

## Vergleich von Fluglärm-Berechnungsverfahren

### Unterschiede bei der Fluglärmrechnung nach INM und nach Doc 29, 3rd Edition

Svenja Veric<sup>1</sup>, Dieter Zollitsch<sup>1</sup>, Jochen Schaal<sup>1</sup> und Dr. Berthold Vogelsang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Braunstein + Berndt GmbH, 71522 Backnang, E-Mail: svenja.veric@soundplan.de

<sup>2</sup> Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, Hannover

#### Einleitung

Im Rahmen der EU-Umgebungslärmrichtlinie ist unter anderem eine Harmonisierung der Fluglärmrechnung innerhalb der Europäischen Union vorgesehen. Doc 29, 3rd Edition der European Civil Aviation Conference soll in angepasster Form für die Lärmkartierung verbindlich eingeführt werden. Das US-Amerikanische Berechnungsprogramm INM und Doc 29, 3rd Edition bauen auf derselben Berechnungsvorschrift, SAE AIR 1845, auf. Beide Modelle gelten daher als weitestgehend äquivalent. Mit der Untersuchung dieser Äquivalenz haben wir uns befasst und werden im Folgenden unsere Ergebnisse darstellen.

#### Vorgehensweise

Zunächst wurden die jeweiligen Berechnungsvorschriften analysiert und anschließend in das Berechnungsprogramm SoundPLAN 7.3 implementiert. Im Rechenkern des Programms wurden Schalter eingebaut, die dem Anwender nun ermöglichen, Berechnungen exakt nach Doc 29, 3rd Edition durchzuführen, oder wahlweise einen oder mehrere Methoden abweichend nach INM durchführen zu lassen. Die folgende Grafik zeigt die Einstellungsmöglichkeiten im Rechenkern mit den von uns identifizierten wesentlichen Unterschieden zwischen Doc 29, 3rd Edition und dem INM:

	ECAC	INM
Zerlegung	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
NPD Extrapolation	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lateral Attenuation	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Thrust / Speed Interpolation	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 1 : Möglichkeiten der Differenzierung im Rechenkern (Programm SoundPLAN 7.3)

Mit Hilfe dieser Möglichkeiten wurden Radarspurberechnungen anhand von Daten vom Flughafen Hannover-Langenhagen durchgeführt. Es erfolgten  $L_{eq}$  und  $L_{max}$ -Berechnungen von allen Ereignissen eines halbes Jahres (insgesamt 35.750 Einzelereignisse) an jeweils 20 Immissionsorten im Umkreis von maximal 26 km vom Flughafen. Dabei wurde jeweils einer der Schalter auf INM gesetzt und die Ergebnisse mit der exakten Doc 29, 3rd Edition Berechnung verglichen. Zusätzlich wurden von einzelnen Ereignissen Konturberechnungen durchgeführt, um die Unterschiede anschaulicher zu machen.

#### Ergebnisse

##### Zerlegung

Unter dem Punkt "Zerlegung" wurden mehrere Unterschiede zwischen Doc 29, 3rd Edition und INM zusammengefasst:

1. Kreisbögen werden unterschiedlich zerlegt. Doc 29, 3rd Edition zerlegt Kreisbögen mit Hilfe von Sekanten in gerade Streckenabschnitte. INM hingegen ersetzt einen Kreisbogen durch zwei Geraden in der Weise, dass die Länge des Flugweges dennoch dieselbe bleibt. Dies verdeutlicht die folgende Abbildung:

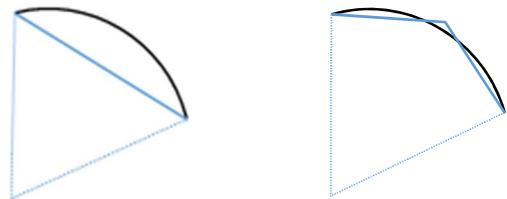


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Kreisbogen-segmentierung im Doc 29, 3rd Edition (links) und im INM (rechts)

2. Während Doc 29, 3rd Edition bei der Segmentierung des Steigflugs zwischen dem Anfangssteigflug (initial climb) und dem restlichen Steigflug unterscheidet, werden im INM beide Flugzustände gemeinsam erfasst.
3. Wenn Segmente zu lang sind, werden sie nochmals unterteilt. Die Anzahl der Untersegmente wird nach Doc 29, 3rd Edition nach folgender Gleichung ermittelt:

$$n_{seg} = \text{int}(1 + |V_2 - V_1|/10) \quad [-] \quad (1)$$

$n_{seg}$  Anzahl an Untersegmenten (gleicher Länge)

$V_1$  Segment-Anfangsgeschwindigkeit [m/s]

$V_2$  Segment-Endgeschwindigkeit [m/s]

Im INM hingegen berechnet sich die Anzahl der Untersegmente nach der folgenden Gleichung:

$$n_{seg} = \text{int} \left( 1 + \left[ \frac{(V_2 - V_1) \cdot L}{100000} \right]^{1/2} \right) \quad [-] \quad (2)$$

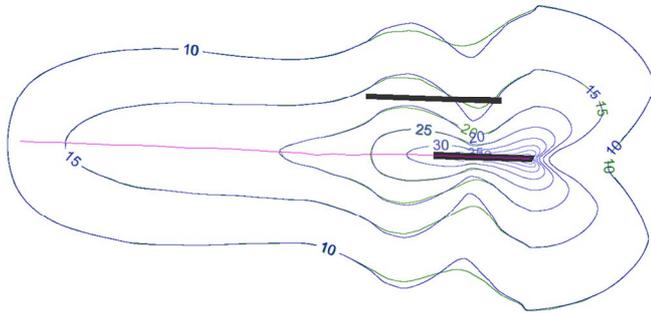
$L$  Segmentlänge [ft]

Im INM wird also die Segmentlänge bei der Berechnung berücksichtigt, wohingegen sie im Doc 29, 3rd Edition nicht in die Berechnung eingeht.

4. Abschließend werden bei der Segmentierung einzelne Punkte entfernt, wenn Segmente zu kurz sind. Nach Doc 29, 3rd Edition ist dies bei Segmenten der Fall, die kürzer als 10 m sind, nach INM muss die Mindestlänge eines Segments 10 ft (etwa 3 m) betragen.

Die vier genannten Punkte führen beim Start eines Luftfahrzeuges dazu, dass Konturen des äquivalenten

Dauerschallpegels bei einer Berechnung nach INM im Bereich hinter dem Startpunkt und seitlich der Startbahn etwas mehr "eingeschnürt" sind, sich also hier tendenziell etwas geringere Pegel ergeben. Im Bereich seitlich vor der Startbahn ergibt sich eine leichte Erhöhung der Pegel.



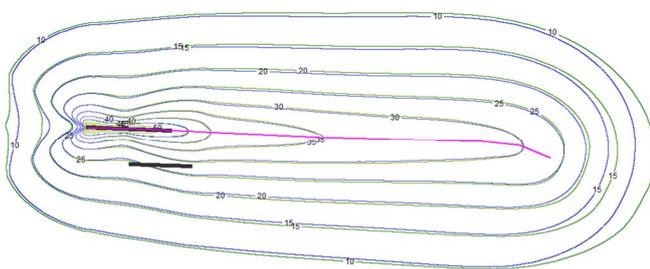
**Abbildung 3:**  $L_{eq}$  eines Abfluges der Dash 8. Kontur der Berechnung rein nach Doc 29, 3rd Edition in grün, nach Doc 29, 3rd Edition mit INM-Zerlegung in blau.

### NPD Extrapolation

Die Pegelberechnung nach beiden Verfahren basiert auf tabellierten Noise-Power-Distance-Kurven. Für Entfernungen zwischen 200 ft und 25.000 ft sind hier Pegel in Abhängigkeit vom Schub angegeben. Diese werden innerhalb der Tabelle interpoliert, für Entfernungen von weniger als 200 ft und mehr als 25.000 ft wird extrapoliert. Doc 29, 3rd Edition beschränkt hier lediglich den Mindestabstand auf 30 m. INM setzt für Entfernungen unter 200 ft eine Addition von 6 dB pro Abstandshalbierung an, für Entfernungen über 25.000 ft liegt der Pegel maximal 5 dB unter dem niedrigsten Pegel in der Tabelle.

### Lateral Attenuation

Auswirkungen von Interferenzeffekten zwischen direkten Schallwellen und von der Bodenoberfläche reflektierten. Die Berechnung ist abhängig vom Abstand des Immissionsorts vom Luftfahrzeug und vom zugehörigen Höhenwinkel. Abstand und Höhenwinkel sind nach Doc 29, 3rd Edition und INM unterschiedlich definiert.



**Abbildung 4:**  $L_{eq}$  eines Abfluges des A319. Grüne Kontur rein nach Doc 29, 3rd Edition gerechnet, blaue Kontur mit seitlicher Dämpfung nach INM.

INM setzt einen größeren Dämpfungseffekt an als Doc 29, 3rd Edition. Dadurch erhält man nach INM stets etwas geringere Pegel.

### Thrust / Speed Interpolation

Bei der Ermittlung der Segment-Geschwindigkeiten und der Segment-Triebwerksleistung interpoliert Doc 29, 3rd Edition quadratisch, INM hingegen interpoliert linear.

## Zusammenfassung

Es finden sich Unterschiede zwischen INM und Doc 29, 3rd Edition in der Zerlegung, der NPD Extrapolation, der seitlichen Dämpfung und der Thrust/Speed Interpolation. Davon fällt die seitliche Dämpfung am stärksten ins Gewicht. Die folgende Tabelle zeigt eine Zusammenstellung unserer Berechnungsergebnisse. Dargestellt sind die mittleren Abweichungen aller  $L_{eq}$  und aller  $L_{max}$  der Einzelereignisse eines halben Jahres, wenn jeweils eine Methode nach INM gerechnet wird, im Vergleich zur exakten Doc 29, 3rd Edition Berechnung:

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der mittleren Abweichungen bei der Einzelbetrachtung aller Ereignisse eines halben Jahres

Einstellung im Rechenkern	Mittlere Abweichung mit Standardabweichung [dB]	
	$L_{eq}$	$L_{max}$
Zerlegung INM	0,09 +/- 0,03	0,02 +/- 0,01
NPD Extrapol. INM	0,46 +/- 0,13	0,37 +/- 0,16
Lateral Atten. INM	1,41 +/- 0,61	0,04 +/- 0,04
Thrust/Speed INM	$10^{-4}$ +/- $10^{-4}$	$10^{-5}$ +/- $10^{-5}$

Die unterschiedliche Zerlegung wirkt sich nur bei Abflügen aus. Durch die NPD-Extrapolation ergeben sich bei Flugzeugen, deren Schub als Prozentangabe in der Datenbank vorliegt, große Abweichungen. Hier sind überwiegend niedrige Prozentwerte gegeben, sodass stark extrapoliert werden muss. Bei der Lateral Attenuation ergaben sich beinahe ausschließlich geringere Pegel durch die Berechnung nach INM. Die Abweichungen durch die unterschiedliche Thrust/Speed Interpolation sind im Mittel äußerst gering, können allerdings im Einzelfall bis zu 5 dB betragen.

Werden die Einzelereignisse nicht einzeln ausgewertet, sondern erfolgt eine Gesamtberechnung eines Halbjahres, wie sie normalerweise bei der Fluglärmrechnung geschieht, verwischen die Abweichungen deutlich, da nur wenige Flugzeuge den Gesamt- $L_{eq}$  maßgeblich beeinflussen und die  $L_{max}$ -Werte lediglich jeweils das lauteste Flugzeug repräsentieren. Insbesondere bei der NPD-Extrapolation erhalten wir dann niedrigere Abweichungen von 0,06 +/- 0,02 dB beim  $L_{eq}$  und 0,03 +/- 0,03 dB beim  $L_{max}$ . Die seitliche Dämpfung ergibt Abweichungen von 0,26 +/- 0,11 dB beim  $L_{eq}$  und 0,01 +/- 0,07 dB beim  $L_{max}$ . Bei der Zerlegung und der unterschiedlichen Thrust/Speed Interpolation bleiben die Abweichung bei uns nahezu unverändert.

## Literatur

- [1] Federal Aviation Administration: Integrated Noise Model, Technical Manual, User's Guide, 2008
- [2] European Civil Aviation Conference (ECAC): Methodology for Computing Noise Contours around Civil Airports, ECAC.CEAC Doc 29, 3rd Edition, 2005