

DISS. ETH Nr. 17433

Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen

A B H A N D L U N G

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

GEORG THOMANN

eidg. dipl. Kulturingenieur ETH,
Studienrichtung Umweltingenieur
geboren am 25.01.1965
von Mutten, GR

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Willy A. Schmid, Referent
Prof. Dr. Bernd Scholl, Korreferent
Dr. Robert Hofmann, Korreferent
Dr. Ullrich Isermann, Korreferent

2007

Kurzfassung

Fluglärm wird heute üblicherweise mit Computerprogrammen flächendeckend berechnet. In den seltensten Fällen werden aber Angaben zur Unsicherheit von solchen Berechnungen gemacht; zudem fehlen Anweisungen, wie die Rechts- und Vollzugspraxis mit Unsicherheiten umgehen soll. Die vorliegende Arbeit versucht, diese Lücken zu schliessen. Zuerst wird ein methodischer Ansatz gegeben, mit dessen Hilfe die Unsicherheit von Gesamtbelastungen flächendeckend abgeschätzt werden kann; dann wird ein Konzept unterbreitet, wie bei der gesetzlichen Beurteilung von Fluglärmbelastungen die Unsicherheiten berücksichtigt werden können.

Zur flächendeckenden Ermittlung der Berechnungsunsicherheiten wird das Fluglärmmodell FLULA2 analysiert. Folgende Modellkomponenten werden als Hauptbeiträge zur Berechnungsunsicherheit identifiziert: Die Modellierung des Flugzeugs als Schallquelle und die Modellierung der Schallausbreitungsvorgänge. Die Standardunsicherheit des Flugzeugs als Schallquelle ist von Flugzeugtyp zu Flugzeugtyp verschieden und bewegt sich wegen der unterschiedlichen Qualität der Datenbasis zwischen 0.5 und 5 dB. Im Mittel ist es 1.4 dB. Die Standardunsicherheit in der Modellierung der Schallausbreitungsvorgänge ist ebenfalls typenabhängig. Unterhalb von 300 Metern wird sie aber von der Unsicherheit in der exakten Bestimmung der Flugzeugposition bestimmt. Sie beträgt dort mehr als 3 dB. Ab einer Entfernung von einem Kilometer zwischen Quelle und Empfänger werden die meteorologischen Effekte bestimmend. Die Standardunsicherheit beträgt ab dieser Distanz je nach Flugzeugtyp und Flugoperation zwischen 1.5 und 2.4 dB; sie nimmt pro Kilometer um 0.2 bis 0.8 dB zu.

Eine Jahresbelastung setzt sich aus einer Vielzahl von berechneten Einzelflügen zusammen. Jeder dieser Einzelflüge weist je nach Flugzeugtyp und Distanz zwischen Quelle und Empfänger unterschiedliche Unsicherheiten auf. Aus diesen einzelnen Unsicherheitsbeiträgen wird mittels Simulation unter Anwendung der Fehlerfortpflanzung die Standardunsicherheit von Jahresbelastungen flächendeckend berechnet. Zu diesem Zweck wurde FLULA2 geeignet erweitert. Es resultieren für reale Belastungszustände in Genf und Zürich Standardunsicherheiten für den Mittelungspegel von 0.5 dB tags und 1.0 dB nachts. In Prognosen dagegen muss man wegen unsicherer Annahmen über den Flugbetrieb mit Standardunsicherheiten beim Mittelungspegel von 0.9 resp. 1.2 dB rechnen.

Um zu prüfen, ob sich die FLULA-Berechnungen signifikant von Messungen unterscheiden, werden die berechneten Jahresbelastungen mit Messungen verglichen. Der Signifikanztest erfolgt dabei unter Einbezug der Berechnungs- und Messunsicherheiten. Es zeigt sich, dass die Messunsicherheit zwar vom Messstandort abhängt, jedoch ähnliche Werte annimmt wie die Berechnungsunsicherheit. Je nach Messstandort betragen die Standardunsicherheiten gemessener Jahresbelastungen zwischen 0.5 und 0.9 dB. Bei automatischen Messanlagen treten zudem als Folge von Schwellenkriterien und wegen Fremdgeräuschen systematische Fehler auf, welche korrigiert werden müssen. Der Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Jahresbelastungen zeigt bei FLULA2 unter Einbezug der Berechnungs- und Messunsicherheit in der Regel keine signifikanten Abweichungen. Dennoch verbleiben je nach Standort Differenzen in der Grössenordnung von 1 bis 2 dB.

Werden neben FLULA2 noch andere Berechnungsverfahren angewendet, sollten die Berechnungsunsicherheiten als Vorhaltemass zum berechneten Belastungswert addiert werden, bevor eine Lärmbeurteilung nach dem Gesetz vorgenommen wird. Zudem sollten zur Beurteilung nur Berechnungsverfahren eingesetzt werden, die validiert sind, die keine systematischen Abweichungen gegenüber Messungen zeigen und deren Berechnungsunsicherheiten vorgegebene Toleranzwerte auf einem noch zu definierenden Konfidenzniveau nicht überschreiten. Die Toleranzwerte werden als Grenzsicherheiten bezeichnet. Sie betragen je nach Tageszeit 1.5 und 2.5 dB und orientieren sich an den Belastungsgrenzwerten für Fluglärm des Schweizer Umweltschutzgesetzes.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass es mit FLULA2 unter bestimmten Voraussetzungen technisch möglich ist, die Grenzsicherheiten mit einem Konfidenzniveau von 90% einzuhalten. Es obliegt nun den richterlichen und behördlichen Instanzen die Regeln zu definieren, wie Berechnungsunsicherheiten bei der Beurteilung von gesetzlich relevanten Lärmbelastungen zu berücksichtigen sind. Dabei müssen das Konzept der Berechnungsunsicherheit als Vorhaltemass, das Konzept der Grenzsicherheit sowie die gerade noch tolerierbaren Irrtumswahrscheinlichkeiten diskutiert und festgelegt werden. Die vorliegende Arbeit liefert die Grundlagen dazu.

Abstract

Although aircraft noise around airports is determined by calculations, the uncertainties of such calculations are very rarely specified. In addition, there is no guidance to courts and administrative bodies on how to handle such uncertainties in applying the legal noise limits. The present thesis is focussed on closing these gaps. First it provides information on methods for estimating uncertainties in all the areas covered by the noise contours and then it shows the possibilities for handling these uncertainties in assessing noise impact at specific sites.

In order to estimate the various uncertainties over the entire area of interest, the aircraft noise calculation program FLULA2 has been analysed in detail. Two main components emerge: Uncertainties in estimating the sound source of the aircraft under real operational conditions and uncertainties in estimating the various effects of sound propagation. The contributions of those two components to the uncertainty of a single flight depend on the reliability of the source data and on the distance between aircraft and receiver. For example, the data base of the program FLULA2, developed and used at Empa yields a standard uncertainty of 0.5 dB for frequently operating aircraft (where a large data base is available). This increases up to 5 dB for infrequently operating aircraft where few measurements are available.

For distances shorter than about 300 m the standard uncertainty of propagation is dominated by uncertainties in knowing the exact aircraft position; this uncertainty amounts to more than 3 dB. At distances greater than one kilometre, meteorological effects become dominant. Depending on the operation (departure / landing) and on the aircraft type, the uncertainty of propagation at one kilometre range from 1.5 to 2.4 dB and increases by 0.2 to 0.8 dB with each additional kilometre.

The average noise impact over a year results from the combination of many single flights. Each single flight has its own uncertainties depending on aircraft type and distance between aircraft and receiver. Using the laws of error propagation and simulation programs, the overall uncertainty can be estimated. For this purpose the program FLULA2 was extended. For scenarios of recent years at the airports of Geneva and Zurich a standard uncertainty of the L_{Aeq} ranges from 0.5 dB for daytime to 1.0 dB for the night-time. For predictions, the uncertainty of the assumptions for a future scenario will increase the overall uncertainty of calculations to 0.9 to 1.2 dB.

To check if there is a significant deviation between calculated and measured yearly noise impacts, the comparison must include the uncertainties due to both, i.e. calculation and measurement. The measurement uncertainty depends on the specific location and is of the same order of magnitude as the uncertainty of calculations, namely between 0.5 and 0.9 dB. However, these figures only derive from automated stations after having accounted for systematic deviations due to trigger levels and environmental noise contamination. The comparison between yearly aircraft noise calculated with FLULA2 and the noise measured at monitoring microphones shows on the average no significant deviation. Nevertheless, depending on the specific site, there remain differences in the order of 1 to 2 dB.

If noise calculation programs other than FLULA2 are used to assess legally relevant noise impacts it is proposed to add the uncertainty of the calculation to the calculated value as tolerance factor (in German called "Vorhaltungsmass"). Further, only noise calculation programs should be used, which are validated, which have no systematic deviations compared to measurements and which have calculation uncertainties below a predefined limit value. The predefined limit value is derived from the legal limits. They amount to 1.5 dB for daytime and 2.5 dB for night-time.

The present work shows that under certain conditions it is possible to remain below the limits of 1.5 dB and 2.5 dB with a confidence level above 90%. It is now up to administrative and legal bodies to set up rules on how to account for uncertainties of calculations in evaluating noise situations close to relevant limit values. The concept of uncertainty as tolerance factors and the coverage factor to be used need to be discussed. The present work provides the basic information for guidance on how to handle uncertainty in estimates.