Luftverkehrsmanagement (ATM, air traffic management) ist mit der verwendeten Methodik zwar prinzipiell möglich, im Modell aktuell allerdings nicht enthalten.

Literatur

- [1] Airbus: Global Market Forecast 2017-2036.
- [2] International Civil Aviation Organization: Report by the Second CAEP Noise Technology Independent Expert Panel: Novel Aircraft-Noise Technology Review and Medium- and Long-Term Noise Reduction Goals
- [3] Will, F., Engelke, C., Wunderlich, T.-O., Hornung, M.: Foundations of a Framework to Evaluate Impacts on Future Noise Situations at Airports. 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference
- [4] Europäische Gemeinschaft: Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm
- [5] European Civil Aviation Conference: ECAC.CEAC Doc. 29 3rd Edition: Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports.
- [6] Aircraft Noise and Performance (ANP) Database, URL: <https://www.aircraftnoisemodel.org>
- [7] Jones, K., Cadoux, R.: Metrics for Aircraft Noise: ERCD Report 0904
- [8] Will, F., Hornung, M.: A Framework To Assess Future Airport Noise Applied to a Two-Runway Airport. 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences
- [9] Will, F., Hornung, M.: Modeling, Analysis and Discussion of Future Airport Noise Scenarios of a Two-Runway Airport. AIAA Scitech 2019 Forum