

Landebahn Nord des Flughafens Frankfurt Main

Rolllärmuntersuchung für die Varianten 9a und 9b

1	Aufgabenstellung	2
2	Ausgangsdaten	2
2.1	Betriebsdaten.....	2
2.2	Beschreibung der Planungsvarianten.....	4
3	Nachweisorte	5
3.1	Schallbelastungssituation an den Messpunkten	5
4	Berechnungsmodell	6
4.1	Allgemeines zum Berechnungsmodell	6
4.2	Akustische Ausgangsdaten	8
4.3	Berechnungsmodell	13
5	Ergebnisdarstellung	14
6	Quellenangaben.....	17
7	Lageplanskizze	18

1 Aufgabenstellung

Im Zuge des Mediationsverfahrens werden derzeit mehrere unterschiedliche Varianten zur Steigerung der Kapazität des Flughafens Frankfurt diskutiert. Hierbei werden für die Varianten 9a und 9b, die den Bau einer nördlichen Landebahn zum Gegenstand haben, Aussagen zur Belastung durch Rolllärm benötigt. OBERMEYER PLANEN + BERATEN erhielt von der Flughafen Frankfurt Main AG (FAG) den Auftrag, in einer Schalltechnischen Untersuchung den auf ausgewählte Nachweisorte einwirkenden Rolllärm zu ermitteln.

Bei der Arbeitskreissitzung am 06.12.1999 wurde der Wunsch geäußert, dass die Untersuchung außer Angaben zu den Dauerschallpegeln, die während definierter „Zeitscheiben“ und bei bestimmten Betriebsbedingungen auftreten werden, auch eine Abschätzung der zu erwartenden Maximalpegel enthalten möge.

In dieser Untersuchung werden als Rolllärm die Geräusche von rollenden und ggf. stehenden Luftfahrzeugen verstanden, die nach dem Verlassen der Landebahn und vor dem Eintreffen im bestehenden Flughafenbereich entstehen.

2 Ausgangsdaten

2.1 Betriebsdaten

Die benötigten Prognosedaten für die nördlichen Landebahnvarianten wurden von der FAG in der Form des „Datenerfassungssystems (DES)“, wie es für die Fluglärmrechnung üblich ist, übergeben. Das DES gibt für den Zeitraum der verkehrsreichsten sechs Monate eines Jahres die Anzahl der Flugbewegungen an, die von Luftfahrzeugen bestimmter Klassen während der Tag- bzw. der Nachtstunden auf bestimmten Flugrouten abgewickelt werden.

Die Prognosedaten wurden mit einer gegenüber der AzB (Anleitung zur Berechnung von Lärmzonen. Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A, Z 3191 A, S. 125 ff vom 10.03.1975 mit Ergänzung vom 20.02.1984) modifizierten Luftfahrzeugklasseneinteilung (Entwurf für eine überarbeitete AzB) sowie mit einer höheren zeitlichen Auflösung übergeben.

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt für den Durchschnittstag aus den verkehrsreichsten sechs Monaten des Jahres die Anzahl der pro „Zeitscheibe“¹ für die nördliche Landebahn prognostizierten Flugbewegungen sowie die Anzahl der Flugbewegungen, die während einer Durchschnittsstunde erfolgen. Da die Planungsvarianten 9a und 9b als reine Landebahnen konzipiert sind (es finden hierauf keine Abflüge statt) bewirkt jede Flugbewegung eine Rollbewegung von der Landebahn zum bestehenden Flughafengelände. Hierbei wird über eine Rollbrücke (Steigung ca. 1,5 %) die BAB A 3 gequert.

Tabelle 1: Betriebsprognose						
Bewegungsaufkommen 07N/25N (Durchschnittstag der verkehrsreichsten 6 Monate)						
	Tag gesamt	Nacht			Nacht gesamt	Anteil am Mix
		22 - 24	00 - 05	05 - 06		
Prop-2N	40.0	0.0	1.0	0.0	1.0	6.9%
S5S	114.9	4.0	1.0	2.0	7.0	20.6%
S5H	392.8	20.0	12.0	3.0	35.0	72.4%
Summe	547.7	24.0	14.0	5.0	43.0	—
Bewegung pro Stunde 07N/25N						
	Tag gesamt	Nacht			Nacht gesamt	24 Stunden
		22 - 24	00 - 05	05 - 06		
Prop-2N	2.5	0.0	0.2	0.0	0.1	1.7
S5S	7.2	2.0	0.2	2.0	0.9	5.1
S5H	24.6	10.0	2.4	3.0	4.4	17.8
Summe	34.2	12.0	2.8	5.0	5.4	24.6

Die Klassen beinhalten die folgenden Luftfahrzeuge:

- Prop-2N modernere Propellerflugzeuge mit MTOW über 5.7 t, z.B. Dash 7/8, Fokker 50, Saab 2000
- S5S Strahlflugzeuge mit MTOW bis 50 t, z.B. BAe 146, CR Regionaljet
- S5H Strahlflugzeuge mit MTOW bis 120 t und einem Nebenstromverhältnis über 3, z.B. A 319, A 320, A 321, B 737 / 300 ... 500, B 757

Aufgrund der Bahnlänge von 2800 m ist der Anflug von schwererem Fluggerät als Klasse S5H auf der Landebahn 07N/25N nicht vorgesehen.

¹ Unter „Zeitscheiben“ werden hier die folgenden unterschiedlichen Beurteilungszeiträume verstanden: Tag 06.00 – 22.00 Uhr, frühe Nachtstunden 22.00 – 24.00 Uhr, Kernnacht 00.00 – 05.00 Uhr und letzte Nachtstunde 05.00 – 06.00 Uhr.

2.2 Beschreibung der Planungsvarianten

Die Beschreibung der beiden hier untersuchten Planungsvarianten 9a und 9b findet sich im *Kompodium über die im Rahmen des Mediationsverfahrens weiter zu untersuchenden Varianten zur Steigerung der Kapazität des Flughafens Frankfurt (25.08.1999)*.

Gegenstand dieser Untersuchung sind zwei Lagevarianten für eine Landebahn Nord mit jeweils einer Länge von 2800 m. Die Landebahn Nord ist parallel zu den beiden vorhandenen Start-Lande-Bahnen 07/25 orientiert. Die Varianten 9a (Ostlage) und 9b (Westlage) liegen beide nördlich der BAB A3, die über eine Rollbrücke von den rollenden Luftfahrzeugen überquert werden muss (siehe Lageplanskizze).

Die Landebahnvariante 9a ist östlich von Kelsterbach und südlich Schwanheim/Goldstein vorgesehen. Die Rollwege-Anbindung an das bestehende Flughafengelände erfolgt vom westlichen Bahnende aus über eine nach Süden verlaufende Rollweg-/ Rollbrücken-Kombination. Bei Betriebsrichtung West (d.h. Anflug von Osten kommend nach Westen; Häufigkeit tags ca. 73 %, nachts ca. 81 %) rollen alle ankommenden Luftfahrzeuge (Lfz) auf der Landebahn bis zum westlichen Bahnende und benutzen dann den Rollweg / die Rollbrücke über die B 43, die BAB A 3 und den Airportring (Steigung 1.5 %).

Bei Betriebsrichtung Ost steht neben dem Abrollweg am östlichen Bahnende ein Schnellabrollweg zur Verfügung. Die Lfz rollen nach Verlassen der Landebahn auf dem bahnparallelen Rollweg nach Westen, bis dieser Rollweg in die nach Süden führende Rollweg-/ Rollbrücken-Kombination einmündet. Luftfahrzeuge der Klassen Prop-2N und S5S werden im Regelfall über den Schnellabrollweg die Landebahn verlassen. Schwereres Fluggerät der Klasse S5H wird zu 70 % den Schnellabrollweg benutzen. Die verbleibenden 30 % der Luftfahrzeuge dieser Klasse werden die Landebahnlänge vollständig nutzen (Abstimmung des Ansatzes mit der Deutschen Lufthansa).

Die Landebahnvariante 9b ist südwestlich von Kelsterbach vorgesehen. Diese Planungsvariante verfügt für beide Betriebsrichtungen (Häufigkeit der Betriebsrichtung West tags ca. 73 %, nachts ca. 81 %) jeweils über einen Schnellabrollweg. Die Verbindung zwischen der Landebahn Nord und dem Flughafenbereich stellt eine (südlich der Landebahn verlaufende) Rollweg-/Rollbrücken-Kombination (mit Querung der A3) dar, die parallel zur Landebahn Nord - über das Bahnende hinaus - nach Osten und dann nach Süden zum Flughafenbereich führt. Der Abrollweg am östlichen Bahnende ist nach Norden hin orientiert;

d.h. Luftfahrzeuge, die bis zum Bahnende rollen (30 % der Klasse S5H) queren die Landebahn in Höhe des östlichen Schnellabrollweges und benutzen weiterhin diesen Rollweg. Dies bedeutet, dass die Flugzeuge vor der Querung der Landebahn im Regelfall anhalten (ggf. kurze Wartezeit) und dann aus dem Stand anrollen müssen.

3 Nachweisorte

In Kelsterbach, dem südlich davon gelegenen Gewerbegebiet und in Schwanheim/Goldstein wurden insgesamt 7 Nachweispunkte festgelegt. Diese werden als Messpunkte (MP 1 bis MP 3; hier wurden ergänzend orientierende Kurzzeit-Schallpegelmessungen vorgenommen, siehe Abschnitt 3.1) bzw. als Immissionspunkte IP 4 bis IP 7 bezeichnet. Die Lage der Nachweisorte ist der beigefügten Lageplanskizze zu entnehmen. Die Modellrechnungen werden für Nachweispunkte in der Höhe des 1. Obergeschosses bzw. bei höherer Bebauung für das 3. OG vorgenommen.

3.1 Schallbelastungssituation an den Messpunkten

Um einen allgemeinen Eindruck von der Schallbelastungssituation in Kelsterbach zu bekommen, wurde neben einer ausführlichen Ortsbesichtigung auch Luftschallmessungen durchgeführt. Hierfür wurden die nachfolgend beschriebenen drei Messpunkte festgelegt (vgl. beigefügte Lageplanskizze), die am Ortsrand von Kelsterbach in Richtung auf den Flughafen orientiert liegen und sich weder im unmittelbaren Einflussbereich von Schallquellen noch im Einflussbereich bedeutender Abschirmungen befinden.

- Messpunkt 1, Dessauer Weg, befindet sich am Ende einer ruhigen Wohnstraße direkt am Waldrand
- Messpunkt 2, Kiefernweg, liegt in einem Wohngebiet etwa 150 m von der recht stark befahrenen Südlichen Ringstraße entfernt
- Messpunkt 3, Ecke Schlichter Weg / Staudenweg, liegt an der Spitze der dortigen Kleingartenanlage auf der Höhe des Südparks.

An jedem Messpunkt wurden jeweils für die Dauer einer Stunde am Tage und in den Abendstunden Schallpegelmessungen mit einem Handschallpegelmesser der Klasse I vorgenommen. Neben dem Mittelungspegel wurden auch statistische Kennwerte (Perzentilpegel) bestimmt. Weiterhin wurden während der Messungen die erkennbaren Schallereignisse protokolliert (vorwiegend startende Flugzeuge).

Die Tabelle 2 gibt die Ergebnisse der durchgeführten Kurzzeitmessung an.

Tabelle 2: Ergebnisse der Luftschallmessung in Kelsterbach am 01.12.1999						
	Messpunkt 1		Messpunkt 2		Messpunkt 3	
	12:43-13:43 Uhr	19:56-20:56 Uhr	14:04-15:04 Uhr	21:20-22:20 Uhr	11:13-12:13 Uhr	18:33-19:33 Uhr
L _{eq} in dB(A)	55.7	52.5	57.5	51.9	59.9	61.9
L ₁ in dB(A)	62.5	60.5	68.5	61.0	68.7	74.5
L ₉₅ in dB(A)	50,4	48,3	50,9	45,8	55,1	52,7
<u>Es bedeuten:</u>						
L _{eq}	über die Beurteilungszeit von einer Stunde energieäquivalent gemittelter Dauerschallpegel					
L ₁ –Pegel:	Der in 1 % der Messzeit überschrittene A-bewertete Schallpegel; er charakterisiert die aus einem Geräusch herausragenden Schallpegelspitzen (<u>mittlerer Maximalpegel</u>).					
L ₉₅ –Pegel:	Schallpegel, welcher während 95% der Messzeit überschritten wurde; dieser Wert entspricht dem <u>Hintergrundpegel</u> .					

Die Schallbelastung an den Messpunkten wurde in wesentlichem durch den Fluglärm (startende Flugzeuge) bestimmt. Gelegentlich traten andere Schallergebnisse wie Zugvorbeifahrten, spielende Kinder auf. Die Grundbelastung nahm in den Abendstunden gegenüber den Tagesstunden ab (vgl. hierzu die L₉₅-Pegel). In der Messzeit zwischen 18:30 Uhr und 19:30 Uhr wurde die Schallbelastung durch zwei überdurchschnittlich laute Flugzeuge bestimmt.

4 Berechnungsmodell

4.1 Allgemeines zum Berechnungsmodell

Zur Berechnung des „Bodenlärms“ im Umfeld von Flughäfen liegt – im Gegensatz zum eigentlichen „Fluglärm“ (Berechnungsvorschrift AzB) – kein eingeführtes Berechnungsmodell vor. Die Modellierung erfolgt anhand allgemein abgefasster Richtlinien (insbesondere der *DIN ISO 9613-2 Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (Entwurf September 1997)*). Die Berechnungen werden mit dem EDV-Programm *Cadna A, Version 2.90, DataKustik, München, August 1999* durchgeführt.

Flugtriebwerke (insbesondere Strahltriebwerke) besitzen eine z.T. deutlich ausgeprägte Richtcharakteristik der Schallabstrahlung; d.h. die Schallabstrahlung erfolgt nicht gleichmäßig in alle Richtungen, sondern es bilden sich unter ver-

schiedenen Winkeln zur Strahlerachse (0° entspricht Flugzeugbug; 180° entspricht Flugzeugheck) „Richtkeulen“ aus. Die Richtcharakteristik eines Schallstrahlers ist stark von der Frequenz abhängig und um so ausgeprägter je höher die Frequenz ist. Triebwerkgeräusche sind breitbandige Geräusche. Beim Start weist das Spektrum maximale Pegel bei einigen 100 Hz auf. Bei der Landung und beim Rollen tritt die höherfrequente Schallemission des Fan (Bläserlärm) stärker in den Vordergrund (s. Abb. 1 in Abschnitt 4.2). Üblicherweise gehen acht Oktaven mit Mittenfrequenzen von 63 Hz bis 8000 Hz in die Berechnung der A-bewerteten Pegel ein (vgl. auch Fluglärmrechnungsverfahren nach AzB oder DIN ISO 9613-2). Tiefer- und höherfrequente Pegelanteile beeinflussen die Höhe der A-bewerteten Pegelwerte aufgrund der Abschwächung bei der Frequenzbewertung (-39.4 dB bei $f_{m\text{-Oktav}} = 31.5$ Hz, -6.6 dB bei $f_{m\text{-Oktav}} = 16$ kHz) sowie der starken Luftdämpfung hoher Frequenzen nicht.

Die Berücksichtigung der Richtcharakteristik ist insbesondere dann erforderlich, wenn es sich um stationäre Quellen mit einer bestimmten räumlichen Orientierung handelt (etwa Hilfstriebwerke an Abstellpositionen am Vorfeld). Bei bewegten Quellen geht ein Teil der Richtwirkung dadurch verloren, dass zwischen Quelle und Nachweispunkt wechselnde Winkelbeziehungen bestehen.

Die angestrebte Berücksichtigung der Richtcharakteristik der Flugtriebwerke erfordert, dass die Rollwege durch eine Vielzahl von (stationären) Punktquellen nachgebildet wird. In dieser Untersuchung wird eine Rollgeschwindigkeit von 30 km/h angesetzt. Die Punktquellen werden so auf die Rollwegachsen gesetzt, dass sie je Rollvorgang für eine zeitliche Dauer von 5 s Schall abstrahlen (Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten ca. 42 m).

Für jede einzelne Punktquelle müssen die folgenden Ausgangsdaten vorliegen:

- Lagekoordinaten (x,y,z)
- Schalleistungsspektrum (Oktavspektrum 63 bis 8000 Hz)
- Richtmaß (8 Oktaven in 15° Schritten)
- Richtungsvektor (Orientierung der Punktquelle; der Richtungsvektor entspricht der Rollrichtung des Luftfahrzeugs)
- Einwirkdauer der Punktquelle (hier: 5 s für ein rollendes Lfz, 90 s für wartende Lfz der Klasse S5H vor Querung der Landebahn bei Variante 9b, Betriebsrichtung Ost)

4.2 Akustische Ausgangsdaten

Im Gegensatz zum Bereich des eigentlichen Fluglärms, wo die zur Berechnung erforderliche akustische und die flugtechnische Datenbasis sowie das eigentliche Berechnungsmodell zur Berechnungsanleitung AzB zusammengefasst sind, liegen für den Bereich des Rolllärms kaum veröffentlichte Emissionsdaten vor.

Die FAG stellte für zwei unterschiedliche Luftfahrzeugmuster (B 737-300/400/500; Lastpunkt *Idle Power* und A 321 unterschiedliche Lastpunkte) Herstellerangaben über den in einem bestimmten Bezugsabstand in Abhängigkeit vom Winkel zur Flugzeugachse spektral gemessenen Schalldruckpegel bei (Herstellermessungen).

Nach entsprechender Datenaufbereitung und –auswertung können aus diesen Daten die Schalleistungsspektren und das Richtwirkungsmaß für die folgenden Luftfahrzeuge und Lastpunkte bestimmt werden:

- B 737/ 300 ... 500 – Lastpunkt Rollen (Idle)
- A 321 - Lastpunkt Rollen (Ground Idle)
- A 321 - Lastpunkt EPR 1.03
- A 321 - Lastpunkt EPR 1.1

Die Auswertung zeigt, dass unterschiedliche Lfz-Muster bei identischen Lastpunkten (Idle) und identische Luftfahrzeuge bei unterschiedlichen Lastpunkten unterschiedliche Richtcharakteristiken aufweisen und Schalleistung in unterschiedlicher Höhe abstrahlen.

OBERMEYER PLANEN + BERATEN verfügt aus vorangegangenen Projekten über einen Fundus an Messergebnissen rollender Luftfahrzeuge (Rolllärmmessungen). Gemessen wurden an einem langen, geraden Rollweg in einem definierten Bezugsabstand die Pegel-Zeit-Verläufe unterschiedlicher vorbeifolender Luftfahrzeuge sowie (spektral) die bei Rollbewegungen auftretenden Pegelmaxima. Die Ergebnisse der Rolllärmmessungen werden zur Überprüfung und zur „Kalibrierung“ der akustischen Ausgangsdaten (Schalleistungsspektren, Richtcharakteristiken) sowie zur Bestimmung der Schalleistung der unterschiedlichen Luftfahrzeugklassen verwendet.

In dieser Untersuchung wird die B 737 / 300 ... 500 als Referenzmuster betrachtet, da hierfür sowohl Messdaten des Herstellers als auch unter realen Betriebsbedingungen gemessene Pegel-Zeit-Verläufe vorliegen und dieses Muster einen höheren Anteil am Flottenmix als der A 321 besitzt. Aus den Messergeb-

nissen der Airbus Industrie werden spektral Zuschläge für unterschiedliche Lastpunkte ($\Delta(\text{EPR1.03-Idle})$; $\Delta(\text{EPR1.1-Idle})$) und qualitative Hinweise zur Veränderung der Richtcharakteristik bei Steigerung der Triebwerksleistung gewonnen.

Die Richtcharakteristik und die Schalleistung der B 737 (abgeleitet aus Herstellerangaben) werden in mehreren Arbeitsschritten soweit modifiziert, dass die Modellrechnung Pegel-Zeit-Verläufe (5-s-Dauerschallpegel) liefert, die mit gemessenen Pegel-Zeit-Verläufen gut übereinstimmen.

Als Ergebnis dieser Kalibrierung wird die Schalleistung L_{w-Idle} der B 737 (Herstellerangaben) um 25 % der aus den Herstellerangaben für den A 321 abgeleiteten Pegeldifferenz $\Delta(\text{EPR1.03-Idle})$ erhöht. Die Rollvorgänge werden in dieser Untersuchung somit durch einen Lastpunkt beschrieben, der eine gegenüber dem Lastpunkt *Idle* erhöhte Schalleistung² abstrahlt. Für die zur Modellierung des Betriebsablaufs zusätzlich benötigten Lastfälle *Anrollen aus dem Stand* und *Rollen bei Steigung* wird (in Absprache mit der DLH) der Zuschlag $\Delta(\text{EPR1.1-Idle})$ auf die Schalleistung L_{w-Idle} angesetzt.

Herstellerangaben zur Richtcharakteristik bzw. zur Schalleistung anderer Lfz (insbesondere zu Mustern der Lfz-Klassen Prop-2N und S5S) liegen nicht vor. Aus den Ergebnissen der Rolllärmessungen werden deshalb spektral für den Lastfall Rollen die folgenden Differenzen der Schalleistung bestimmt:

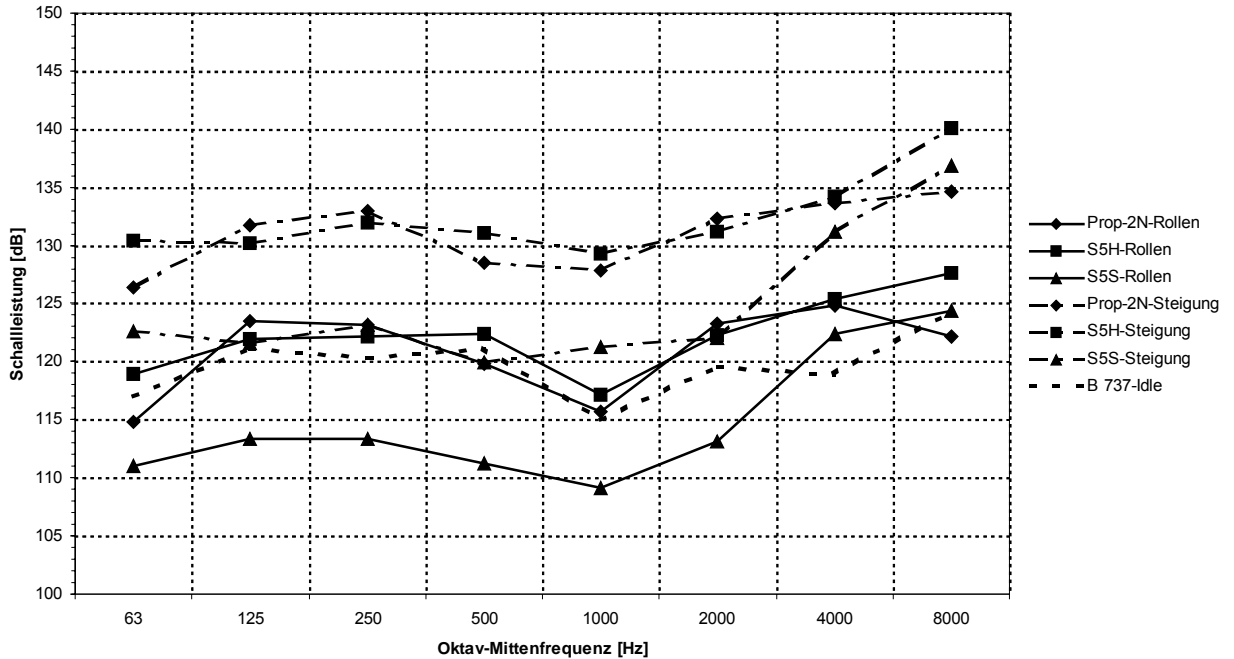
- $\Delta(\text{S5H} - \text{B737})$
- $\Delta(\text{S5S} - \text{B737})$
- $\Delta(\text{Prop-2N} - \text{B737})$

Aus der Referenzschalleistung für die B 737 (Betriebsfall Rollen) und den Differenzspektren können somit die Schalleistungsspektren für die Lfz-Klassen Prop-2N, S5S und S5H für die interessierenden Betriebszustände *Rollen* und *Rollen bei Steigung / Anrollen* ermittelt werden.

Die Abbildung 1 zeigt für die Betriebsfälle *Rollen* und *Rollen bei Steigung/Anrollen* die in dieser Untersuchung angesetzte Schalleistung (Oktavspektren) für die Lfz-Klassen Prop-2N, S5S und S5H sowie das Schalleistungsspektrum der B 737/ 300 ... 500 (Lastpunkt Idle; abgeleitet aus den Herstellerangaben).

² Der Zuschlag beträgt für die einzelnen Oktavbänder zwischen 0.4 und 1.6 dB.

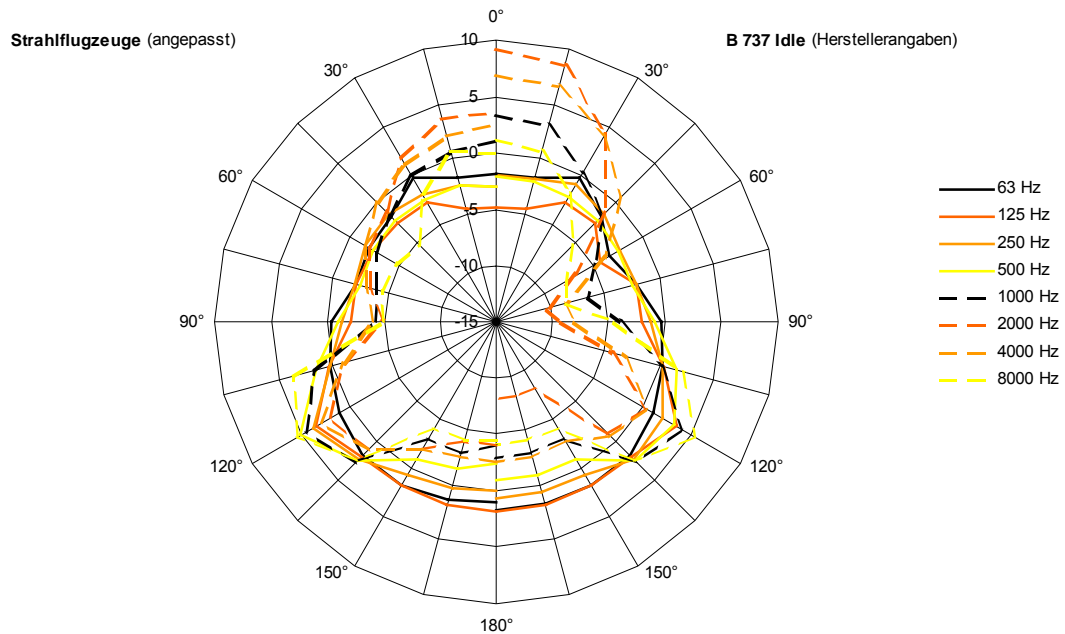
Abb.1: Schalleistungsspektren



Neben der Schalleistung stellt das Richtwirkungsmaß die zweite wesentliche Größe zur Beschreibung des Emissionsverhaltens einer Geräuschquelle dar. Das Richtwirkungsmaß gibt an, um wieviel dB der Schalldruckpegel der Schallquelle in der betrachteten Ausbreitungsrichtung höher oder niedriger ist als der Schalldruckpegel einer ungerichteten Schallquelle gleicher Schalleistung in gleichem Abstand. Das Richtwirkungsmaß ist in der Regel frequenzabhängig.

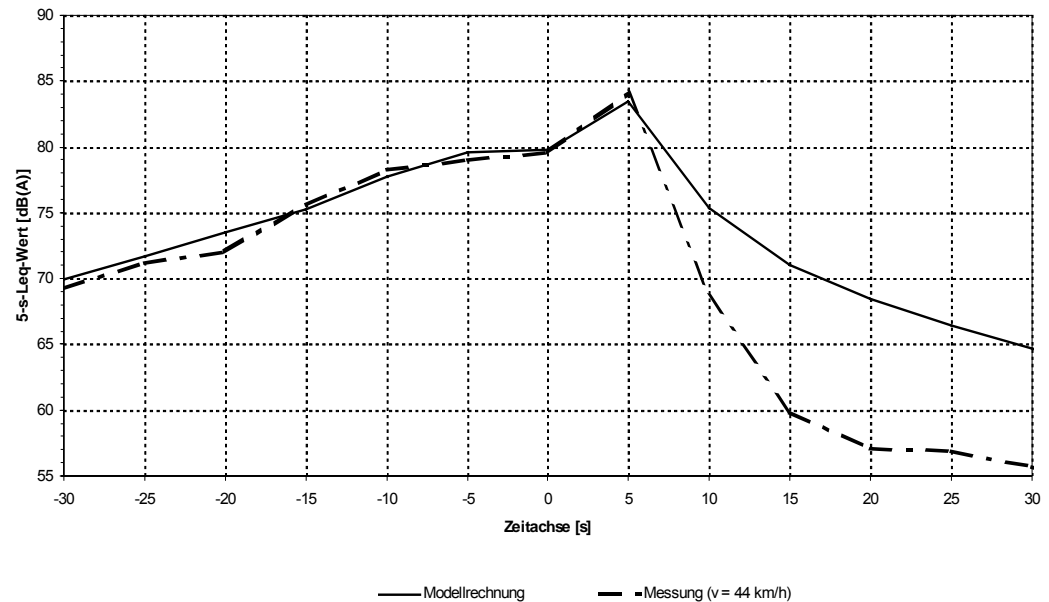
Die Abbildung 2 zeigt für die acht betrachteten Oktaven das Richtwirkungsmaß in Abhängigkeit vom polaren Abstrahlwinkel. Die rechte Diagrammhälfte gibt das Richtwirkungsmaß für die B 737 / 300 ... 500 für den Lastpunkt Idle an (abgeleitet aus den Herstellerangaben), die linke Diagrammhälfte stellt die angepasste Richtcharakteristik dar, die in dieser Untersuchung für Strahlflugzeuge der Klassen S5S und S5H angesetzt wird.

Abb. 2 Richtwirkungsmaß [dB]



Die Abbildung 3 veranschaulicht einen typischen Pegel-Zeit-Verlauf einer rollenden B 737/300 gemessen in 50 m Abstand von der Rollwegachse (zeitlicher Verlauf des 5-s-Dauerschallpegels). Das Diagramm zeigt außerdem den durch Modellrechnung gewonnenen Pegel-Zeit-Verlauf (Schalleistung der B 737 für den Lastfall Rollen (= L_{w-Idle} + Zuschlag); angepasste Richtcharakteristik für Strahlflugzeuge). Der Vergleich der beiden Kurven zeigt insgesamt eine gute Übereinstimmung hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs und der Pegelhöhe. Die Abweichung (Modellrechnung – Messung) beträgt hinsichtlich des Dauerschallpegels + 0.4 dB(A) und hinsichtlich des maximalen 5-s- L_{eq} -Wertes – 0.7 dB(A).

**Abb. 3: Gemessener und berechneter Pegel-Zeit-Verlauf einer rollenden B 737/300
(Abstand = 50 m von der Rollwegachse)**



Propellermaschinen weisen konstruktionsbedingt eine andere Richtcharakteristik als Strahlflugzeuge auf: während bei Strahlflugzeugen zwei Geräuschquellen zu unterscheiden sind (höherfrequenter Bläserlärm „mit nach vorne gerichteter Richtkeule“ und Strahlärm mit einem Abstrahlungsmaximum bei ca. 120° bis 130°; relatives Minimum bei 90° aufgrund der Abschirmung beider Teilquellen durch die Triebwerksummantelung), besteht bei Prop-Triebwerken diese ausgeprägte Richtungsabhängigkeit nicht. Die maßgebliche Hauptschallquelle stellt hierbei der Propeller dar, der naturgemäß „im Freien“ operiert. Typische polare Richtcharakteristiken von Propellergeräuschen weisen bei ungestörter Zuströmung das Maximum bei ca. 90° bis 110° auf. Bei gestörter Zuströmung verschiebt sich das Maximum zu größeren Winkeln hin. In dieser Untersuchung wird für die Prop-2N-Muster keine Richtcharakteristik angesetzt. Der hieraus möglicherweise resultierende Fehler ist klein, da der Richtcharakteristik bei bewegten Quellen insgesamt eine geringere Bedeutung als bei ruhenden Quellen zukommt und die Klasse Prop-2N lediglich einen geringen Anteil am Flottenmix einnimmt (ca. 7 % vgl. Tab. 1).

4.3 Berechnungsmodell

Das akustische Berechnungsmodell setzt sich aus den folgenden drei Teilen zusammen:

1. Beschreibung der Quellen (siehe Abschnitt 4.1)
2. Beschreibung der Nachweispunkte (siehe Abschnitt 3)
3. Beschreibung des Ausbreitungsweges

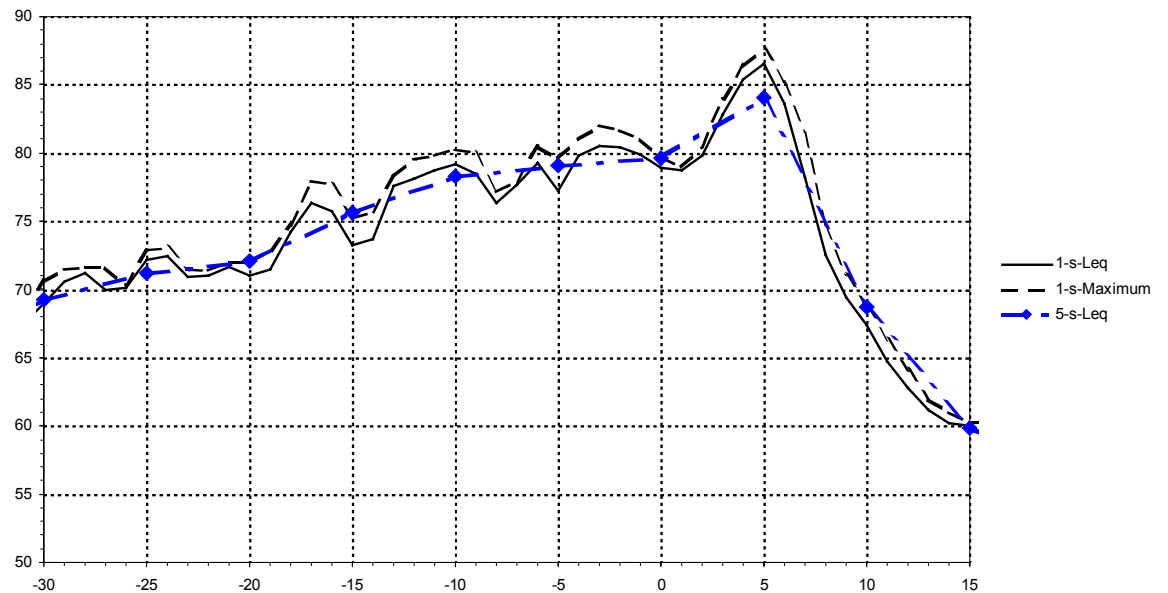
Der Ausbreitungsweg wird gemäß DIN ISO 9613-2 durch die Geländehöhe, vorhandene Abschirmungen, reflektierende Flächen, Angaben zur Bodendämpfung und zum Bewuchs (Berücksichtigung von Waldbereichen) beschrieben. Die Berechnungen werden für Mitwindbedingungen, eine Temperatur von 10°C und 50 % relative Luftfeuchte durchgeführt.

Berechnet wird als Grundwert der Teilpegel, den ein Lfz einer bestimmten Klasse beim Durchlaufen eines Rollweges an einem Nachweisort hervorruft (Bezugszeit 1 Stunde). Durch Gewichtung des Grundwertes mit der Häufigkeit (Anzahl gleichartige Ereignisse pro Stunde; siehe Tabelle 1 untere Hälfte) und Zusammenfassen der Pegelanteile der drei Lfz-Klassen werden für unterschiedliche Zeitscheiben, Betriebsrichtungen und Varianten die auf die betrachteten Nachweisorte einwirkenden Dauerschallpegel bestimmt.

Die angegebenen Pegelgrößen sind mit der Zeitkonstante *fast* (*f*) gebildet. Bei der Mittelung von Pegelgrößen wird die energieäquivalente Mittelung mit dem Halbierungsparameter $q=3$ verwendet.

Aus den Protokolldateien, die das Berechnungsprogramm CADNA A ausweist, kann der Beitrag jeder einzelnen Punktquelle am Gesamtpegel bestimmt werden. Diese Werte stellen bei rollenden Luftfahrzeugen den Mittelungspegel über einen Zeitraum von 5 s dar. Als Ergebnisse der Rolllärmmessungen (siehe Abschnitt 4.2) liegen Pegel-Zeit-Verläufe von typischen Rollbewegungen vor. Gemessen wurde seinerzeit mit der zeitlichen Auflösung von 1 s der A-bewertete Dauerschallpegel (1-s-L_{eq}) sowie der während jeder Sekunde auftretende Maximalpegel. Auswertungen zeigen, dass die gemessenen Maximalpegel die 1-s-L_{eq} -Werte um ca. 1 bis 1.5 dB(A) überschreiten. In dieser Untersuchung werden als kleinste zeitliche Bezugsgröße jedoch 5-s-L_{eq} -Werte berechnet. Das kurzzeitig auftretende Pegelmaximum übersteigt den maximalen 5-s-L_{eq} -Wert um ca. 3 – 5 dB(A). In Abbildung 4 sind für den bereits gezeigten Pegel-Zeit-Verlauf der rollenden B 737/300 die 1-s-L_{eq} -Werte, die 5-s-L_{eq} -Werte sowie das während der einzelnen 1-s-Takte auftretende Pegelmaximum dargestellt.

Abb. 4: Einfluss der Mittelungsdauer auf den Maximalpegel
(gemessener Pegel-Zeit-Verlauf B 737/ 300)



Bei der Abschätzung der auftretenden Maximalpegel wird deshalb ein Zuschlag von 5 dB(A) auf den jeweils höchsten 5-s- L_{eq} -Wert angesetzt. Die so ermittelten Pegelwerte werden anschließend auf ganze dB aufgerundet. Die angegebenen Maximalpegel stellen für bestimmte Lfz-Klassen mittlere Maximalpegel dar. Die messbaren individuellen Werte streuen innerhalb gewisser Grenzen um diese mittleren Maximalpegel.

5 Ergebnisdarstellung

Nachfolgend werden für die sieben untersuchten Nachweisorte – getrennt für die Varianten 9a und 9b und nach Betriebsrichtung Ost und West differenziert - die während der in Tabelle 1 beschriebenen „Zeitscheiben“ einwirkenden Dauerschallpegel (Tabelle 3) angegeben. Zusätzlich werden in der Tabelle 4 für die drei relevanten Lfz-Klassen die mittleren Maximalpegel genannt.

Tabelle 3: Ergebnistabelle -Dauerschallpegel							
Gesamt-Rollpegel Landebahnvariante 9a (Ostlage) [dB(A)]							
Betriebsrichtung West							
Zeit	MP 1	MP 2	MP 3	IP 4	IP 5	IP 6	IP 7
06 - 22 Uhr	38.2	48.1	43.5	46.0	49.5	46.6	32.0
22 - 24 Uhr	33.8	43.8	39.1	41.6	45.1	42.2	27.7
00 - 05 Uhr	28.0	37.8	33.2	35.8	39.2	36.3	21.8
05 - 06 Uhr	28.8	38.7	34.1	36.6	40.1	37.2	22.7
22 - 06 Uhr	30.4	40.3	35.6	38.2	41.7	38.8	24.3
Betriebsrichtung Ost							
Zeit	MP 1	MP 2	MP 3	IP 4	IP 5	IP 6	IP 7
06 - 22 Uhr	38.9	48.5	43.7	46.6	49.9	46.8	39.9
22 - 24 Uhr	34.5	44.2	39.4	42.2	45.6	42.4	35.8
00 - 05 Uhr	28.7	38.3	33.5	36.4	39.6	36.5	29.7
05 - 06 Uhr	29.5	39.2	34.3	37.2	40.6	37.4	30.7
22 - 06 Uhr	31.1	40.7	35.9	38.8	42.1	38.9	32.3

Gesamt-Rollpegel Landebahnvariante 9b (Westlage) [dB(A)]							
Betriebsrichtung West							
Zeit	MP 1	MP 2	MP 3	IP 4	IP 5	IP 6	IP 7
06 - 22 Uhr	54.9	51.3	57.3	55.8	52.2	53.6	27.2
22 - 24 Uhr	50.6	46.6	52.6	51.1	47.5	49.1	22.5
00 - 05 Uhr	44.1	40.4	46.4	44.9	41.3	42.7	16.4
05 - 06 Uhr	46.8	42.8	48.8	47.3	43.7	45.3	18.7
22 - 06 Uhr	47.0	43.2	49.2	47.7	44.1	45.6	19.1
Betriebsrichtung Ost							
Zeit	MP 1	MP 2	MP 3	IP 4	IP 5	IP 6	IP 7
06 - 22 Uhr	54.4	50.9	57.2	55.6	52.0	52.9	26.8
22 - 24 Uhr	50.3	46.5	52.8	51.2	47.6	48.5	22.4
00 - 05 Uhr	44.2	40.6	46.9	45.3	41.7	42.6	16.6
05 - 06 Uhr	45.3	41.5	47.8	46.1	42.6	43.5	17.4
22 - 06 Uhr	46.7	43.0	49.3	47.7	44.1	45.1	19.0

Tab. 4: Ergebnistabelle – Maximalpegel [dB(A)]				
Variante 9a (Ostlage)				
Nachweisort	Prop-2N	S5S	S5H	Ort des Auftretens
MP1	46	37	46	Steigungsstrecke
MP2	55	48	57	Steigungsstrecke
MP3	50	40	49	Steigungsstrecke
IP4	53	43	52	Steigungsstrecke
IP5	56	49	58	Steigungsstrecke
IP6	55	45	54	Steigungsstrecke
IP7	36 / ---	29 / ---	39 / 51	Rollen bei Betriebsrichtung Ost / S5H Rollweg ab östl. Bahnende
Variante 9b (Westlage)				
Nachweisort	Prop-2N	S5S	S5H	Ort des Auftretens
MP1	58	53	62	Steigungsstrecke
MP2	58	46	56	Steigungsstrecke
MP3	66 / ---	55 / ---	63 / 65	Steigungsstrecke / S5H Rollweg ab östl. Bahnende
IP4	62 / ---	50 / ---	59 / 61	Steigungsstrecke / S5H Rollweg ab östl. Bahnende
IP5	58 / ---	48 / ---	57 / 57	Steigungsstrecke / S5H Rollweg ab östl. Bahnende
IP6	61	53	61	Steigungsstrecke
IP7	28	21	27	Steigungsstrecke

Anm.: An einzelnen Nachweispunkten werden die höchsten Maximalpegel auf Rollwegen verursacht, die nur bei einer Betriebsrichtung und ggf. nur von Lfz der Klasse S5H benutzt werden. In der Tabelle 4 sind in diesem Falle zwei Werte angegeben: der erste Wert gibt getrennt für die drei Lfz-Klassen die Maximalpegel aus den stets durchlaufenen Rollwegen (zumeist Steigungsabschnitt) an, der zweite Wert gibt ggf. den Maximalwert für nicht ständig genutzte Rollwege an. Der vom östlichen Bahnende weg führende Rollweg (Nutzung der gesamten Bahnlänge von 2800 m) wird in etwa von 30 % der landenden Lfz der Klasse S5H genutzt. Luftfahrzeuge der Klassen Prop-2N und S5S benutzen diese Abrollwege im Regelfall nicht.

München, 13.01.2000

OBERMEYER PLANEN + BERATEN
Institut für Umweltschutz und Bauphysik

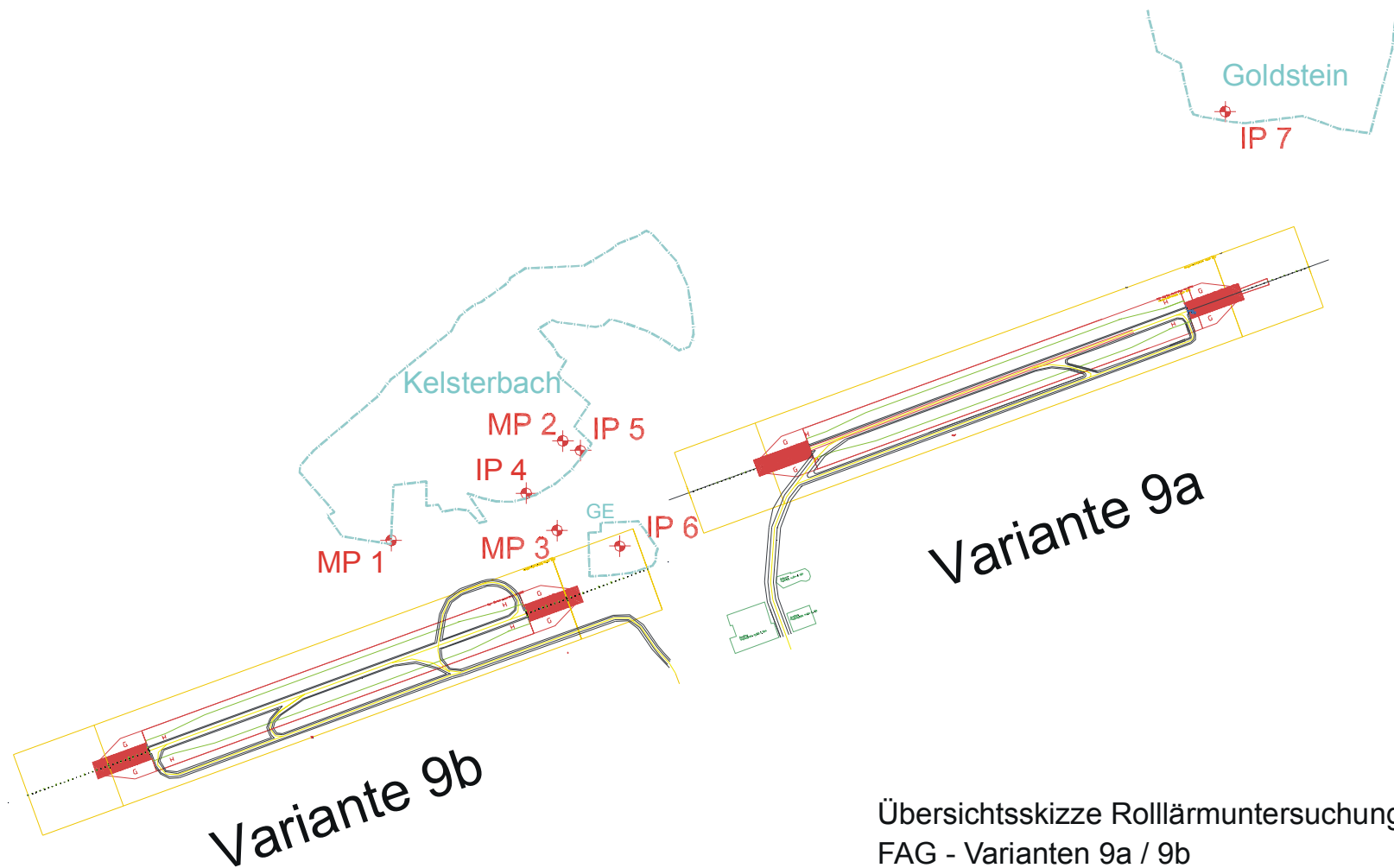
i.V. Dr. rer. nat. W. Herrmann

i.A. Dipl.-Ing. A. Sinz

6 Quellenangaben

- /1/ AzB - Anleitung zur Berechnung von Lärmzonen. Gemeinsames Ministerialblatt, Ausgabe A, Z 3191 A, S. 125 ff. vom 10.03.1975 mit Ergänzung vom 20.02.1984
- /2/ Flughafen Frankfurt Main AG: Kompendium über die im Rahmen des Mediationsverfahrens weiter zu untersuchenden Varianten zur Steigerung der Kapazität des Flughafens Frankfurt. 25.08.1999.
- /3/ Arbeitsgruppe Umweltschutz der Flughafen München GmbH: Bodenlärm Messbericht. 20.07.1995.
- /4/ DIN ISO 9613-2: Akustik Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2: 1996). Entwurf, Sept. 1997.
- /5/ VDI 2714: Schallausbreitung im Freien. Januar 1988.
- /6/ DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschemissionen in der Nachbarschaft. Entwurf, 1992.
- /7/ Heckl M., Müller H. A.: Taschenbuch der Technischen Akustik. 2. Auflage. Springer Verlag, 1994.
- /8/ VDI 2058: Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft. September 1985.
- /9/ Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung: Die Wirkung des Lärms auf den Menschen. Beurteilungshilfen für den Arzt. ÖAL-Richtlinie Nr. 6/18. 1.Ausg./Nov. 1991.

7 Lageplanskizze



Übersichtsskizze Rolllärmuntersuchung
 FAG - Varianten 9a / 9b
 ohne Massstab