

Berechnungsmodell für Fluglärm-Immissionen auf der Grundlage umfangreicher statistisch gesicherter Meßdatensätze

Thomas J. Meyer, Beratungsbüro für Fluglärmimmissionen

Egon Renz, Matthias Bosse, Flughafen München GmbH, Abteilung Umweltschutz

An Verkehrsflughäfen sind seit vielen Jahren automatisch registrierende Fluglärmüberwachungsanlagen installiert. Sie liefern kontinuierlich eine Fülle von Meßwerten, die über angeschlossene Rechner zentral verarbeitet werden. Dabei werden die einzelnen Fluglärmereignisse nach Flugzeugtypen, Start- und Landungsbewegungen und Abflugrichtungen sortiert. Zu jedem Fluglärmereignis werden die während des Vorbeifluges aufgetretenen Maximalpegel in dB(AS) und die zugehörigen Einzelereignispegel (in der Regel unter Verwendung der t_{10} -Zeiten) als L_{AX} ausgewertet und angegeben. Teilweise erfolgt auch eine direkte Pegelintegration zur Ermittlung des Sound Exposure Level SEL. Auf der Grundlage einer energetischen Auswertung der einwirkenden Fluglärmimmission führten Vergleichsmessungen am Flughafen München zu dem Ergebnis, daß der SEL in den interessierenden Entfernungsbereichen um etwa 1 dB(A) niedriger liegt als der L_{AX} -Wert. Da entsprechende Vergleiche zwischen in fast und slow gemessenen Einzelereignispegeln gezeigt haben, daß die Unterschiede ebenfalls im 1 dB-Bereich liegen, kann weiterhin davon ausgegangen werden, daß in dB(A) gemessene L_{AX} -Werte und daraus abgeleitete energieäquivalente Dauerschallpegel die Lärmwirkung von Fluglärmimmissionen zutreffend beschreiben.

Durch Auswertung von Meßstellen in Immissionsbereichen, in denen sich noch keine Abbiegekorridore gebildet haben, konnten statistisch sehr gut abgesicherte Immissionspegel in unterschiedlichen Entfernung der Schallquellen gewonnen werden. In diesen Bereichen ließen sich die Flugspuren den Meßergebnissen gut zuordnen.

Die durchgeführten Untersuchungen verfolgten drei Ziele:

Zunächst sollte ermittelt werden, inwieweit es zweckmäßig ist, Flugzeugtypen hinsichtlich ihrer energieäquivalenten Fluglärmimmissionen zusammenzufassen.

Dabei wurde der Ansatz verfolgt, daß einzelne in der Gruppe enthaltene Flugzeugtypen mit ihren logarithmisch gemittelten Maximalpegeln und Einzelereignispegeln vom Durchschnittswert der Gesamtgruppe um nicht mehr als ± 1 dB(A) abweichen sollten.

Ferner sollte die Zugrundelegung eines durchschnittlichen Anstiegsprofils beim Start im Mittel- und Kurzstreckenverkehr überprüft werden. Dieses Profil hatte sich aus der Auswertung umfangreicher photographischer Aufnahmen sowie aus Auswertungsergebnissen der Flugsicherung ergeben.

Schließlich war die Überprüfung einer im Rahmen des INM für startende Flugzeuge vorgeschlagenen Beziehung, die die Differenz zwischen dem Maximalpegel und dem zugehörigen Einzelereignispegel, ausschließlich von der Mindestentfernung zur Schallquelle abhängig macht, vorgesehen. Diese Beziehung lautet:

$$(1) L_{AX} = L_{max} + 7,19 + 7,73 \cdot \log(s/305)$$

Sie verzichtet auf die Berücksichtigung von Unterschieden der Fluggeschwindigkeit und auf die rechnerische Ermittlung der t_{10} -Zeit, für die in der Vergangenheit sehr unterschiedliche Vorschläge gemacht wurden.

Wenn die Überprüfung positiv ausfiel, sollte versucht werden, eine entsprechende Beziehung auch für landende Flugzeuge abzuleiten.

Ausgewählt wurden insgesamt 13 Meßstellen, denen die Flugbahnen der erfaßten Flugzeuge eindeutig zugeordnet werden konnten. Die Meßstellen lagen bei startenden Flugzeugen zwischen 3800 und 9300 m vom Anrollpunkt zum Start und bei landenden Flugzeugen zwischen 900 und 10200 m vom Aufsetzpunkt bei der Landung entfernt. Die seitlichen Entfernungen von der Flugspur lagen bei startenden Flugzeugen zwischen 30 und 930, bei landenden Flugzeugen zwischen 10 und 360 m. Damit wurde der Hauptbereich interessierender Fluglärmimmissionen abgedeckt. Im ersten Durchgang zeigte sich, daß die Flugzeugtypen B737-300 und 500 sowie A320 und 321 zusammengefaßt werden konnten, wenn alle Meßstellen zusammengenommen betrachtet werden. Der Flugzeugtyp Boeing 737-400 lag dagegen trotz ähnlicher Triebwerkskonfiguration beim Start um 1,8 dB(A) höher und bei der Landung mit $\pm 0,9$ dB(A) an der oberen Toleranzgrenze.

Da die Abweichung beim Start auf ein durchschnittlich etwas flacheres, aber innerhalb der Toleranzgrenze gelegenes Anstiegsprofil und nicht auf eine durchschnittlich signifikant höhere Schalleistung der Triebwerke zurück-geführt werden konnte, wurde auch dieser Typ in die näher untersuchte Flugzeuggruppe mit aufgenommen. Zusammen mit den Folgetypen gleicher Bauart umfassen die durchgeführten Untersuchungen damit mehr als 50 % des Gesamtflugverkehrs an den deutschen Verkehrsflughäfen. Es wurde nicht nur für das Normalprofil, sondern auch für die INM-Formel insgesamt eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt. Ausgewertet wurden insgesamt 71476 Meßwerte startender und 56224 Meßwerte landender Flugzeuge. Die Differenzen zwischen dem Rechenwert für den Einzelereignispegel nach (1) und den zugehörigen Meßwerten lagen beim Start an 10 ausgewerteten Meßstellen zwischen -0,5 und +0,9 dB. An einer Meßstelle wurde eine Abweichung von -1,8 dB festgestellt. Diese Meßstelle hatte bereits bei den Maximalpegeln um ca. 2 dB(A) höhere Werte ergeben, als entfernungsbedingt zu erwarten gewesen wären. Dies ließ sich örtlich durch Reflektion erklären. Der Einfluß auf den entfernungsabhängigen Durchschnittswert des Maximalpegels aller Meßstellen war mit 0,2 dB trotz eines überdurchschnittlichen Anteils am Gesamtkollektiv der Meßwerte aber nur sehr gering. Die Meßstelle wurde daher bei der Gesamtauswertung nicht eliminiert. Die Überprüfung der INM Formel ergab im Entfernungsbereich von 420 bis 1240 m Abweichungen von maximal ± 1 dB, wobei eine Entfernungsabhängigkeit nicht zu erkennen war. Die durchschnittliche Abweichung über alle Meßstellen war mit 0,04 dB vernachlässigbar gering. Das gleiche galt mit 0,01 bzw. -0,03 dB(A) für die Abweichungen der einzelnen beteiligten Flugzeugtypen über alle Meßstellen zusammen genommen jeweils für die zugehörigen Maximalpegel und Einzelereignispegel. Die Gültigkeit der im Rahmen des INM vorgeschlagenen Formel konnte somit in vollem Umfang bestätigt werden. Ergänzende Messungen bestätigten dies im Entfernungsbereich über die im Auswertungsprogramm erfaßten 1240 m hinaus bis zu Entfernungen von 2000 m zwischen Schallquelle und Immissionsort. Nachdem sich für startende Flugzeuge die Annahme einer ausschließlich entfernungsabhängigen Beziehung zwischen Einzelereignispegel und Maximalpegel bestätigt hatte, wurde der Versuch unternommen, auch für landende Flugzeuge eine ausschließlich entfernungsabhängige Beziehung abzuleiten. Beim Vergleich der an landenden Flugzeugen gewonnenen Meßwerte fiel zunächst auf, daß bei seitlich flachem Vorbeiflug nicht nur die Maximalpegel sondern auch die Einzelereignispegel signifikant niedriger lagen als bei steilerem Vorbeiflug.

Dies erscheint durch die Rumpfabschirmung bis zu Einstrahlwinkeln zwischen 25 und 30° plausibel. Da die Abweichungen der gemessenen Maximalpegel und zugehörigen Einzelereignispegel von gleicher Größenordnung sind, wurden die zugehörigen Meßstellen in die Auswertung ebenfalls einbezogen und die Rumpfabschirmung durch einen Faktor $k = 14,5$ ($0,53 - \text{tg } \delta$) für $\delta \leq 28^\circ$ berücksichtigt. Die hieraus resultierende Bodenabschirmung von 7,7 dB(A) für nach der Landung ausrollende Flugzeuge liegt im mittleren Bereich der in der AzB sowie anderen Regelwerken wie VDI-Richtlinien und DIN-Normen getroffenen Annahmen.

Als Ergebnis der Auswertungen konnte für landende Flugzeuge die Beziehung

$$(2) L_{AX} - L_{max} = 5,5 \log(S/1,26) - 4,1 \text{ dB(A)}$$

gefunden werden. Die Abweichung der gerechneten L_{AX} -Werte von den Meßwerten lag an den 7 Meßstellen zwischen -0,9 und +0,5 dB(A), wenn auch hier eine Meßstelle zunächst unberücksichtigt bleibt, an der reflexionsbedingt sowohl die Maximalpegel als auch die zugehörigen L_{AX} -Werte um ca. 2 dB(A) höher lagen als entfernungsbedingt zu erwarten. Auch hier liegt der Einfluß auf das Gesamtergebnis jedoch trotz eines überproportionalen Anteils an der Gesamtzahl der Meßwerte unter 0,3 dB, so daß die Meßstelle in die Auswertung mit einbezogen wurde. Die Abweichung von der für landende Flugzeuge gefundenen Formel lag im Entfernungsbereich zwischen 130 und 530 m zwischen -0,5 und +0,7 dB(A) mit einer durchschnittlichen Abweichung über alle Meßstellen von lediglich 0,15 dB. Die Abweichungen der einzelnen beteiligten Flugzeugtypen über alle Meßstellen zusammengenommen waren für die zugehörigen Maximalpegel und Einzelereignispegel mit jeweils weniger als $\pm 0,05$ dB vernachlässigbar gering.

Für die entfernungsbedingte Umrechnung der rechnerisch für die untersuchte Flugzeuggruppe zu erwartenden Maximalpegel liefern die in der AzB für die Flugzeugklassen 18 beim Start bzw. 19 bei der Landung tabellierten Werte eine gute Grundlage. Für startende Flugzeuge konnte an allen Meßstellen Schubreduktion vorausgesetzt werden. Die vorgetragenen Resultate beziehen sich auf Schalleistungen, die beim Start gegenüber den aus der AzB abzuleitenden Werten der Flugzeugklasse 18 um 7 dB(A) der der Flugzeugklasse 19 um 4 dB(A) niedriger liegen.

