

> Leitfaden Fluglärm

Vorgaben für die Lärmmessung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL

Generalsekretariat VBS

> Leitfaden Fluglärm

Vorgaben für die Lärmermittlung

Herausgeber:
Bundesamt für Umwelt BAFU
Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL
Generalsekretariat des Eidg. Departementes für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport GS VBS
Bern, 2021

Rechtlicher Stellenwert dieser Publikation

Diese Publikation ist eine gemeinsame Vollzugshilfe des BAFU als Fachbehörde des Bundes für Lärm sowie des BAZL und des VBS als Leitbehörden des Bundes bei zivilen bzw. militärischen Flugplätzen, die auch Umweltrecht vollziehen. Die Publikation konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Leitbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Umweltrecht aus Sicht der Fachbehörde bundesrechtskonform vollziehen.

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)

BAFU und BAZL sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Generalsekretariat des Eidg. Departementes für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (GS VBS)

Begleitung und Mitglieder der Arbeitsgruppe

Fluglärmrechnungsverfahren

Kornel Köstli, Maurus Bärlocher BAFU

Daniel Hiltbrunner, BAZL

Amilcare Foglia, Bruno Locher, VBS

Walter Krebs, EMPA

Peter Jaberg, Thomas Heierle, Bächtold & Moor AG

Ernst Lobsiger, Lobsiger Consulting

Fabio Breda, Ecocontrol

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2021: Leitfaden Fluglärm. Vorgaben für die Lärmermittlung.

Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug

Nr. 1625: 36 S.

Gestaltung

Karin Nöthiger, Niederrohrdorf

Titelbild

BAFU

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-1625-d

Eine gedruckte Fassung kann nicht bestellt werden.

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2021

> Inhalt

Abstracts	5	Anhang	32
Vorwort	7	A1 Kurzbeschrieb der wichtigsten Modellansätze von Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames SANC-REF	32
Zusammenfassung	8		
<hr/>			
1 Grundlagen	10	Literatur	34
1.1 Allgemeine rechtliche Grundsätze	10	Verzeichnisse	35
1.2 Geltungsbereich der Vollzugshilfe	11		
<hr/>			
2 Datenaufbereitung	12		
2.1 Betriebsdaten	12		
2.2 Massgeblicher Flugbetrieb, Flugbewegungszahlen	14		
2.3 Topografie	16		
<hr/>			
3 Berechnungen	17		
3.1 Konzept für Programmempfehlungen durch das BAFU	17		
3.2 Übersicht über die Instrumente SANC-Tools	18		
3.2.1 SANC-DB	18		
3.2.2 SANC-TE	20		
3.2.3 SANC-REF	21		
3.3 Berechnungsvorgaben und Referenzansätze	23		
3.3.1 Quellenstärke/Emissionen	23		
3.3.2 Schallausbreitung	24		
3.3.3 Immissionen	25		
3.4 Besonderheiten bei der Ermittlung von Helikopterlärm	27		
<hr/>			
4 Messungen	28		
4.1 Allgemeine Anforderungen	28		
4.2 Anforderungen zu spezifischen Situationen	28		
<hr/>			
5 Dokumentation der Ergebnisse	29		
5.1 Anforderungen bei Berechnungen	29		
5.2 Anforderungen bei Messungen	31		

> Abstracts

This implementation tool specifies the general requirements of the noise abatement ordinance (NAO) concerning procedures for calculating aircraft noise. The Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), the Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) and the reference model approaches provide important quality assurance instruments. They ensure the equivalence of different calculation programs without threatening implementation continuity and therefore legal security, nor do they call into question the free of choice of the method.

Die vorliegende Vollzugshilfe konkretisiert die allgemeinen Anforderungen der Lärmschutz-Verordnung (LSV) an Berechnungsverfahren für Fluglärm. Mit der Quelldatenbank Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), der Testumgebung Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) und Referenz-Modellansätzen werden wichtige Instrumente zur Qualitätssicherung entsprechender Programme vorgegeben. Damit kann die Gleichwertigkeit und Qualität von Berechnungsergebnissen gewährleistet werden, ohne die Vollzugskontinuität und damit die Rechtssicherheit zu gefährden oder die Methodenfreiheit in Frage zu stellen.

La présente aide à l'exécution concrétise les exigences générales de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) concernant les méthodes de calcul du bruit du trafic aérien. La base de données «Swiss Aircraft Noise Calculation Database» (SANC-DB), l'environnement de test «Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment» (SANC-TE) et l'approche du modèle de référence sont des instruments importants permettant d'assurer la qualité des logiciels concernés. L'équivalence et la qualité des résultats de calcul est ainsi assurée sans que soit menacée la continuité de l'exécution (et donc la sécurité juridique), ni que soit remise en question la liberté du choix de la méthode.

Il presente aiuto all'esecuzione concretizza le esigenze generali dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) per quanto concerne i metodi di calcolo del rumore del traffico aereo. La banca dati Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), l'ambiente di test Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) e gli approcci di modelli di riferimento proposti costituiscono strumenti importanti per la garanzia della qualità. L'equipollenza e la qualità di vari programmi di calcolo può di fatto essere assicurata senza impedire la continuità dell'esecuzione (e quindi la sicurezza giuridica) o mettere in questione la libertà di scelta del metodo.

Keywords:

aircraft noise calculation,
source data base SANC-DB,
test environment SANC-TE,
reference model,
quality assurance

Stichwörter:

Fluglärm Berechnung,
Quelldatenbank SANC-DB,
Testumgebung SANC-TE,
Referenz-Modellansätze,
Qualitätssicherung

Mots-clés:

calcul du bruit des aéroports,
base de données SANC-DB,
environnement-test SANC-TE,
modèles de référence,
assurance qualité

Parole chiave:

calcolo del rumore del traffico
aereo,
banca dati di base SANC-DB,
ambiente di test SANC-TE,
approcci di modelli di riferimento,
garanzia della qualità

> Vorwort

In der Schweiz sind rund 100 000 Menschen von schädlichem Fluglärm betroffen. Der Bund, die Flugplatzbesitzer und die Airlines sind verpflichtet, diese Immissionen zu senken. Um die Belastung durch Lärm und die Wirkung von Massnahmen schweizweit vergleichbar zu behandeln, müssen qualitativ hochstehende Berechnungsmodelle eingesetzt werden. Während vom BAFU für Strassen- und Eisenbahnlärm bereits in den 1980er und 1990er Jahren Anleitungen zur computergestützten Berechnung der Lärmimmissionen zur Verfügung gestellt oder für Schiesslärm sogar ein konkretes PC-Programm erarbeitet wurde, existierte eine solche Vorlage für Fluglärm bislang nicht. Teilweise mit Unterstützung der Bundesbehörden entstanden stattdessen in zwei voneinander unabhängigen Entwicklungen die beiden proprietären Berechnungsprogramme FLULA2 und IMMPAC. Diese beiden Programme verwenden teilweise unterschiedliche physikalische Modellansätze zur Beschreibung der Flugzeuge als Schallquelle sowie der Schallausbreitung. Dabei ergab sich eine Trennung ihrer Einsatzbereiche: Während IMMPAC bei Flugfeldern und Regionalflugplätzen angewendet wird, steht FLULA2 hauptsächlich bei den Landes- und Militärflugplätzen im Einsatz.

Mit der vorliegenden Publikation werden Entwicklern und Anwendern von Berechnungsprogrammen konkrete Informationen für LSV-konforme Fluglärmrechnungen nach dem Stand der Technik vorgegeben, ohne dabei die bisher praktizierte Methodenfreiheit aufzugeben. Die vorliegende Vollzugshilfe sorgt für eine Vereinheitlichung der Fluglärmrechnung und damit im Vollzug für gleiche Bedingungen für alle direkt Beteiligten – für die Flugplatzbetreiber ebenso wie auch für die von Lärm Betroffenen.

Josef Hess
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

> Zusammenfassung

Die schweizerischen Rechtsgrundlagen bezüglich der Berechnungsmethoden des Fluglärms finden sich im Umweltschutzgesetz (USG) und in der Lärmschutz-Verordnung (LSV). Fluglärmimmissionen werden danach grundsätzlich rechnerisch ermittelt. Dies schliesst eine Ermittlung via Messungen zwar nicht aus, dennoch kommt der Berechnung ein grosser Stellenwert zu. Die Lärmberechnungen müssen deshalb dem Stand der Technik entsprechen und schweizweit zu vergleichbaren Ergebnissen führen. Die Vorschriften für Lärmberechnungen müssen zudem vollzugstauglich sein und sich nicht als technische Handelshemmnisse auswirken. Artikel 38 Absatz 2 LSV delegiert dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Aufgabe, geeignete Berechnungsverfahren für Fluglärm zu empfehlen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die vorliegende Vollzugshilfe setzt diesen Auftrag um. Sie soll zum einheitlichen und korrekten Vollzug der LSV bei der Ermittlung von Fluglärmimmissionen beitragen. Sie wendet sich damit an Vollzugsbehörden sowie an Fachleute, welche entsprechende Berechnungsverfahren und Computerprogramme entwickeln oder anwenden. Weiter konkretisiert sie die allgemeinen rechtlichen Anforderungen an Fluglärmerechnungen in der Schweiz.

Zweck, Zielgruppe

Zur Ausarbeitung der Vollzugshilfe wurde unter der Leitung des BAFU eine Arbeitsgruppe eingesetzt. Darin waren die wichtigsten involvierten Bundesstellen sowie Entwickler und Nutzer von Fluglärmerechnungsprogrammen in der Schweiz vertreten. Nach Bedarf zog die Arbeitsgruppe externe Experten bei und konsultierte weitere interessierte Kreise, namentlich die Landesflughäfen.

Arbeitsgruppe
Fluglärmerechnungsverfahren

Im ersten Kapitel «Grundlagen» werden die Grundlagen für die Berechnung von zivilen und militärischen Fluglärmimmissionen gemäss Anhang 5 und 8 LSV dargelegt. Zur Abgrenzung des Geltungsbereiches wird zudem dargelegt, was kein Fluglärm im Sinne der Verordnung ist, bzw. wie mit Betriebslärm am Boden umzugehen ist.

Kapitel 1: Grundlagen und
Abgrenzung der Vollzugshilfe

Das zweite Kapitel «Datenaufbereitung» konkretisiert die Anforderungen an die Datenaufbereitung im Hinblick auf eine LSV-konforme Fluglärmeremittlung. Dabei wird dargelegt, was der für die Lärmermittlung massgebende Betrieb ist und wie die auf einem Spitzenbetrieb beruhenden stündlichen Flugbewegungszahlen in eine Berechnung einzufließen haben. Weitere berechnungsrelevante Punkte wie die Berücksichtigung des Flottenmixes, die Erstellung von Flugzeugklassen, die Berücksichtigung von Neben- oder Seitenspuren bei Flugrouten sowie die Verwendung von Radardaten werden erörtert.

Kapitel 2 «Datenaufbereitung»:
Umgang mit Spitzenbetrieb,
Flugzeugklassen, Radardaten

Im dritten Kapitel «Berechnung» sind die Vorgaben an Fluglärmprogramme zusammengestellt. Dabei bleibt die Methodenfreiheit gewahrt, indem möglichst wenig explizite Vorschriften gemacht werden. Entscheidend ist, dass Programme, die vom BAFU empfohlen werden sollen, in einer definierten Testumgebung Lärmkurven berechnen, die innerhalb eines vorgegebenen Referenzrahmens liegen. Für diese Tests hat die Arbeitsgruppe die Instrumentensammlung Swiss Aircraft Noise Calculation Tools (SANC-Tools) entwickelt. Die Instrumente beinhalten eine Datenbank SANC-DB, eine Testumgebung SANC-TE und den Referenzrahmen SANC-REF:

**Kapitel 3 «Berechnung»:
Swiss Aircraft Noise Calculation
Tools SANC-Tools**

Den grössten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse haben die den einzelnen Flugzeugtypen zugeordneten akustischen Quellendaten. Grundlage für die Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB) bilden die bisher in der Schweiz verwendeten Daten der Empa und des Bundesamtes für Zivilluftfahrt (BAZL). Sie bilden neu die akustische Quellenreferenz für Fluglärberechnungen gemäss LSV in der Schweiz. Die konkreten Quellenmodelle in den zur Anwendung kommenden Fluglärmprogrammen sind mit diesen Daten zu generieren bzw. kalibrieren.

**Swiss Aircraft Noise Calculation
Database SANC-DB
Quellenreferenz**

Die Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) dient der Prüfung verschiedener Programme. Als Testumgebung beinhaltet SANC-TE zwei künstlich generierte Flugplätze mit einem schematischen Geländemodell zusammen mit verschiedenen An- und Abflugrouten. Als Testaufgaben sind verschiedene Betriebszenarien realistischer Belastungszustände definiert worden, welche es im Hinblick auf die Erlangung einer Empfehlung zu berechnen gilt. Die Auswertung erfolgt sodann sowohl anhand der auf Mittelungspegel (L_{eq}) beruhenden Szenarien als auch anhand der auf Ereignispegel (L_{AE}) beruhenden Einzelflugauswertungen.

**Swiss Aircraft Noise Calculation
Test Environment SANC-TE**

Die Referenzrahmen Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames SANC-REF geben für jedes der Prüfzenarien in SANC-TE Vertrauensbereiche für die Berechnungen an. Programme, welche Lärmbelastungen innerhalb der Rahmen SANC-REF berechnen, können grundsätzlich für Fluglärberechnungen nach LSV empfohlen werden. Die Grundlagen dieser Referenzrechnung sind beschrieben und erläutert.

**Swiss Aircraft Noise Calculation
Reference Frames SANC-REF**

Schliesslich geben die beiden Kapitel «Messungen» und «Darstellung der Ergebnisse» einen Überblick über die vorhandenen Vorgaben zu den beiden Themen bezüglich Fluglärm und stellen die wichtigsten Anforderungen zusammen.

**Kapitel 4 und 5: Messung und
Darstellung der Ergebnisse**

1 > Grundlagen

Die Ermittlung von Fluglärmimmissionen erfolgt auf der Grundlage der allgemeinen Grundsätze, wie sie im USG und in der LSV formuliert sind. Die Konkretisierungen dieser Vollzugshilfe beziehen sich auf die Ermittlung von zivilen und militärischen Fluglärmimmissionen gemäss Anhang 5 und 8 LSV. Zur Abgrenzung des Geltungsbereiches wird ebenfalls dargelegt, wann Lärm auf Flugplätzen kein Fluglärm im Sinne der Verordnung ist.

1.1 Allgemeine rechtliche Grundsätze

Nach Artikel 38 Absatz 3 USG bestimmt der Bundesrat, welche Prüf-, Mess- und Berechnungsmethoden anzuwenden sind. Dabei müssen die methodischen Vorschriften verschiedene Anforderungen erfüllen¹: **USG**

- > Sie haben dem Stand der Technik bzw. dem Stand der Wissenschaft zu entsprechen.
- > Sie sollen vollzugstauglich sein (Genauigkeit, Bedienung, Finanzierung etc.).
- > Sie sind grundsätzlich so auszugestalten, dass sie sich nicht als technische Handelshemmnisse auswirken.

Artikel 38 Absatz 2 LSV hält fest, dass Fluglärm grundsätzlich durch Berechnung zu ermitteln ist. Die Berechnungen sind dabei nach dem anerkannten Stand der Technik durchzuführen und das BAFU wird beauftragt, geeignete Berechnungsverfahren zu empfehlen. Neben diesen fluglärmspezifischen Vorgaben sind in Anhang 2 LSV generelle Anforderungen an Lärmberechnungsverfahren festgelegt. **LSV**

Davon ausgehend, dass Fluglärm grundsätzlich berechnet werden soll, stellt sich die Frage nach dem Stand der Technik. Stellt man auf den Stand der Technik ab, wie er in Artikel 4 Absatz 2 der Luftreinhalte-Verordnung verlangt wird, so muss wenigstens verlangt werden, dass die Methode im In- oder Ausland erfolgreich erprobt oder bei Versuchen erfolgreich eingesetzt wurde und nach den Regeln der Technik auf andere Anwendungen übertragen werden kann². **Stand der Technik**

Aus diesem Grund ist im Vorfeld zu dieser Publikation im Auftrag des BAFU eine umfassende Bestandesanalyse über die gängigsten im Einsatz stehenden Fluglärmberechnungsprogramme durchgeführt worden¹¹. Ausgehend von dieser Bestandesanalyse wurden die Swiss Aircraft Noise Calculation Tools (SANC-Tools, vgl. Kapitel 3.2) entwickelt und schliesslich geeignete Fluglärmberechnungsprogramme empfohlen (vgl. Kapitel 3.1). **Bestandesanalyse**

¹ Ursula Brunner, in: Kommentar zum USG, N 16a zu Art. 38

² Ursula Brunner, in: Kommentar zum USG, N 16a zu Art. 38

1.2 Geltungsbereich der Vollzugshilfe

Die in der vorliegenden Vollzugshilfe konkretisierten Anforderungen beziehen sich sowohl auf die Ermittlung von Fluglärmmissionen nach Anhang 5 (Lärm von zivilen Flugplätzen) als auch nach Anhang 8 LSV (Lärm von Militärflugplätzen). Sie betreffen ebenfalls die Ermittlung der Lärmmissionen von Helikopterbewegungen auf militärischen Waffenplätzen, welche feste Installationen aufweisen wie befestigte Landestellen, Hangars oder Betankungsanlagen (Anhang 9 Ziff. 1 Abs. 4 LSV).

Der Lärm von Reparaturwerkstätten und Unterhaltsbetrieben für Fluggeräte sowie jener von Hilfstriebwerken (auxiliary power units, APU) wird gemäss Anhang 5 Ziffer 1 Absatz 5 LSV dem Industrie- und Gewerbelärm gleichgestellt und ist nach Anhang 6 LSV zu ermitteln und zu beurteilen. Ebenso wird der Lärm des Rollverkehrs der Flugzeuge zu und von der Startbahn (Taxiing) dem Industrie- und Gewerbelärm gleichgestellt. Dies entspricht den Vorgaben nach Doc 29 der ECAC^[2].

In die Fluglärmernmittlung einzubeziehen sind beim Start der Flugzeuge die Lärmmissionen ab Startfreigabe auf der Piste, d. h. ab Beginn der Beschleunigungsphase. Bei der Landung sind die Lärmmissionen im Rahmen der Ermittlung bis zum Ende der Verzögerungsphase auf der Piste mit einzubeziehen, d. h. bis die Flugzeuge in konstantem Tempo von der Piste auf die Rollwege fahren.

Bei den Helikoptern gilt die Phase des Motor- bzw. Turbinenwarmlaufens vor dem Start bzw. nach der Landung als Fluglärm, auch wenn der Helikopter zu dieser Zeit am Boden steht.

Anwendungsbereich LSV

Abgrenzung zu Industrie- und Gewerbelärm;
Lärm von Rollverkehr

Flugzeug-Fluglärm

Helikopter-Fluglärm

2 > Datenaufbereitung

Dieses Kapitel konkretisiert die Anforderungen an die Datenaufbereitung im Hinblick auf eine LSV-konforme Fluglärmermittlung. Dabei wird dargelegt, was der für die Ermittlung massgebende Betrieb ist und wie die auf einem Spitzenbetrieb beruhenden stündlichen Flugbewegungszahlen in die Berechnung einzufließen haben. Zudem werden fluglärmerechnungsrelevante Punkte wie die Berücksichtigung des Flottenmixes, die Erstellung von Flugzeugklassen, die Berücksichtigung der Nebenspuren bei Flugrouten sowie die Verwendung von Radardaten erörtert.

2.1 Betriebsdaten

Bei Kontrollberechnungen bestimmter Betriebsjahre werden die betrieblichen Grundlagedaten wie Anzahl Flugbewegungen pro Flugzeugtyp und Flugroute, zeitliche Verteilung etc. von den Vollzugsbehörden (BAZL, VBS) für die Lärmberechnung zur Verfügung gestellt oder sind in Absprache mit diesen Behörden zu ermitteln. Bei Prognosen wird empfohlen, die betrieblichen Grundlagedaten vor der Berechnung von der Vollzugsbehörde prüfen zu lassen.

Flugbewegung

Die für Fluglärmerechnungen zu verwendenden Leistungs- und Lärmdaten sind für jeden Flugzeugtyp in der Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB) in einer vom Berechnungsprogramm unabhängigen Form beschrieben (vgl. Kap. 3.2.1). Dort sind für jedes einzelne Luftfahrzeug Angaben bezüglich Abstrahlcharakteristik, Spektrum, Geschwindigkeit, Steigwinkel und Pegelwerten, etc. der verschiedenen Flugzustände festgehalten. Dies ermöglicht, dass grundsätzlich jeder Flugzeugtyp einzeln in die Berechnung einfließen kann, und dass am Flugzeug vorgenommene Massnahmen zur Lärmreduktion auch wirklich in die Berechnung einfließen.

Emissionsdaten

Um den Aufwand für die Fluglärmerechnung zu reduzieren, können unter bestimmten Umständen Einzelflugzeuge zu Flugzeugklassen zusammengefasst werden. Grundsätzlich können dabei nur Flugzeuge zusammengefasst werden, welche sich höchstens durch die Lärmwerte (L_{AE} , L_{Amax}) unterscheiden. Damit bleibt eine energetisch korrekt gewichtete Addierung möglich. Bei unterschiedlichen Steigprofilen, Abstrahlcharakteristiken, Spektren, etc. ist beim Zusammenfassen Vorsicht geboten. Je weniger die Flugzeugtypen etwas zur Gesamtlärmbelastung beitragen, desto grosszügiger können jedoch Klassen zusammengefasst werden. Bei der Bildung solcher Flugzeugklassen ist dies zu berücksichtigen und in der Dokumentation zur Datenaufbereitung festzuhalten. Der Flottenmix ist für jede Piste und Flugroute, sowie für die verschiedenen Lärmbeurteilungszeiten grundsätzlich separat zu erstellen. Die Klasseneinteilung ist von der Vollzugsbehörde vor der Berechnung zu genehmigen.

Flottenmix: Flugzeugklassen

Flugrouten sind unter Beizug der Vollzugsbehörde so festzulegen, dass mindestens 90 % der effektiv stattfindenden Flugbewegungen klar einer Flugroute zugeordnet werden können. Bei der Lärmberechnung sind die Flugrouten bis zu derjenigen Länge zu berücksichtigen, wie sie zur Lärmbewertung gemäss LSV einen Beitrag leisten. Dies bedeutet nach heutigen Erfahrungen, dass es genügt, die Routen bis einige Kilometer ausserhalb der Planungswertkurve für die Empfindlichkeitsstufe (ES) I zu berücksichtigen. Im Falle einer erstmaligen Berechnung muss die Länge der Flugspuren anhand bestehender Planungswertkurven ähnlicher Flugplätze abgeschätzt werden.

Flugrouten

Für die Lärmberechnung der Landesflughäfen Genf und Zürich sind die effektiv geflogenen Flugrouten mittels Radardaten zu ermitteln. Bei Projekten oder für Prognosen dieser Flugplätze sind die Flugrouten und deren Streuung mit Hilfe der vorhandenen Radardaten soweit sinnvoll abzuschätzen. Genaueres Vorgehen zum Einbezug der Radardaten nach dem Stand der Technik kann auch den Publikationen ^[3] und ^[4] entnommen werden. Bei den anderen Flugplätzen wird die Verwendung von Radardaten in der Regel nicht vorausgesetzt.

Verwendung von Radardaten bei Landesflughäfen

Wenn keine Radardaten verwendet werden, sind zur Berücksichtigung der realen Streuung der Flugbahnen um eine Flugroute bei Flugplätzen mit mehr als 2000 Jet-Bewegungen oder mehr als 20000 Flugbewegungen pro Jahr, zusätzlich sogenannte Neben- oder Seitenflugspuren in die Lärmberechnung mit einzubeziehen. Es genügen im Normalfall bis 7 Spuren – in der Regel die offizielle Flugroute in der Mitte mit je 3 Spuren auf beiden Seiten. Dies entspricht den Vorgaben nach Doc 29 der ECAC^[2]. Mit der Annahme einer Normalverteilung mit einer Standardabweichung S für die horizontale Streuung der Flugbewegungen gilt danach für die Verteilung der Bewegungen und dem Abstand der Seitenflugspuren zur mittleren Flugspur (= Flugroute) die folgende Tabelle:

Verwendung von Neben- oder Seitenflugspuren

Tab. 1 > Verteilung der Bewegungen und dem Abstand der Seitenflugspuren zur mittleren Flugspur

Spur-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Abstand	0,0 S	0,71 S	-0,71 S	1,43 S	-1,43 S	2,14 S	-2,14 S
Anteil Bewegungen	28,2 %	22,2 %	22,2 %	10,6 %	10,6 %	3,1 %	3,1 %

Ist die Standardabweichung S des horizontalen Abstandes der Flugbewegungen um die Flugroute nicht bekannt, so kann diese wie folgt abgeschätzt werden. Bei Startbewegungen beträgt S beim take off point noch null und nimmt dann kontinuierlich mit der Flugdistanz zu: S beträgt 5 % des Abstandes zum take off point, maximal 500m. Bei Landungen ist umgekehrt die Streuung beim touch down point null und beträgt 3 % des Abstandes zum touchdown point. Mögliche Vorgaben zur Streuung bei Volten ergeben sich aus den beiden Vorgaben zum Start und zur Landung. Die Standardabweichung S sollte auf Grund möglicher kleiner Kurvenradien nicht grösser als ein Fünftel des Kurvenradius der Flugroute (mittlere Flugspur) betragen. Vertikale Streuungen werden mit Seitenrouten nicht berücksichtigt. Sind vertikale Streuungen zu gross, so sind zusätzliche Flugprofile festzulegen und separat zu berechnen.

Abschätzung der Standardabweichung S für die horizontale Flugbahnstreuung

Fliegen auf einer Flugroute, welche kurz nach dem Start abdreht, leichte und schwere Flugzeuge, so ist zu prüfen, ob nicht zwei unterschiedliche Flugspuren definiert werden müssen, da leichte Flugzeuge engere Radien fliegen können.

Flugspuren mit engen Radien

Die Steigprofile der Flugrouten sind nicht starr vorgegeben, sondern sind abhängig von den jeweiligen Flugzeugen. Die entsprechenden Daten (Steig-, Sink- sowie Flugeschwindigkeit) können der SANC-DB oder von vorhandenen Radardaten entnommen werden. Werden Flugzeugklassen gebildet, so sind diese Daten bei der Klassenbildung zu berücksichtigen und müssen entsprechend ausgewiesen werden. Flugplatzspezifische Abweichungen von den Profilen der SANC-DB sind zu begründen.

Steigprofile gemäss SANC-DB

2.2 Massgeblicher Flugbetrieb, Flugbewegungszahlen

Als Flugbewegung zählt jede Landung und jeder Abflug eines motorisierten Luftfahrzeuges. Durchstartmanöver zählen als zwei Flugbewegungen. Wird die Piste ohne Berührung tief (Grössenordnung: tiefer als halbe Pistenlänge) überflogen, zählt dies ebenfalls als zwei Flugbewegungen.

Flugbewegungen

Die Ermittlung der Fluglärmbelastung erfolgt auf Basis des Flugverkehrs, welcher auf einem Flugplatz innerhalb eines Kalenderjahres getätigt wird. Zu beachten gilt es dabei, dass dieser jahresdurchschnittliche Flugbetrieb bei Flugplätzen mit Klein- und Militärflugzeugen noch auf einen durchschnittlichen Tag mit erhöhtem Betrieb (Spitzenbetrieb) hochgerechnet wird. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass diese Flugplätze übers Jahr gesehen nicht gleichmässig betrieben werden und dass sich die Menschen hauptsächlich an Tagen mit regem Flugbetrieb gestört fühlen.

Jahresdurchschnittlicher
Flugbetrieb

Die stündliche Flugbewegungszahl n von Kleinluftfahrzeugen gemäss Ziffer 3 des Anhangs 5 LSV beschreibt dazu den durchschnittlichen stündlichen Betrieb an einem Tag mit Spitzenbetrieb. Diese Spitzenbetriebstage ergeben sich aus den zwei verkehrsreichsten Wochentagen der sechs verkehrsreichsten Monate. Ausgehend von dieser stündlichen Flugbewegungszahl n kann ein Faktor F_k (≥ 1) bestimmt werden, welcher das Verhältnis zwischen dem Flugbetrieb an einem durchschnittlichen Spitzentag zum jahresdurchschnittlichen Betrieb wiedergibt. Der Faktor F_k ergibt sich aus dem Quotienten der stündlichen (Spitzenbetrieb-) Flugbewegungszahl n im Verhältnis der über das Jahr gemittelten durchschnittlichen Anzahl Flugbewegungen pro Stunde. Er wird wie folgt berechnet:

Kleinluftfahrzeuge:
Einfluss des durchschnittlichen
Spitzenbetriebs auf den Lr

$$F_k = n/N \cdot 365 \cdot 12$$

wobei N die jährliche Anzahl der Flugbewegungen ist.

Der Leq_k kann nun als Summe des ermittelten $Leq(12h)_{Jahr}$ aus dem effektiven, über 12 Stunden gemittelten jahresdurchschnittlichen täglichen Betrieb und des zehnfachen Logarithmus des F_k berechnet werden:

$$Leq_k = Leq(12h)_{Jahr} + 10 \cdot \log(F_k)$$

Die Beurteilungsmethode und Belastungsgrenzwerte für die Kleinluftfahrzeuge in der LSV sind hauptsächlich auf die Privatfliegerei ausgelegt. Weil nichtgewerbliche Flüge nach 22 Uhr in der Schweiz verboten sind, sieht die LSV für die Kleinluftfahrzeuge in der Nacht entsprechend auch keine Grenzwerte vor. Wenn trotzdem Kleinluftfahrzeuge nach 22 Uhr verkehren, sind sie nach den Beurteilungsgrundsätzen von Anhang 5 Ziffer 3 LSV zu berechnen, das heisst mit den anderen Flugbewegungen am Tag zusammen über 12 Stunden pro Tag zu mitteln und nach den Belastungsgrenzwerten für Kleinluftfahrzeuge zu beurteilen.

Zusätzlich zu den Belastungsgrenzwerten in Lrk gelten für den Lärm des gesamten Verkehrs auf zivilen Flugplätzen, auf denen Grossflugzeuge verkehren, die Belastungsgrenzwerte Lrt und Lrn. Zudem können gewerbsmässige Flüge auch von Kleinluftfahrzeugen bis 23 Uhr stattfinden (Art. 39b VIL). Entsprechend sind für die störungsgerechte Ermittlung der Fluglärmbelastung der ersten Nachtstunde auf Flugplätzen, auf denen Grossflugzeuge verkehren, alle Flugbewegungen – Gross- und Kleinluftfahrzeuge zu berücksichtigen.

Auch bei Militärflugplätzen erfolgt die Lärmbeurteilung nicht für einen jahresdurchschnittlichen, sondern für einen etwas erhöhten Betrieb. Analog der Kleinluftfahrzeuge erfolgt die Berechnung des Faktors F_j (für Militärjets) bzw. F_p (für militärische Propellerflugzeuge und Helikopter) auch hier über die stündliche Flugbewegungszahl n_j bzw. n_p . Anders als bei den Kleinluftfahrzeugen werden die Flugbewegungszahlen gemäss Anhang 8 Ziffer 31 Absatz 6 bzw. Ziffer 32 LSV aber nicht für einen Tag mit durchschnittlichem Spitzenbetrieb sondern für einen Tag mit durchschnittlichem Betrieb der sechs verkehrsreichsten Monate ermittelt. Die Ermittlung erfolgt dabei separat für Luftfahrzeuge mit Jetantrieb und Propellerantrieb:

$$\begin{aligned} \text{Faktor } F_j &= n_j/N_j \cdot 260 \cdot 12 \text{ und} \\ \text{Faktor } F_p &= n_p/N_p \cdot 260 \cdot 12 \end{aligned}$$

wobei N_j resp. N_p die jährliche Anzahl Flugbewegungen der Jet- resp. Propellerflugzeuge ist. Die Zahl 260 entspricht der Anzahl militärischer Flugtage (52 Wochen, 5 Tage pro Woche) und die Zahl 12 der Anzahl Stunden pro Betriebstag.

Analog der Fluglärmbeurteilung von Flugplätzen mit Kleinluftfahrzeugen kann auch hier aus dem ermittelten $Leq(12h)_{Jahr}$ aus dem effektiven, über 12 Stunden gemittelten jahresdurchschnittlichen täglichen Flugbetrieb mittels Addition des zehnfachen Logarithmus der entsprechenden Faktoren zum Leq_j respektive Leq_p hochgerechnet werden:

Berechnung des Leq bei Kleinluftfahrzeugen

Kleinluftfahrzeuge nach 22 Uhr

Kleinluftfahrzeuge nach 22 Uhr auf Flugplätzen mit Bewegungen von Grossflugzeugen

Militärflugzeuge:
Einfluss des durchschnittlichen Spitzenbetriebs auf den Lr

Berechnung des Leq bei Militärluftfahrzeugen

$$Leq_j = Leq_f(12h)_{Jahr} + 10 \cdot \log(F_j)$$

$$Leq_p = Leq_p(12h)_{Jahr} + 10 \cdot \log(F_p)$$

Analog dem Lärm aus dem Betrieb von Flugplätzen mit Kleinluftfahrzeugen wird auch beim Lärm von Militärflugplätzen keine separate Lärmberechnung für die Nacht durchgeführt. Alle militärischen Flugbewegungen, unbeachtet zu welcher Zeit sie stattfinden, werden für die Ermittlung des auf einem 12-Stunden Mittelungspegel beruhenden Lr berücksichtigt.

Militärluftfahrzeuge nach 22 Uhr

Gibt es auf einem Flugplatz nur wenige hundert Flugbewegungen von Grossflugzeugen zwischen 06:00 und 22:00 Uhr und sind keine Belastungsgrenzwerte für Fluglärm überschritten, so können diese Bewegungen auch den Flugbewegungen der Kleinluftfahrzeuge zugerechnet werden. Mit der Berücksichtigung der korrekten Emissionsdaten der Grossflugzeuge entsteht dabei eine im Allgemeinen minimale Überschätzung des vorhandenen Lärms. Dafür kann auf die Ermittlung des Lrt, welcher sich aus einer energetischen Addition der Teilbeurteilungspegel von Gross- und Kleinluftfahrzeugen zusammensetzt, verzichtet werden, was zu einer deutlichen Vereinfachung der Lärmberechnung führt.

Vereinfachung bei wenigen
Grossflugzeugbewegungen

Gibt es ebenso auf einem zivilen Flugplatz nur einen Anteil von höchstens 10 % an Flugbewegungen von Militärflugzeugen (mit Emissionspegeln kleiner oder nur unwesentlich höher als von den zivilen Flugzeugen) und sind keine Belastungsgrenzwerte für Fluglärm überschritten, so können diese Bewegungen auch den Flugbewegungen der zivilen Flugzeuge zugerechnet werden. Mit der Berücksichtigung der korrekten Emissionsdaten der Militärflugzeuge entsteht dabei eine im Allgemeinen minimale Überschätzung des vorhandenen Lärms. Dafür kann auf die Ermittlung des Lr nach Anhang 8 LSV, welcher sich aus einer energetischen Addition der Teilbeurteilungspegel von zivilem und militärischem Flugverkehr zusammensetzt, verzichtet werden, was zu einer deutlichen Vereinfachung der Lärmberechnung führt.

Vereinfachung bei wenigen
Militärflugzeugbewegungen

2.3 Topografie

Die Topografie ist mit dem Höhenmodell DHM25 mit einer Maschenweite von 25 m von Swisstopo oder genauer zu berücksichtigen. Das DHM25 ist aus der Landeskarte 1:25 000 abgeleitet und basiert im Wesentlichen auf deren Genauigkeit. Vergleiche von «Modellhöhen» mit photogrammetrisch bestimmten Kontrollpunkten zeigen, dass im Mittelland und Jura die mittlere Abweichung 1,5 m beträgt, in den Voralpen und im Tessin 2 m und in den Alpen 3–8 m.

Bei der Verwendung anderer oder eigener Modelle zur Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten muss eine Absprache mit den Vollzugsbehörden (VBS/BAZL) und dem BAFU erfolgen.

3 > Berechnungen

Unter Beachtung und Fortschreibung der bisher praktizierten Methodenfreiheit wird mit Hilfe der Instrumentensammlung Swiss Aircraft Noise Calculation (SANC-Tools) ein neues Konzept umgesetzt, mit dem die LSV-Konformität unterschiedlicher Berechnungsprogramme sichergestellt, geprüft und gemäss Art. 38 Abs. 2 LSV vom BAFU empfohlen werden können. Damit werden klare Anforderungen an Berechnungen formuliert, um unter anderem auch den speziellen Eigenheiten des Fluglärms gerecht zu werden und Rechtssicherheit zu gewähren.

3.1 Konzept für Programmempfehlungen durch das BAFU

Die Gesetzgebung in der Schweiz lässt im Gegensatz zu anderen Ländern die Methodenfreiheit zu. Das bedeutet, dass in der Schweiz jede Methode zur Fluglärmrechnung zulässig ist, die einerseits die allgemeinen Anforderungen der LSV erfüllt und andererseits auch den konkreten sachlichen Anforderungen nach anerkanntem Wissens- und Kenntnisstand auf dem Gebiet der Fluglärmrechnung genügt.

Methodenfreiheit -
Gleichwertigkeit

Die Einhaltung der wichtigsten sachlichen Anforderungen wird mit der Instrumentensammlung Swiss Aircraft Noise Calculation (SANC-Tools) sichergestellt. Insbesondere wird damit die Gleichwertigkeit der Berechnungsergebnisse auch bei sehr unterschiedlichen Modellen und programmatischen Umsetzungen erreicht. Die SANC-Tools bestehen aus drei Werkzeugen: einer Datenbank mit den Emissionsdaten der Flugzeuge – SANC-DB (data base), einer Testumgebung mit Szenarien für den Vergleich verschiedener Programme – SANC-TE (test environment) und den Referenzberechnungen mit entsprechenden Referenzrahmen für die Prüfzenarien in der Testumgebung – SANC-REF (reference frame). Die SANC-Tools sind im Kapitel 3.2 detailliert beschrieben.

Swiss Aircraft Noise Calculation
Tools (SANC-Tools)

Berechnungsverfahren bzw. -programme, welche in der Schweiz für Fluglärmrechnungen eingesetzt werden sollen, müssen durch das BAFU überprüft werden. Programme, welche die Anforderungen der LSV erfüllen und dem Stand der Technik entsprechen, ihr Quellenmodell anhand der Datenbank SANC-DB kalibrieren und für die in SANC-TE zur Berechnung vorgeschriebenen Testszenarien Lärmbelastungen innerhalb der Vertrauensbereiche von SANC-REF (vergleiche Tab. 3) berechnen, können grundsätzlich für Fluglärmrechnungen nach LSV empfohlen werden. Empfohlene Programme werden auf der Homepage des BAFU publiziert:

Empfehlungsvoraussetzungen

www.bafu.admin.ch/fluglaerm-ermittlung

Werden nicht alle Voraussetzungen erfüllt, kann auch eine eingeschränkte Empfehlung durch das BAFU ausgesprochen werden.

Hat ein Programm nur die Empfehlung für die Berechnung des Lärms von Kleinluftfahrzeugen, so kann die Empfehlung temporär und einzelfallweise für einzelne Flugzeuge mit einem Abfluggewicht über 8618 kg erweitert werden, sofern für diese Flugzeuge im Rahmen der entsprechenden Lärmberechnung folgende Nachweise erbracht und vom BAFU für gut befunden werden:

- > Die approximierten Werte gemäss SANC-DB der jeweiligen Flugzeugtypen für einen Überflug unter Standardbedingungen in 305m L_{AE} , L_{Amax} , η (Asymmetrie-Parameter) und θ (massgebender Emissionswinkel für L_{Amax}) für Takeoff Standard Power und Landing können korrekt abgebildet werden.
- > Die L_{AE} -Werte eines «unendlich» langen Überflugs unter Standardbedingungen gemäss SANC-TE in 800m und in 3200m Abstand für Takeoff Standard Power und Final Approach können $\pm 0,5$ dB genau berechnet werden.

Eingeschränkte Empfehlung
Empfehlungserweiterung

Bei begründeten Zweifeln bezüglich der sachgerechten Umsetzung in einem Computerprogramm bzw. der sachgerechten Anwendung eines bereits empfohlenen Programms durch den Anwender kann die Vollzugsbehörde vom Programmentwickler bzw. vom Programmanwender neben der erneuten Durchführung der ordentlichen SANC-TE-Szenarien die Durchführung weiterer Prüfzenarien wie beispielsweise die Berechnung eines realen Flugplatzes zu Kontrollzwecken verlangen.

Zusätzliche Prüfzenarien

3.2 Übersicht über die Instrumente SANC-Tools

3.2.1 SANC-DB

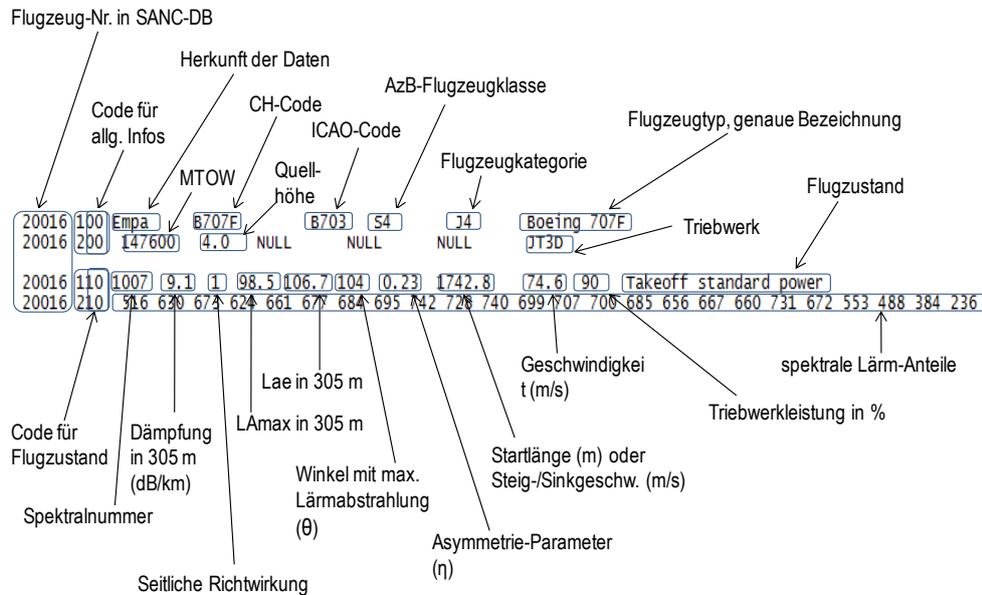
Zunächst beinhaltet die Instrumentensammlung die akustische Quellendatenbank Swiss Aircraft Noise Calculation Database SANC-DB, welche die verbindliche Quellenreferenz für Fluglärmrechnungen gemäss LSV bildet. Die Quellenbeschreibung ist einfach und in einer allgemeinen Form beschrieben, so dass die verschiedenen Quellenmodelle der Fluglärmrechnungsprogramme mit Hilfe dieser Daten kalibriert werden können. Damit ist eine wichtige Voraussetzung für gleichwertige Berechnungsergebnisse geschaffen. SANC-DB basiert auf allen bisher in der Schweiz verwendeten akustischen Quellendaten der EMPA und des BAZL und enthält aktuell gut 1800 Datensätze. Als Vollzugsbehörden sind das BAZL und das VBS für die Nachführung der Datenbank verantwortlich. Die SANC-DB kann beim BAZL gratis bezogen werden (www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/das-bazl/kontakt.html).

Swiss Aircraft Noise Calculation
Database (SANC-DB)

Die Datenbank enthält Werte für das maximale Abfluggewicht (MTOM), die Quellenhöhe (über Grund auf der Piste) sowie die Start-, Sink- und Steiggeschwindigkeiten der Luftfahrzeuge (Abb.1). Für verschiedene Flugzustände (take off, initial climb, continuous climb, cruise, final approach und landing) enthält sie je Werte für die Luftdämpfung (bei Abstand 305m), seitliche Richtwirkung (Klasse nach Doc29^[2]), L_{Amax} , L_{AE} , Emissionswinkel θ , Asymmetrieparameter η (Schallenergie vor/nach L_{Amax}), Flugeschwindigkeit und das Emissionsterzbandspektrum.

Gespeicherte Werte in SANC-DB

Abb. 1 > Beispiel eines Datensatzes für den Flugzustand «takeoff standard power» der Emissionen eines Flugzeuges in der Datenbank SANC-DB



L_{Amax} bezeichnet den A-bewerteten Maximalschalldruckpegel und L_{AE} den A-bewerteten Einzelereignis-Schalldruckpegel bei einem geradlinigen Überflug unter genau festgelegten Referenzbedingungen^[5].

Die Asymmetrie der Quelle wird mit den beiden Parametern θ und η beschrieben (Abb. 2). Der Emissionswinkel θ ist der Winkel zwischen Flugrichtung und Schallausbreitungsrichtung, wenn beim Überflug der L_{Amax} erreicht wird. Der Asymmetrieparameter η charakterisiert die unterschiedliche Schallabstrahlung vor und nach dem Emissionswinkel gemäss folgender Formel:

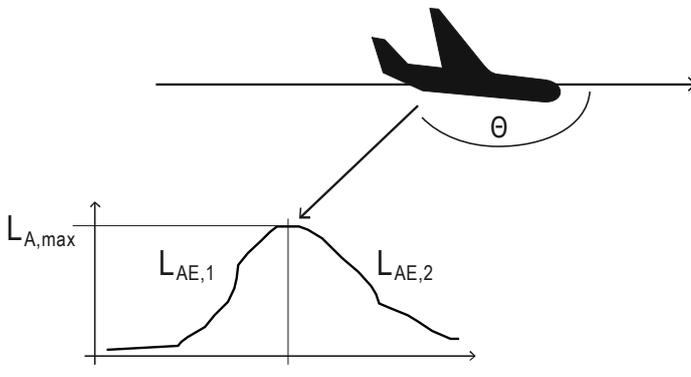
$$\eta = \frac{10^{L_{AE,1}/10} - 10^{L_{AE,2}/10}}{10^{L_{AE,1}/10} + 10^{L_{AE,2}/10}}$$

wobei:

$L_{AE,1}$ = Teilereignispegel vor Erreichen von L_{Amax} und

$L_{AE,2}$ = Teilereignispegel nach Erreichen von L_{Amax} ; illustriert in der Abbildung 2.

Abb. 2 > Veranschaulichung der Asymmetrieparameter der Lärmquellenbeschreibung in SANC-DB



Zur Vereinfachung wird bezüglich Flugrichtung die Quelle als rotationssymmetrisch angenommen. Für die seitliche Richtwirkung kann die Klasse nach Doc29^[2] oder Doc9911^[6] in der Datenbank wohl festgehalten werden, wird aber in den SANC-Tools (noch) nicht weiter verwendet für die Fluglärmrechnung.

Weitere Einzelheiten finden sich in der technischen Dokumentation^[5].

3.2.2 SANC-TE

Die Testumgebung Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment SANC-TE dient der Prüfung der verschiedenen Programme und als Grundlage für die Empfehlung von Programmen durch das BAFU gemäss Artikel 38 Absatz 2 LSV. Die SANC-TE inkl. Testaufgaben und Dokumentation^[7] kann beim BAFU auf Anfrage bezogen werden.³

Swiss Aircraft Noise Calculation
Test Environment SANC-TE

Für die Anwendung in verschiedenen Berechnungsprogrammen müssen die Daten im ASCII-Format vom Anwendenden in die jeweils vom einzelnen Programm benutzten Datenformate umgewandelt werden. Als Testumgebung von SANC-TE dienen die zwei künstlich generierten Flugplätze: Ein Grossflughafen AIRPORT – hauptsächlich für den Verkehr von Grossflugzeugen wie Boeing, Airbus, etc. aber auch militärische Kampfflugzeuge – sowie ein Regionalfeld AIRFIELD für Kleinluftfahrzeuge. Für beide Flugplätze ist ein schematisches Geländemodell zusammen mit verschiedenen An- und Abflugrouten definiert. Als Auszug aus dem SANC-DB-Datensatz sind die akustischen Eigenschaften einer gewissen Anzahl Flugzeugtypen festgelegt und dienen als Grundlage für die Umrechnung oder Skalierung der in den zu prüfenden Berechnungsmodellen benutzten Quelldaten. Zusätzlich sind verschiedene Szenarien realistischer Belastungszustände definiert, womit auch die Berechnung des Leq geprüft werden kann. Neben den Einzelereignisberechnungen (Single Event Flights) dienen vor allem die Szenarien der Prüfung, ob ein Berechnungsprogramm die Vorgaben der LSV sachgerecht umsetzt und damit für Fluglärmrechnungen in der Schweiz eingesetzt werden kann. Schliesslich ist auch eine Selbstdекlaration der Programmierer gemäss Tab. 2 Voraussetzung für eine Empfehlung durch das BAFU gemäss Artikel 38 Absatz 2 LSV.

Test- und Prüfinstrument

³ noise@bafu.admin.ch bzw. www.bafu.admin.ch/fluglaerm-ermittlung

Tab. 2 > Angaben der Programmhersteller zum Stand der Technik und den Vorgaben der LSV (Selbstdeklaration) bei der Empfehlung durch das BAFU

Die Flugbewegungszahlen können gemäss Anhang 5 und 8 LSV berücksichtigt werden (Kapitel 2).

Das Immissionsgitter entspricht bei Regionalflughäfen und Flugfeldern 50 x 50 m resp. 150 x 150 m bei den Landesflughäfen.

Die Immissionen werden auf 4 m Höhe über Terrain ausgewertet.

Die Terrain Höhe (Effekt der z-Koordinate) kann berücksichtigt werden.

Die Höhe des Flugplatz Referenzpunktes kann berücksichtigt werden.

Der Höhenverlauf der Piste kann abgebildet werden.

Das verwendete Quellenmodell kann anhand der Datenbank SANC-DB kalibriert werden.

Das Startverfahren wird als gleichmässig beschleunigte Bewegung modelliert.

Die Abschirmung durch Gelände kann berücksichtigt werden.

Die Hangneigung (Bodeneffekt) wird berücksichtigt. (Siehe SANC-TE, Talflug)

Die Luftdämpfung wird nach ISO 9613-1 umgesetzt.

Zur Erprobung wurden mit SANC-TE V1.0 Berechnungen mit 4 Fluglärmrechnungsprogrammen und verschiedenen Varianten durchgeführt und u. a. im Hinblick auf den zu bildenden Referenzrahmen ausgewertet (mit FLULA2, INM & Varianten, IMMPAC & Varianten, und Soundplan). Als wichtigste Ergebnisse dieser Erprobung mit SANC-TE V1.0 resultierten die Aussagen zu den massgeblichen Einflussparameter und damit zur Festlegung der Referenz-Rahmen gemäss Tab. 3.

Erprobung mit SANC-TE

3.2.3 SANC-REF

Die Referenz Swiss Aircraft Noise Calculation Reference SANC-REF beinhaltet sowohl referenzierte Modellansätze für die Berechnung eines Vertrauensintervalls, als auch den Referenzrahmen selbst.

Swiss Aircraft Noise Calculation
Reference SANC-REF

Auf Basis der in SANC-REF definierten Referenzansätze gemäss Tab. 2, respektive Kap. 3.3 und dem Anhang ist für jedes Prüfzenarium in SANC-TE ein Vertrauensbereich, sog. Reference Frame für die Überprüfung der Gleichwertigkeit der Berechnungen erstellt worden. Auch wenn diese Basisberechnungen nicht die allein nachzubildende LSV-Referenz bilden, so werden mit den referenzierten Modellansätzen klare Informationen vorgegeben, wie Fluglärm LSV-konform gerechnet werden kann. Werden in einem konkret umgesetzten Computerprogramm ähnliche Modellansätze zu Grunde gelegt, so können in der Regel Ergebnisse innerhalb der Vertrauensbereiche von Tab. 3 berechnet werden. Die Modellansätze werden noch ausführlicher in der technischen Dokumentation zu SANC-REF^[8] beschrieben. Die Ansätze entsprechen den Modellen, wie sie in den Dokumenten ISO 9613^{[9],[10]} und den Dokumentationen zu FLULA2^[3] und IMMPAC^[11] beschrieben sind.

Referenz- Basisberechnung

Tab. 3 > Konformitätskriterien zur Empfehlung von Fluglärmprogrammen mittels Testumgebung SANC-TE und Referenzrahmen SANC-REF

Alle in SANC-TE definierten «Footprints» (SEF) werden einzeln berechnet
Alle in SANC-TE vorgegebenen Test- «Szenarien» werden berechnet
Resultate können im spezifizierten NMGF Format exportiert werden
Geländeabschattung ist aus Single Event Flights ersichtlich
Leistungssetzung (Zusatzpegel) wird nach Vorgaben SANC-TE umgesetzt und ist aus Single Grids ersichtlich
Streuung der Flugbahnen wird berücksichtigt

Ziviles Flugfeld (Airfield)

- Ausdehnungen der berechneten Lärmkurven im $\pm 0,5$ dB Vertrauensbereich
- Volten können abgebildet und berechnet werden

Ziviler Flughafen (Airport)

- Ausdehnungen der berechneten Lärmkurven im $\pm 0,5$ dB Vertrauensbereich

Ziviler Flughafen (Airport): Nachtbetrieb

- Ausdehnungen der berechneten Lärmkurven im $\pm 1,5$ dB Vertrauensbereich

Militärflugplatz

- Ausdehnungen der berechneten Lärmkurven im $\pm 0,5$ dB Vertrauensbereich

Heliports

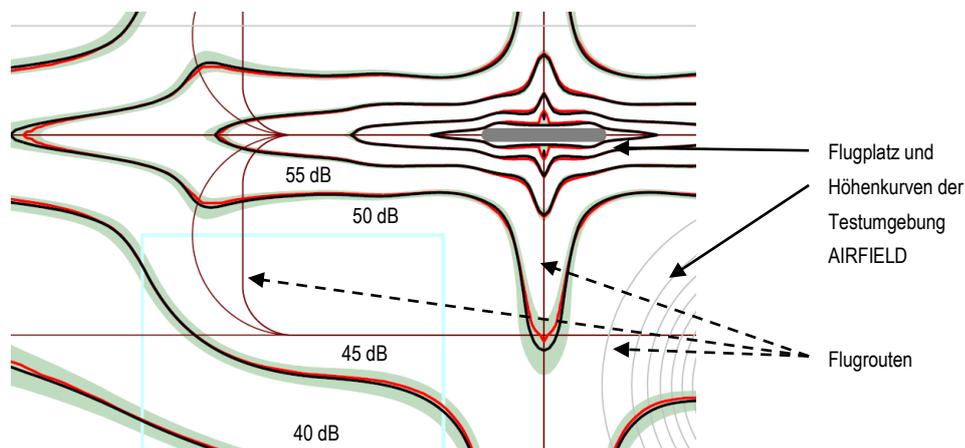
- Ausdehnungen der berechneten \bar{L}_{max} -Kurven im $\pm 0,5$ dB Vertrauensbereich

Die Referenz-Rahmen werden in dB-Abweichungen um die Basisberechnungskurven für jedes der Prüfzenarien definiert. Die dB-Abweichung, oder das Vertrauensintervall soll nach Möglichkeit kleiner sein als die Messunsicherheit von 2–3 dB^[12]. Der Erfolg der vorliegenden SANC-TE V1.0 Berechnungen für die bereits getätigten Empfehlungen erlaubte, dass das Vertrauensintervall für alle Testszenarien innerhalb der Messunsicherheit gewählt werden konnte.

Grösse der Referenzrahmen

Abb. 3 > Ausschnitt einer Lärmberechnung in der Testumgebung SANC-TE AIRFIELD mit Vergleich des Referenzrahmens von $\pm 0,5$ dB

Die schwarzen Linien präsentieren die Lärmkurven der Referenzberechnung, die grünen Flächen den dazugehörigen Referenzrahmen von $\pm 0,5$ dB, die roten Linien die Berechnung mit einem zu testenden Programm. Die roten Linien liegen überall innerhalb der grünen Fläche: Das Programm erfüllt somit das Konformitätskriterium.



3.3 Berechnungsvorgaben und Referenzansätze

Anhang 2 LSV spezifiziert, dass die Berechnungen von Lärmimmissionen die folgenden Einflüsse berücksichtigen müssen:

- a) Quellenstärke,
- b) Luft- und Abstandsdämpfung,
- c) Bodeneffekte,
- d) Auswirkungen von Bauten und natürlichen Hindernissen auf die Schallausbreitung (Hindernisdämpfung und Reflexionen).

Diese Anforderungen gelten grundsätzlich für alle Lärmarten. Für die konkrete Umsetzung beim Fluglärm sind weiter die nachfolgend beschriebenen Eigenheiten zu beachten. Eine Zusammenstellung der wichtigsten mathematischen Gleichungen (ohne Luftdämpfung nach ISO 9613) – wie sie auch für die Referenzrechnung verwendet wurde – findet sich im Anhang.

Die Vorgaben, die in diesem Kapitel beschrieben werden, sind zielführend für Berechnungen von Lärmkurven, die innerhalb der Referenzrahmen liegen sollen. Damit entsprechen sie den Vorgaben für die Empfehlung eines Rechenprogramms. Zwingend einzuhalten sind sie aber nicht, sofern die Berechnungen auch mit anderen Modellüberlegungen zum gleichen Resultat führen und damit ebenbürtig sind, d. h. die Lärmkurven sich innerhalb der Referenzrahmen befinden. So gibt es beispielsweise keine Vorschrift über die Genauigkeit der örtlichen Auflösung der Emissionsdarstellung, d. h. wie nahe Punktquellen auf einer Flugroute gesetzt werden sollen, oder wie lange Sekanten zur Annäherung einer Flugkurve höchstens gewählt werden dürfen. Einzig die Lärmkurven müssen innerhalb der Referenzrahmen liegen. Sind Programme empfohlen, müssen später für Lärmberechnungen mit diesen Programmen prinzipiell die gleichen Einstellungen gewählt werden, die auch zur Einhaltung der Referenzrahmen führten.

3.3.1 Quellenstärke/Emissionen

Flugzeuge strahlen den Lärm inhomogen in verschiedene Richtungen ab. Dabei ändert sich je nach Abstrahlrichtung nicht nur der Lärmpegel, auch die Spektren (und damit die Luftdämpfung) sind verschieden. Weiter ändert sich der Lärm je nach Flugsituation (Steigflug, Gleiten, Benützung von Landeklappen usw.). Dies verlangt nach Vereinfachungen, welche in den verschiedenen Programmen bis dato verschieden umgesetzt wurden. Akustische Quellenreferenz für Lärmberechnungen gemäss LSV bildet die vorgängig in Kap. 3.2.1 beschriebene Datenbank Swiss Aircraft Noise Calculation Database SANC-DB^[5].

Sollen von SANC-DB abweichende Quelldaten verwendet werden – z. B. auf der Basis eigener Messungen oder internationaler Datenbanken – so ist dies mit der zuständigen Vollzugsbehörde (VBS/BAZL) und unter Einbezug des BAFU vorgängig abzusprechen. Wann immer möglich ist eine Erweiterung oder Anpassung der Datenbank SANC-DB durch die zuständigen Vollzugsbehörden einer abweichenden Nutzung anderer Quelldaten vorzuziehen. Falls aus irgendwelchen Gründen doch von

Zu berücksichtigende Einflüsse

Konkretisierung für Fluglärm

Zusammenhang mit der Empfehlung von Programmen

Komplexität der Quellen;
Quellenreferenz SANC-DB

Abweichende Quelldaten

der SANC-DB abweichende Daten verwendet werden sollten, sind diese Daten in der Dokumentation der Verfahren/Programme detailliert und nachvollziehbar zu dokumentieren.

Die Modellierung der Beschleunigung auf der Piste hat einen entscheidenden Einfluss auf die Berechnungsergebnisse in der näheren Umgebung der Piste. Die Realität eines startenden Flugzeuges wurde nach Stand der Technik in der Referenzrechnung als gleichmässig beschleunigte Bewegung modelliert.

Gleichmässig beschleunigte
Bewegung

Bei Flugzeugen, die auf einem Flugplatz nach der Landung mittels Schubumkehr bremsen, sind die erhöhten Emissionen geeignet zu berücksichtigen. Doc 29^[2] gibt dazu vor, die Schallemissionen bei einer 20 %-Leistungssetzung plus 5 dB zu wählen, wenn keine anderen Daten zur Verfügung stehen sollten.

Schubumkehr

Zur Modellierung des Lärms des Rollverkehrs, welcher als Industrie und Gewerbelärm gemäss Anhang 6 LSV zu ermitteln ist, können die um 10 dB(A) reduzierten SANC-DB-Werte des Flugzustandes Final Approach verwendet werden, wenn keine genaueren Daten vorhanden sind. Ebenso kann bei ungenügender Datenlage für die Rollgeschwindigkeit bei Kleinflugzeugen 10m/s und bei Grossflugzeugen 15m/s verwendet werden. Das Vorgehen ist an die Vorschriften der AzB^[13] angelehnt.

Rollverkehr

3.3.2 Schallausbreitung

Die Abstandsminderung (geometrische Verdünnung) ist physikalisch durch den Energiesatz vorgegeben und richtet sich in Abhängigkeit von der verwendeten Emissionsbeschreibung (z. B. Leistungs- oder Druckpegel, Linien- oder Punktquelle) nach allgemeingültigen Formeln. Für die Abstandbestimmung ist die Höhe über Terrain durch ein entsprechendes Höhenmodell zu berücksichtigen. Die Erprobungen mit SANC-TE haben gezeigt, dass bei mangelhafter Berücksichtigung dieser Vorgaben die berechneten Immissionen ausserhalb des Referenzrahmens liegen.

Geometrische Verdünnung/
Abstandsämpfung unter
Berücksichtigung eines
Geländemodells

Für eine realitätsnahe Berücksichtigung ist der spektralen Abhängigkeit der Luftdämpfung in geeigneter Weise Rechnung zu tragen. Das heisst aber nicht, dass eine konsequent durchgeführte spektrale Ausbreitungsrechnung notwendig ist, um den Referenzrahmen einzuhalten. Es können auch entsprechend dem Spektrum des akustischen Flugzeugtyps andere Approximationen für die Ausbreitungsdämpfungen benutzt werden. Für die Referenz-Basisberechnung wurde in Terzbändern gerechnet und die Luftdämpfung gemäss ISO 9613 bei einer Temperatur von 15°C und bei 70 % Luftfeuchtigkeit verwendet.

Luftdämpfung
ISO 9613

Hinweis: Die Berechnung gemäss SAE 1845^[14] (Basis von INM: ^[1] S. 55 ff) erfolgt ungefähr gemäss ISO 9613 bei einer Temperatur von 25°C. Damit entstehen bei einer Distanz von 2 km Abweichungen im Bereich von 1 dB (Genauerer siehe auch S. 21 in^[1]).

Abweichung gegenüber
SAE 1845 resp. INM

Für eine realitätsnahe Berücksichtigung ist der Abhängigkeit der Luftdämpfung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in geeigneter Weise Rechnung zu tragen. Es können mittlere Verhältnisse zu Grunde gelegt werden, oder dem jeweiligen Flugplatz entspre-

Luftdämpfung: Temperatur,
Luftfeuchtigkeit und Anisotropie
der Atmosphäre

chend angepasste Luftdämpfungen verwendet werden. Letzteres wird jedoch nicht verlangt. Die Berücksichtigung verschiedener Verhältnisse wird in SANC-TE dementsprechend nicht geprüft. Der Einfluss der Inhomogenität der Atmosphäre ist im Jahresmittel klein und muss entsprechend nicht berücksichtigt werden. Sie ist heute noch nicht als Stand der Technik bei der Fluglärmrechnung zu betrachten^[15].

Die Abhängigkeit der Bodeneffekte von der Bodenart z. B. Bebauung oder Ackerfeld wird noch nicht als Stand der Technik betrachtet. Die Berechnungen erfolgen also für «grüne Wiese», d. h. für «soft ground». Die Geländeneigung wird jedoch mit einbezogen, indem der Winkel zwischen Schallausbreitung und Geländeneigung entsprechend dem Ansatz, beschrieben in^{[11],[3]} und im Anhang, bestimmt und berücksichtigt wird. In SANC-TE wird der Effekt der Bodendämpfung nicht nur im flachen Gelände, sondern auch bei Hangneigung geprüft.

Bodeneffekt

Für eine realitätsnahe Ausbreitungsrechnung sind die Auswirkungen von Abschattungen durch Geländeformationen zu berücksichtigen. Entsprechend wird dies in SANC-TE geprüft. Die Referenzrechnung basiert auf dem Ansatz beschrieben in^{[11],[3]} und im Anhang. Eine allfällige Abweichung von dieser Forderung kann nur bei Vorliegen begründeter Irrelevanz auf die Berechnungsergebnisse zugelassen werden.

Abschirmung durch Gelände

Reflexionen und Hindernisdämpfungen an und von Bauten haben beim nicht terrestrischen Fluglärm – d. h. mit sich bewegenden Quellen in der Luft – in der Regel kaum Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis. Darüber hinaus würde der ohnehin beträchtliche Rechenaufwand beim Fluglärm bei Berücksichtigung aller Objekte der überflogenen Siedlungsgebiete zu gross werden, um noch vollzugstauglich zu sein. Es gibt derzeit kein Fluglärmrechnungsprogramm, welches Gebäude berücksichtigt. In diesem Sinne entspricht die Berücksichtigung der Auswirkungen von Bauten bei der Berechnung von Fluglärmimmissionen (noch) nicht dem Stand der Technik. Aus den genannten Gründen kann die Berechnung der Auswirkungen von Bauten zurzeit nicht verlangt werden.

**Auswirkungen von Bauten:
Keine Berücksichtigung**

Ausgedehnte Felswände können in örtlich begrenzten Gebieten zu hörbaren Reflexionen führen, welche sich hauptsächlich durch deutlich längere Nachhallzeiten manifestieren. In der Regel ist aber der von den Reflexionen erzeugte Pegel wegen dem längeren Ausbreitungsweg und der unvollständigen Reflexion wesentlich kleiner als der Pegel vom direkten Schall, so dass Reflexionen praktisch keinen Einfluss auf den Immissionspegel haben. Aus diesem Grund, und weil bisher kein Fluglärmrechnungsprogramm solche Reflexionen berechnen kann, wird nach dem derzeitigen Stand der Technik auf eine Berücksichtigung dieses Phänomens verzichtet.

**Reflexionen an grossen
Felswänden**

3.3.3 Immissionen

Die Berechnungen modellieren in geeigneter Weise die Schallausbreitung bis zu den Immissionspunkten. Bei diesen berechnen sie den energieäquivalenten Mittelungspegel L_{eq} durch energetisches Aufaddieren aller akustischen Fluglärmbeiträge unter Berücksichtigung der oben genannten Effekte. Daraus leiten die Programme schliesslich den LSV-, respektive beurteilungsrelevanten Pegel L_r ab.

Immissionspegel

Grundsätzlich definiert der Artikel 39 LSV als Ort der Ermittlung das offene Fenster eines lärmempfindlichen Raumes oder den Ort, wo solche Räume erstellt werden können. Dies ist für Fluglärmrechnungen nicht praktikabel: Mit seinen sich in der Luft bewegenden Quellen führt Fluglärm zu grossflächigen Belastungen. Entsprechende Ermittlungen werden bis jetzt durch Rasterberechnungen durchgeführt (Gitterpunktberechnungen, welche kleinräumige Gebiete repräsentieren) und mittels Lärmkurven ausgewiesen. Die LSV trägt diesem Umstand dadurch Rechnung, dass Fluglärmimmissionen auch in der Nähe der Gebäude ermittelt werden können (Art. 39 Abs. 1 LSV).

Ort der Ermittlung

Fluglärmrechnungen erfolgen also LSV-konform durch Rasterberechnungen. Massgebend für die Beurteilung sind die Gitterpunktpegel und daraus abgeleitete Fluglärmkurven. Dies gilt sowohl für überbautes als auch für nicht überbautes Gebiet nach Artikel 39 LSV. Es erfolgt keine Umrechnung auf das offene Fenster, d. h. es gibt keinen Zuschlag für allfällige Raumreflexionen beim offenen Fenster.

Rasterberechnung, Lärmkurve

Die Lärmimmissionen werden in einer festgelegten Empfangshöhe von 4 m über dem Boden berechnet. Hier wurde von den gebräuchlichen 1,5 m über Boden abgewichen, da der Lärm hauptsächlich von oben kommt. Es ist dazu anzumerken, dass die Empfangshöhe im Allgemeinen nur einen sehr begrenzten Einfluss auf die Berechnung der Immissionen hat. Andererseits sind 4 m über Boden bei Kontrollmessungen noch gut machbar und Einflüsse der Mikrolage sind minimiert. Weiter entsprechen die 4 m über Boden den Vorgaben in Anhang 1 der Umgebungslärmrichtlinie der EU^[16].

Ermittlungshöhe

Die Rasterweite muss dem Zweck der Berechnungen sowie den situativen Gegebenheiten angemessen sein, wie die Grösse des Flugplatzes bzw. der daraus hervorgehenden Lärmkurven. Standardauflösungen betragen bei Flugfeldern und Regionalflughäfen 50 m · 50 m bzw. bei Flughäfen 150 m · 150 m. Ein regelmässiges Raster wird nicht zwingend vorgeschrieben. Lokale Verfeinerungen sind möglich, die erwähnten Rastergrössen sind jedoch als Mindestanforderung zu verstehen.

Rasterweite

Das Raster soll metrisch sein und konform zum Koordinatensystem der Schweiz liegen. Der Ursprung soll auf einem ganzzahligen Vielfachen des Ursprungs des Schweizerischen Koordinatensystems liegen.

Rasterlage

Durch Interpolation zwischen den einzelnen Rasterpunkten werden Niveaulinien (Lärmkurven) ermittelt. Für den Referenzrahmen wurden die Niveaulinien mit NMPlot gebildet. NMPlot ist ein frei erhältliches GIS-Programm, welches unter anderem speziell für die Darstellung von Fluglärm entwickelt wurde.⁴

Bildung von Niveaulinien

⁴ www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm

3.4 Besonderheiten bei der Ermittlung von Helikopterlärm

Auf zivilen Flugplätzen, auf denen ausschliesslich Helikopter verkehren, gelten gemäss Anhang 5 LSV zusätzliche Belastungsgrenzwerte in \bar{L}_{\max} . Der \bar{L}_{\max} ist das energetische Mittel der maximalen Lärmpegel einer repräsentativen Anzahl Über- oder Vorbeiflüge. Bei Messungen ist die Einstellung SLOW zu verwenden.

Vorgaben bei der Berechnung von Helikopterimmissionen

Eine Flugbewegung zählt als Über- oder Vorbeiflug, wenn der maximale Schalldruckpegel der Flugbewegung am Immissionsort einen gewissen Schwellenwert übersteigt. Bewegungen, die am Immissionsort diesen Pegel nicht erreichen, leisten entsprechend keinen Beitrag zur Mittelwertbildung. Damit ist sichergestellt, dass weit entfernte Flugbewegungen nicht zur rechnerischen Minderung des \bar{L}_{\max} der tatsächlichen Über- oder Vorbeiflüge am Immissionsort beitragen. Bei diesem Vorgehen kann pro Flugroute auch ein virtueller Helikopter verwendet werden, dessen Emission den energetisch gemittelten Emissionen der Helikopterbewegungen auf der Flugroute entsprechen.

Definition von Über- und Vorbeiflug

Da die tatsächliche Verteilung von Maximalpegeln schwankt, ist auch das Erreichen dieses Kriteriums nicht mit einer Null-Eins-Funktion am Immissionsort zu beschreiben. Im Doc29^[2] wird gemäss den Schwankungen bei Messungen des Maximalpegels eine Gaussverteilung mit einer Standardabweichung von 2 dB für die Maximalpegelverteilung vorgeschlagen. Entsprechend ist die Null-Eins-Funktion mit dem Integral der Gaussverteilung (Errorfunktion) zu ersetzen, wobei das Maximum der Verteilung bei 65 dB liegt und die Standardabweichung 2 dB beträgt. Die 65 dB entsprechen der Schwelle für den Maximalpegel der Flugbewegung, ob diese am Immissionsort noch als Vorbeiflug zählt oder nicht.

Schwellenwert für den Maximalpegel von Vorbeiflügen

Ergibt die Definition von Über- und Vorbeiflug mittels Schwellenwert Lärmkarten mit Lärmzunahmen respektive «Lärmiseln» entfernt vom Heliport, welche nicht auf Terrainveränderungen zurückzuführen sind, so ist der \bar{L}_{\max} für jede Flugroute einzeln zu erheben (ohne Schwellenwert) und es ist die Umhüllende der Lärmkurven der verschiedenen Routen zu bilden.

\bar{L}_{\max} für jede Flugroute separat

Bei der Berechnung der \bar{L}_{\max} -Grenzwertkurven sind auch die Neben- oder Seitenflugspuren der Flugrouten zu berücksichtigen, wie es in Kap. 2.1 allgemein für die Berücksichtigung der Flugbahnstreuung auf einer Flugroute beschrieben ist. Es ist also eine energetische Mittelung über die gewichteten Flugspuren durchzuführen.

Berücksichtigung der Streuung der Flugspuren bei \bar{L}_{\max}

Beim Starten verursacht der Helikopter für eine gewisse Zeit bereits Lärm, bevor er losfliegt. Ebenso erzeugt der stehende Helikopter nach dem Landen noch eine gewisse Zeit Lärm. Sind diese Zeiten aus dem Helikopterbetrieb nicht bekannt, so sind pro Start drei und pro Landung eine Minute mit der Quellenleistung wie beim Start minus 6 dB zu wählen.

Berücksichtigung des Lärms vor dem Start und nach dem Landen

4 > Messungen

Fluglärmimmissionen können flächendeckend nur durch Berechnungen ermittelt werden. Entsprechend sind Fluglärmmessungen eher selten. Im Falle von Flugzeugzertifizierung, Fluglärmüberwachung oder Kontrollmessungen von Immissionsprognosen kommen Lärmmessungen aber vor. Das Kapitel gibt eine Übersicht der vorhandenen Vorgaben.

4.1 Allgemeine Anforderungen

Damit Fluglärmmessungen ihrem jeweiligen Zweck entsprechend ausgeführt werden können, ist zunächst jeweils ein entsprechendes Messkonzept zu erstellen. Dies soll auf der Basis von einschlägigen Normen z. B. DIN 45684 Teil 2^[17] oder DN 45643^[18] u. a. Standards wie ISO 1996–2^[19] erstellt werden. Das Konzept muss in jedem Fall mit der zuständigen Vollzugsbehörde und dem BAFU als Fachbehörde abgesprochen sein. Damit wird sichergestellt, dass die Erkenntnisse in die Standards der Berechnungsverfahren einheitlich für die ganze Schweiz einfließen. Eine wichtige Vorgabe aus den oben zitierten Normen ist, dass eine Abschätzung über die Unsicherheit bzw. den Messfehler durchzuführen ist.

Messkonzept und Angaben zur Messunsicherheit

Es sind Schallpegelmesser der Klasse 1 zu verwenden. Die Mikrophone sind 4 oder besser 10 Meter über Grund zu positionieren. Der Standort muss direkten Sichtkontakt zu den Flugzeugen haben, das heisst gemäss DIN ISO 20906^[20] einen Sichtwinkel vor und nach dem nächsten Punkt der Flugbahn von idealerweise je 70 Grad oder mehr aufweisen. Weiter ist es vorteilhaft, wenn über schallweichem (soft ground) Boden wie einer Wiese gemessen wird, damit die Bodeneffekte klein gehalten werden können.

Anforderungen an Schallpegelmesser und Standort

4.2 Anforderungen zu spezifischen Situationen

Unbeaufsichtigte Messungen zur Überwachung von Fluglärm in der Umgebung von Flughäfen sollen sich an der DIN ISO 20906^[20] orientieren.

Monitoring

Lärmmessungen für die Zertifizierung von Flugzeugen sind nach dem Anhang 16 der internationalen Konvention der ICAO durchzuführen^[21].

Zertifizierungsmessungen

Werden Immissionsprognosen punktuell mit begleiteten, kurzzeitigen Immissionsmessungen kontrolliert, so müssen die Messergebnisse auf einen Jahresmittelwert hochgerechnet werden. Dabei müssen neben den Flugzeugtypen auch die Flugrouten und deren Abweichungen in geeigneter Weise berücksichtigt werden (so auch in ISO 1996–2 angedeutet).

Kontrollmessungen von Immissionsprognosen

5 > Dokumentation der Ergebnisse

Das Kapitel gibt einen Überblick über spezifische Anforderung bei der Berichterstattung von Lärmberechnungen oder -messungen. Die Vorgaben betreffen Angaben zu den notwendigen Berechnungsgrundlagen sowie Standards bei Messberichten.

5.1 Anforderungen bei Berechnungen

Berichte in Papierform sollen Lärmkarten beinhalten und mit digitalen Daten wie Rasterpunktberechnungen und Niveaulinien begleitet sein. Die digitalen Daten enthalten dabei in geeigneter Form die zugehörigen Attributbeschreibungen.

Grundsätze

Die Berechnungen sind im konkreten Einzelfall nachvollziehbar zu dokumentieren. Dabei sind insbesondere auch folgende Angaben festzuhalten:

Angaben zur Nachvollziehbarkeit

- > Rechenprogramm mit Version und den benutzten Einstellungen
- > Flugzeugnummer in SANC-DB der verwendeten Flugzeugemissionen
- > Flottenzusammenstellungen für die einzelnen Flugrouten und Beurteilungszeiten
- > Benutzte Flugzeugklassen mit Begründung der Klasseneinteilung
- > Darstellung der Flugrouten, deren berücksichtigter Bereich inkl. der verschiedenen Flugzustände gemäss SANC-DB graphisch (Profile) und in einer Karte (Spuren)
- > Gewählte Flugspuren mit Begründung oder Hinweise und Erklärungen zum Einbezug von Radardaten
- > Monats- und Wochenstatistik für die Herleitung von N1 und N2 bei Kleinluftfahrzeugen, sowie Hochrechnungsfaktor Fk, resp. Faktoren Fj und Fp bei Militärflugplätzen
- > Datengrundlagen für den berechneten Flugbetrieb wie Quellenangabe, Mittelwerte welcher Jahre, Hochrechnung mit welchen Faktoren bei Prognosen
- > Angabe einer Unsicherheitsabschätzung für die ermittelten Pegel bei den Landesflughäfen

Bei Lärmbelastungskatastern (LBK) sind die Angaben gemäss Artikel 37 LSV zu machen. Bei Flugplätzen mit einem relevanten Anteil an Flugbewegungen von Grossflugzeugen sind sowohl die Belastungsgrenzwerte für den Lärm des Verkehrs von Kleinluftfahrzeugen als auch die Belastungsgrenzwerte für den Lärm des Gesamtverkehrs von Kleinluftfahrzeugen und Grossflugzeugen zu ermitteln. Es sind die Lärmkurven der Planungs- (PW), Immissionsgrenz- (IGW) und Alarmwerte (AW) für alle Empfindlichkeitsstufen (ES) darzustellen.

Besonderes zu Lärmbelastungskatastern

Zur Darstellung und Beurteilung der Fluglärmbelastung kann es zweckmässig sein, sogenannte Grenzbelastungskurven (GBK) zu generieren. Die GBK ist die Umhüllende aller relevanten, die Grenzwerte darstellenden Kurven der verschiedenen Beurteilungs-

Grenzbelastungskurve

pegel und umrandet das Gebiet mit Grenzwertüberschreitung. Die Kurvensegmente unterscheiden sich nach zugehörigem Beurteilungspegel in ihrer Darstellung, die Zuordnungen werden aus der Legende ersichtlich. Bei Flächen von Nutzungszonen die innerhalb der GBK liegen sind die Grenzwerte überschritten.

Beispiel Militärflugplatz mit gemischtem Betrieb: Die GBK der ES II entspricht beim IGW der Umhüllenden der Kurven der folgenden Beurteilungspegel: Lr = 65 dB, Lrk = 60 dB, Lrt = 60dB, Lrn1 = 55 dB, Lrn2 = 50 dB und Lrn3 = 50 dB. Gebiete der dargestellten ES II mit Überschreitung des IGW befinden sich innerhalb dieser Grenzbelastungskurve.

Damit die Aufsichtsbehörde die Daten geeignet in ihren Monitoring Systemen anwenden kann, sind die digitalen Vektordaten (GIS-Daten, Polygone etc.) insbesondere mit nachfolgenden Attributen zu versehen. Bei Rasterdaten sind diese Informationen als Beschrieb der Datei beispielsweise in einem Textfile anzugeben:

Beispiel zu Grenzbelastungskurve

Attributbeschreibungen
der GIS-Daten

Tab. 4 > Beschrieb der Datei

Attributname	Datentyp/Bemerkungen
Name:	Name des Flugplatzes
ICAO-Flugplatzcode:	Code
Flugplatztyp:	Landesflughafen, Regionalflugplatz, Flugfeld, Heliport, Militärflugplatz, ehemaliger Militärflugplatz, zivil mitbenützter Militärflugplatz
Zivile Nutzung:	ja/nein
Militärische Nutzung:	ja/nein
Flugbewegungen total:	Zahl
Anz. ziv. Grossflugzeuge Tag:	Zahl
Anz. ziv. Grossflugzeuge Nacht1:	Zahl
Anz. ziv. Grossflugzeuge Nacht 2:	Zahl
Anz. ziv. Grossflugzeuge Nacht 3:	Zahl
Anz. ziv. Kleinluftfahrzeuge:	Zahl
Anzahl ziv. Helikopter:	Zahl
Anz. Militärjets:	Zahl
Anz. Militär-Propellerflugzeuge:	Zahl
Anz. Militärhelikopter:	Zahl
Typ der Berechnung:	LBK, UVB, genehmigte Lärmbelastung gemäss Art. 37a LSV, effektiver Jahresbetrieb (Kontrollrechnung), Prognose
Zeithorizont der Berechnung:	Jahr
Datum der Berechnung:	Datum
Berechnet von:	Name (Büro)
Verwendetes Programm:	Name inkl. Version

5.2 Anforderungen bei Messungen

Grundsätzlich ist das Vorgehen nach den Anforderungen, wie sie im Kap. 4 beschrieben sind, nachvollziehbar zu dokumentieren. Weiter sei hier speziell auf folgende Punkte hingewiesen:

Der Messort und die Mikrofonanordnung sind kartographisch und mit Fotos festzuhalten und detailliert zu beschreiben. Denn kleine Verschiebungen können zu deutlichen Abweichungen führen. Es sind auch Details in der Nähe wegen möglichen Reflexionen zu beschreiben.

Die Messgenauigkeit ist in dB zumindest für die Mittelwerte anzugeben. Dabei ist neben der Standardabweichung (Streuung einzelner Ereignisse) auch die Unsicherheit möglicher weiterer Einflüsse zu berücksichtigen oder mindestens zu thematisieren. Eine Grundlage dazu bietet der internationale «Guide» zur Angabe des Unsicherheitsbereichs von Messungen «GUM»^[21].

Neben der Anzahl gültiger Messungen ist auch die Anzahl ungültiger Messungen zu dokumentieren und deren Ausschluss zu begründen.

Bei begleiteten Kontrollmessungen von Immissionsprognosen (kurzzeitig im Gegensatz zu langfristigem Monitoring) ist auf die Zugehörigkeit zur Flugroute respektive Flugspur zu achten und dies entsprechend im Bericht festzuhalten. Weiter ist die Hochrechnung auf das Jahresmittel plausibel und nachvollziehbar festzuhalten. In diesem Zusammenhang ist im Allgemeinen darauf hinzuweisen, dass die Hochrechnung selber mit der Messung nicht verifiziert wurde.

Anforderungen gemäss Kap. 4

Beschreibung der
Mikrofonposition

Angaben zur Messgenauigkeit

Dokumentation ungültiger
Messungen

Begleitete Kontrollmessungen
von Immissionsberechnungen

> Anhang

A1 Kurzbeschreibung der wichtigsten Modellansätze von Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames SANC-REF

Im Folgenden sind die wichtigsten Modelle und Ansätze zur Berechnung der Lärmpegel des Referenzgitters zusammengestellt: Die Lärmquelle ist anhand der Werte in der Datenbank SANC-DB beschrieben (Kap. 3.2.1; ^[5]). Die Immission wird mittels Subtraktion der Ausbreitungsminderungen aus der Emission ermittelt:

$$\text{Immissionspegel} = \text{Emissionspegel} - \text{Ausbreitungsminderungen:}$$

$$L(r, \theta) = L(r_0, \theta) - 20 \cdot \log\left(\frac{r}{r_0}\right) - a(r, r_0) - b(r, \gamma) - h(r_1, r_2, \dots)$$

wobei:

- r = Abstand (Emission – Immission)
- θ = Winkel zwischen Flugachse und Schallausbreitungsrichtung
- $L(r, \theta)$ = Immissionspegel in dB
- r_0 = (Nahe) Abstand bei Emissionsmessung
- $L(r_0, \theta)$ = Emissionspegel in dB
- $a(r, r_0)$ = Luftdämpfung auf dem Ausbreitungsweg von r_0 nach r in dB
- γ = Winkel zwischen Boden und Schallausbreitungsrichtung
- $b(r, \gamma)$ = Bodendämpfung in der Distanz r und mit dem Winkel γ in dB
- $h(r_1, r_2, \dots)$ = Hindernisdämpfung durch Hindernisse bei r_1, r_2, \dots in dB

Die Ausbreitungsterme sind wie folgt festgelegt:

- > Die Luftdämpfung $a(r, r_0)$ wird nach ISO 9613–1^[9] berechnet. Die Werte für die Atmosphäre sind: Druck $p = 1013,25 \text{ mB}$, Temperatur $T = 15 \text{ °C}$, relative Luftfeuchtigkeit $rh = 70 \text{ \%}$.
- > Für die Bodendämpfung $b(r, \gamma)$ gilt die folgende Gleichung:

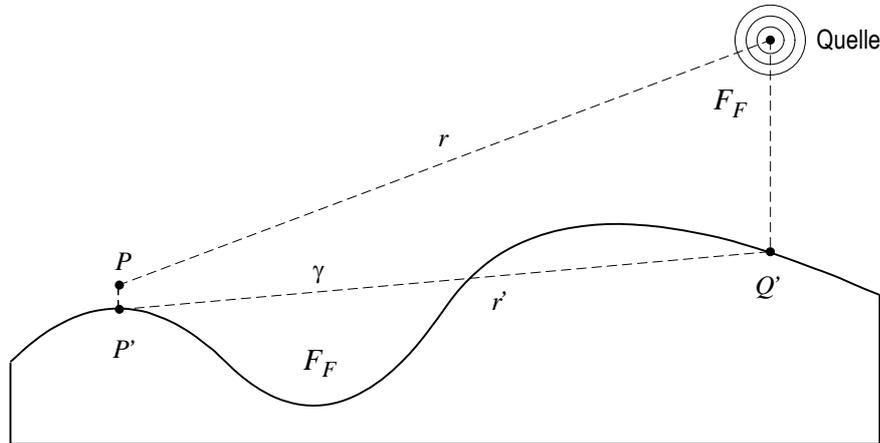
$$b(r, \gamma) = \left(10.1451 - 9.9e^{-0.00134r}\right) (1 - 3.8637 \sin(\gamma)) \quad \gamma < 15^\circ$$

wobei γ als ein äquivalenter Elevationswinkel wie folgt definiert ist:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{2 \cdot F_F}{r \cdot r'}\right)$$

und die freie Fläche F_F zwischen Quelle Q und Empfangspunkt P sowie die Distanzen r und r' nach folgendem skizzierten Querprofil festgelegt sind.

Abb. 4 > Freie Fläche F_F und Distanzen r , r' für die γ -Berechnung der Bodendämpfung

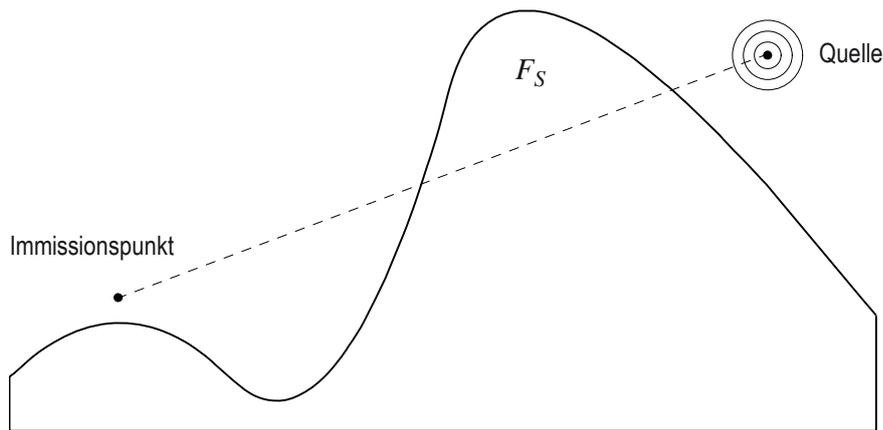


Schliesslich gilt für die Hindernisdämpfung $h(r_1, r_2, \dots)$

$$h(r_1, r_2, \dots) = k_H \cdot F_s / k_H = 8.67 \text{ dB/ha (ha=Hektare)}$$

mit F_s der Fläche oberhalb der Sichtlinie zwischen Quelle Q und Empfängerpunkt P gemäss folgendem skizzierten Querprofil:

Abb. 5 > Fläche F_s oberhalb der Sichtlinie bei der Berechnung der Hindernisdämpfung h



Weitere Angaben finden sich in der Dokumentation ^[8] oder auch in der weiteren Literatur ^[1] und ^[11].

> Literatur

- [1] Bütikofer R., Eggenschwiler K. 2004: Empa, Abt. Akustik. Übersicht über Fluglärberechnungsverfahren. Bericht Nr. 433'411 - 1.
- [2] ECAC European civil aviation conference 2005: Doc 29; Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports; Volume 2: Technical Guide. 3rd Edition.
- [3] Krebs W., Thomann G., Bütikofer R. 2010: Empa, Abt. Akustik. FLULA 2; Ein Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Fluglärmbelastung; Technische Programm-Dokumentation. Version 4.
- [4] Schäffer B., Bütikofer R., Plüss S., Thomann G. 2011: Aircraft noise: accounting of changes in air traffic with time of day. Journal of the acoustical society of America. Bd. 129(1), 185–199.
- [5] Krebs W., Empa, Abt. Akustik; Lobsiger E., Lobsiger Consulting. Swiss Aircraft Noise Database, Technische Dokumentation.
- [6] ICAO International civil aviation organization 2008: Doc 9911 Recommended method for computing noise contours around airports.
- [7] Krebs W., Empa, Abt. Akustik; Lobsiger E., Lobsiger Consulting. SANCTE Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment; Technische Dokumentation zur standardisierten Testumgebung für Fluglärberechnungsprogramme.
- [8] Lobsiger E. 2007: Ansätze für Bodendämpfung und Geländeabschattung bei Fluglärberechnungen. Version 1.0.
- [9] ISO International Organization for Standardization. 9613-1 Calculation of the absorption of sound by the atmosphere. 1993.
- [10] ISO 9613-2 Attenuation of sound during propagation outdoors, part 2: General method of calculation. 1996.
- [11] Lobsiger E. 2005. IMMPAC, ein Verfahren und Programm zur Berechnung und Darstellung von Fluglärmimmissionen. Version 1.0.
- [12] Thomann G. 2007: Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Zürich: Diss. ETH Nr. 17 433.
- [13] Bundesministerium des Innern 2008: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz gegen den Fluglärm vom 30 März 1971.
- [14] SAE international 1986: SAE AIR 1845, Procedure for the Calculation of Aircraft Noise in the Vicinity of Airports.
- [15] Binder U. 2008: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Untersuchung des Einflusses realer atmosphärischer Bedingungen auf die Ausbreitung von Fluglärm. Göttingen: DLR, 2008. ISRN DLR-FB-2008–18.
- [16] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 2002: Richtlinie 2002/49/EG. Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Brüssel: s.n. www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/rl_umgebungsl_aerm.pdf
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 45684-2, 2007: Ermittlung von Fluggeräuschimmissionen an Landeplätzen; Teil 2: Bestimmung akustischer und flugbetrieblicher Kenngrößen.
- [18] DIN 45643 Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen 2011.
- [19] ISO; International Organization for Standardization 2007: ISO 1996–2, Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of environmental noise levels.
- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN ISO 20906, 2009: Akustik – Unbeaufsichtigte Überwachung von Flugzeugschall in der Umgebung von Flughäfen.
- [21] Annex 16 to the convention on international civil aviation 2008: International standards and recommended practices, Volume 1: Aircraft noise. ICAO International civil aviation organization.
- [22] JCGM, joint committee for guides in metrology 2008: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement.

> Verzeichnisse

Abkürzungen

AzB

Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen des deutschen Innenministeriums

APU

auxiliary power unit (Hilfstriebwerke von Flugzeugen für den Betrieb am Boden)

AW

Alarmwert gemäss USG und LSV

DOC.29R

Anleitung der ECAC zur Berechnung von Fluglärm

DOC9911

Anleitung der ICAO zur Berechnung von Fluglärm

ECAC

European civil aviation conference

GBK

Grenzbelastungskurve: siehe Kap. 5.1.

GIS

Geographisches Informationssystem

IGW

Immissionsgrenzwert gemäss USG und LSV

INM

integrated noise model

ICAO

International civil aviation organization

L_{Amax}

Maximaler A bewerteter Schalldruckpegel

L_{AE}

Einzelereignis-Schalldruckpegel in dB(A) (nach ISO 1996-1)

Leq

energieäquivalenter Mittelungs- oder Dauerschalldruckpegel in dB(A)

LBK

Lärmbelastungskataster gemäss LSV

L_r

Beurteilungspegel nach LSV

L_{max}

Gemittelter L_{Amax} von Helikoptervorbeiflügen gemäss Anhang 5 LSV

LSV

Lärmschutz-Verordnung vom 15.12.1986

NMPlot

Open source GIS-Software (www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm)

PW

Planungswert gemäss USG und LSV

SAE

Society of automotive engineers

SANC-Tools

Swiss aircraft noise calculation – tools; Instrumentensammlung zur Überprüfung der Fluglärmrechnungsprogramme

SANC-DB

Swiss aircraft noise calculation – data base; Datenbank von SANC-tools

SANC-TE

Swiss aircraft noise calculation – test environment; Testumgebung von SANC-tools

SANC-REF

Swiss aircraft noise calculation – reference frame; Referenzrahmen von SANC-tools

USG

Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7.10.1983

Abbildungen

Abb. 1

Beispiel eines Datensatzes für den Flugzustand «takeoff standard power» der Emissionen eines Flugzeuges in der Datenbank SANC-DB

19

Abb. 2

Veranschaulichung der Asymmetrieparameter der Lärmquellenbeschreibung in SANC-DB

20

Abb. 3

Ausschnitt einer Lärmberechnung in der Testumgebung SANC-TE AIRFIELD mit Vergleich des Referenzrahmens von ±0,5 dB

22

Abb. 4

Freie Fläche FF und Distanzen r, r' für die γ -Berechnung der Bodendämpfung

33

Abb. 5

Fläche F_s oberhalb der Sichtlinie bei der Berechnung der Hindernisdämpfung h

33

Tabellen

Tab. 1

Verteilung der Bewegungen und dem Abstand der
Seitenflugspuren zur mittleren Flugspur 13

Tab. 2

Angaben der Programmhersteller zum Stand der Technik und
den Vorgaben der LSV (Selbstdeklaration) bei der Empfehlung
durch das BAFU 21

Tab. 3

Konformitätskriterien zur Empfehlung von
Fluglärmprogrammen mittels Testumgebung SANC-TE und
Referenzrahmen SANC-REF 22

Tab. 4

Beschrieb der Datei 30