


Bericht für die Stadt Zürich



**Belastungsanalyse des
„Zürcher Fluglärm-Index“**



16. November 2006

Oliva & Co.
CH-8050 Zürich-Oerlikon, Schaffhauserstr. 315, Postfach 6360
Tel. +41 44 312 75 19

BERICHTSDOKUMENTATION						
Referenz:--			Klassifikation:--			
Auftraggeber: Stadt Zürich Gesundheits- und Umweltsdepartement Walchestrasse 31 Postfach CH-8035 Zürich			Name und Adresse: Dr. iur. Susanne Kuster Stabsmitarbeiterin Umwelt und Verpflegung Walchestrasse 31 Postfach CH-8035 Zürich Tel.: + 41 44 412 1111			
Organisation: Oliva & Co. Soziologische Grundlagenforschung und Entwicklungsplanung			Name und Adresse: Oliva & Co. Schaffhauserstr. 315 Postfach 6360 CH-8050 Zürich Tel.: +41 44 312 7519			
Titel: Bericht zur Belastungsanalyse „Zürcher Fluglärm-Index“						
Autoren Dr. C. Oliva Dr. C. Hüttenmoser Oliva	Datum 15.11. 2006	Seiten 40	Abb./Tab. 14/4	Karten --	Anhang --	Referenzen --
Spezifikation Belastungsanalyse	Auftrags-No. Organisation STZH_06-01	Auftrags-No. Auftraggeber --		Dauer Sept. bis Okt. 2006		
Verteiler: a) Auflage: 7 b) Limitierung: -- c) CD-ROM : 1						
Schlüsselwörter: Schallbelastung, starke wahrgenommene Störung, ‚Full Factorial Design‘, ‚Zürcher Fluglärm-Index‘, ‚Balanced Approach‘						
Kurzfassung: Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse einer Belastungsanalyse des ‚Zürcher Fluglärm-Index, ZFI‘ zusammen. Drei Hauptresultate dieser Studie sind: 1. Der ‚ZFI‘ reagiert stärker auf die Veränderung der Bevölkerungsdichte als auf die Flugbewegungen. 2. Falls der ‚ZFI‘ zur Anwendung gelangen sollte, müssen zuerst die vom Luftverkehr unabhängigen Parameter wie die Bevölkerungsdichte und die Änderung der Auslegung des Nahverkehrsbezirks aufdatiert werden. Damit wird der Anfangswert höher ausfallen als bisher dargestellt worden ist. 3. Mehr als die Hälfte der ‚ZFI‘ Punkte werden auf tiefen Fluglärmbelastungsstufen (unter 60 Dezibel) erzielt.						

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen.....	3
Verzeichnis der Tabellen.....	3
ZUSAMMENFASSUNG.....	4
1 EINLEITUNG.....	7
2 PROBLEMSTELLUNGEN.....	10
2.1 WIRKUNG EINZELNER KOMPONENTEN.....	10
2.2 ANSTIEG DES ‚ZFI‘ RICHTWERTES.....	11
2.3 ERHÖHUNG DER FLUGBEWEGUNGSANZAHL.....	11
2.4 WIRKUNG SEPARATER ANFLUGRICHTUNGEN.....	11
2.5 EFFEKT DER FLUGZEUGTYPENZUSAMMENSETZUNG.....	12
2.6 HÖHE DES RICHTWERTES INFOLGE EINES MALUS.....	12
2.7 ALTERNATIVE BETRACHTUNG DER BETROFFENHEIT.....	13
3 VORGEHENSWEISE UND DATENGRUNDLAGE.....	14
3.1 UNTERSUCHUNGSANORDNUNG.....	14
3.2 ERLÄUTERUNG DER UNTERSUCHUNGSANORDNUNG.....	15
3.2.1 <i>Mustergruppe I</i>	15
3.2.2 <i>Mustergruppe II</i>	15
3.2.3 <i>Mustergruppe III</i>	16
3.2.4 <i>Mustergruppe IV</i>	16
3.3 PARAMETER.....	16
3.4 MODELL.....	17
3.5 DATEN.....	18
3.6 MODELLEICHUNG.....	18
4 RESULTATE.....	21
4.1 DIE WIRKUNG EINZELNER KOMPONENTEN.....	21
4.2 GLEICHZEITIGE BETRACHTUNG ALLER KOMPONENTEN.....	25
4.3 ANSTIEG VON 36'000 AUF 47'000 ‚ZFI‘ PUNKTE.....	29
4.4 ERHÖHUNG DER FLUGBEWEGUNGSZAHL UM 70'000.....	29
4.5 ANFLUG AUS RICHTUNG NORD, OST UND SÜD.....	30
4.6 FLUGZEUGTYPENZUSAMMENSETZUNG IM JAHR 2000 vs. 2010.....	32
4.7 VERÄNDERUNG DES RICHTWERTES BEI 5 DEZIBEL MALUS.....	34
5 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK AUF EINE ALTERNATIVE.....	35
5.1 SCHLUSSFOLGERUNG.....	35
5.2 EIN KONZEPT ZUR LÄRMMINDERUNG.....	35
5.3 DIE DREI SCHWERPUNKTE.....	36
5.4 DER BEZUG ZUR LÄRMSCHUTZ-VERORDNUNG.....	37
5.5 SKIZZE DER UMSETZUNG FÜR DEN FLUGHAFEN ZÜRICH.....	37
5.6 DER NUTZEN FÜR DIE STADT ZÜRICH.....	39
5.7 AUSARBEITUNG UND AUFWAND EINER ALTERNATIVEN.....	39
6 LITERATUR.....	40

Verzeichnis der Abbildungen

ABBILDUNG 1: STARKE STÖRUNG [HA] IN ABHÄNGIGKEIT DER FLUGLÄRMBELASTUNG [LAEQ 16].....	16
ABBILDUNG 2: DIVERGENZ DER 'ZFI' WERTE	19
ABBILDUNG 3: EICHUNG DES MODELLS	20
ABBILDUNG 4: EFFEKT DES FLUGZEUGTYPENEINSATZES	21
ABBILDUNG 5: EFFEKT DER AN- UND ABFLUGROUTEN	22
ABBILDUNG 6: EFFEKT DER BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG	23
ABBILDUNG 7: EFFEKT DER BEVÖLKERUNGSENTWICKLUNG	24
ABBILDUNG 8: EFFEKT DER FLUGBEWEGUNGSZAHL.....	24
ABBILDUNG 9: EFFEKT DER ERHÖHUNG DER FLUGBEWEGUNGEN	30
ABBILDUNG 10: EFFEKT DER VARIATION DER ANFLÜGE	31
ABBILDUNG 11: ENTSTEHUNG DER 'ZFI' PUNKTE	32
ABBILDUNG 12: WIRKUNG DER FLUGZEUGTYPEN	33
ABBILDUNG 13: RICHTWERTVERÄNDERUNG BEI 5 DEZIBEL MALUS	34
ABBILDUNG 14: DIE UMSETZUNG DES KONZEPTES DES "AUSGEWOGENEN ANSATZES"	38

Verzeichnis der Tabellen

TABELLE 1: DIE 16 MÖGLICHEN MUSTER.....	14
TABELLE 2: SENSITIVITÄT DER KOMPONENTEN DES 'ZFI' (TAGESWERTE)	26
TABELLE 3: SENSITIVITÄT DER KOMPONENTEN DES 'ZFI' (NACHTWERTE)	28
TABELLE 4: RANGORDNUNG DER VARIABLEN	28

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der Belastungsanalyse des „Zürcher Fluglärm-Index, ZFI“ dar. Der ‚ZFI‘ ist unter 16 verschiedenen Bedingungen für den Tag und die Nacht berechnet worden, um zu bestimmen, welche der beteiligten Komponenten in welcher Weise zum ‚ZFI‘ beitragen.

Untersucht wurden die Effekte der Entwicklung der Bevölkerungsdichte, des Anstiegs der Flugbewegungen, der Neuauslegung des Nahkontrollbezirks einschliesslich der An- und Abflugrouten sowie der Ersatz von Flugzeugtypen durch modernere Fluggeräte.

Eines der wichtigsten Ergebnisse besteht darin, dass der ‚ZFI‘ stärker auf die Bevölkerungsentwicklung als auf die Entwicklung der Flugbewegungen reagiert. Damit wird seine Bedeutung tendenziell vom Luftverkehr abgekoppelt, denn er ist so konstruiert, dass selbst bei konstantem oder bis zu einem gewissen Grad rückläufigem Luftverkehr die ‚ZFI‘ Punkte zunehmen werden. Somit stellt sich die Frage, in welchem Sinn er in der Lage ist, die subjektiv wahrgenommene Lärmbelastung der betroffenen Bevölkerung abzubilden. Es fragt sich somit, ob der ‚ZFI‘ dasjenige misst, was zu messen beabsichtigt war. Zudem zeigt sich, dass der ZFI so konstruiert ist, dass die flughafennahen Gebiete benachteiligt werden, indem die Notwendigkeit für Massnahmen vor allem von Informationen über flughafenferne Gebiete abgeleitet wird, weil über die Hälfte der ‚ZFI‘ Punkte aus den flughafenfernen Gebieten stammen. Aufgrund der Geräuschbelastung in den flughafennahen Gebieten wird es nicht möglich sein, unter realistischen Bedingungen den Schwellenwert von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten annähernd zu erreichen.

Falls der „Zürcher Fluglärm-Index“ zur Anwendung gelangen sollte, muss sein Anfangswert von jetzt 35'000 ‚ZFI‘ Punkten zuerst erhöht werden, weil inzwischen wesentliche Veränderungen stattgefunden haben. So ist der Nahkontrollbezirk des Flughafens neu ausgelegt worden, wodurch sich der anfängliche Monitoringwert um mindestens 5'000 ‚ZFI‘ Punkte erhöhen kann. Auch die Bevölkerungsentwicklung seit dem Jahr 2000 ist nicht berücksichtigt, wodurch sich der anfängliche Monitoringwert um weitere Punkte erhöhen wird. Je nach Konstellation der Komponenten kann es sich erweisen, dass die vorgegebene Schwelle von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten schon zu Beginn der Anwendung nahezu erreicht ist.

Im Einzelnen wurden die folgenden Resultate gefördert.

Erstens. Es wurde festgestellt, dass der Ersatz von älteren durch modernere Flugzeugtypen und die Neuauslegung des Nahkontrollbezirks, folglich die veränderten An- und Abflugrouten, sich am sensitivsten auf die Werte des ‚ZFI‘ niederschlagen. Die Entwicklung der Bevölkerungsdichte zwischen den Jahren 1990 und 2000 trägt in signifikanter Weise zum Anstieg des ‚ZFI‘ bei. Die Auswirkung des Anstiegs der Anzahl Flugbewegungen pro Jahr auf den ‚ZFI‘ erweist sich als moderat.

Zweitens. Die vertiefende Analyse aufgrund einer multiplen Regressionsanalyse zeigt für die vier untersuchten Komponenten der Tageswerte, folgende Ergebnisse:

- a) Die Veränderung des *Flugzeugtypenzusammensetzung*: Zeigt grössten (gegenläufigen) Impuls auf den ‚ZFI‘, was sich in diesem Ausmass nicht wiederholen wird.
- b) Die Veränderung der *Routenstruktur*: Hoher Anstieg des ‚ZFI‘, was bislang (noch) nicht berücksichtigt worden ist.
- c) Die Zunahme der *Bevölkerungsdichte*: Löst einen relativ starken Impuls auf den ‚ZFI‘ aus, der bei Prognosen für das Jahr 2010 oder mit Erreichen von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten berücksichtigt werden muss.
- d) Der Anstieg der *Flugbewegungen*: Löst einen geringen Impuls aus, weil der Anteil der Langstreckenflugzeuge bereits jetzt schon relativ hoch ist.

Drittens: Dieselbe Analyse für die ‚ZFI‘ Punkte in der Nacht gelangt zu folgenden Ergebnissen:

- a) Die Zunahme der *Bevölkerungsdichte*: Löst den stärksten Impuls auf den ‚ZFI‘ aus.
- b) Die Zunahme der *Flugbewegungen* von 250'000 auf 320'000: Löst einen starken Impuls auf den ‚ZFI‘ aus.
- c) Die Veränderung der *Zusammensetzung der Flugzeugtypen*: Löst einen weit geringeren Impuls auf den ‚ZFI‘ aus, als dies beim Flugbetrieb während des Tages beobachtet werden kann.

Viertens: Bei einer Erhöhung der jährlichen Flugbewegungen um 70'000 ab dem Jahr 2006 würde der Plafond von 47'000 ‚ZFI‘ Punkte überschritten. Die Überschreitung des Plafonds bei cirka 320'000 Flugbewegungen pro Jahr wird dann erwartet, wenn ausgehend von jährlich 250'000 Flugbewegungen ein Anstieg von cirka 70'000 Flugbewegungen unter Konstanthaltung der Flugzeugtypenzusammensetzung stattfinden würde.

Fünftens: Es wurde untersucht, wie sich der ‚ZFI‘ verhalten würde, wenn bei sonst konstanten Bedingungen die Anflüge nur aus dem Norden, nur aus dem Osten oder nur aus dem Süden erfolgen würden. Eine verlässliche Aussage über die Variation der Anflüge zwischen Nord, Ost und Süd kann nur zu den beiden separaten Anflugrichtungen Ost und Süd gemacht werden, weil die Bevölkerungsdaten nur innerhalb der Schweizerischen Grenze zugänglich sind, weshalb die Angaben für die Nordanflüge unvollständig sind. Es wurde eine Differenz von 6'000 ‚ZFI‘ Punkten am Tag zwischen den beiden Anflugrichtungen festgestellt, die durch die höhere Bevölkerungsdichte des Südens begründet ist. Weiter wurde eine Differenz von 3'000 ‚ZFI‘ Punkten für die Werte in der Nacht festgestellt, die sich wiederum in der unterschiedlichen Dichte der Bevölkerung erklären lässt. Insgesamt besteht zwischen den Südanflügen und

den Ostanflügen eine Differenz von 9'000 ‚ZFI‘ Punkten. Die höheren Werte werden bei den Südanflügen erreicht.

Sechstens: Der Ersatz älterer durch modernere Flugzeugtypen ab 2006 bis 2010 wird als verlangsamt eingestuft. Folglich wird die zum Einsatz gelangende Flugzeugtypenzusammensetzung im Jahr 2010 eher eine Zunahme im ‚ZFI‘ Wert bewirken.

Es wurde festgestellt, dass die Modernisierungsschritte für Flugzeugtypen in den vergangenen 10 Jahren einen einmaligen Effekt auszulösen vermochten, der sich jedoch nicht so schnell repetieren lässt, weil bei Innovationen in diesem Ausmass ein anderer zeitlicher Rahmen angesetzt werden muss. Werden die prozentualen Anteile betrachtet, es wird eine Reduktion des ‚ZFI‘ zwischen cirka 23 und 35 Prozent beobachtet, dann scheint dieser Effekt beträchtlich zu sein, wobei gleichzeitig unterstellt werden muss, dass ein Nutzen für die belastete Bevölkerung aufgrund der logarithmischen Dimension als kaum wahrnehmbar eingeordnet wird.

Siebtens: Die Einführung des Malus erhöht die ‚ZFI‘ Punkte um 21 Prozent.

Achtens: Die Belastungsanalyse des ‚ZFI‘ gelangt zum Schluss, dass eine alternative Lösung gesucht werden muss, um das einzulösen, was damit eigentlich bewirkt werden soll. Ein solches Konzept basiert heute auf dem „Ausgewogenen Ansatz“ („Balanced Approach“) und verknüpft ein Lärmquoten-Budget für den Flughafen, mit einer vordefinierten Fläche über 60 LAeq und 57 LAeq sowie einer Obergrenze der belasteten Personen innerhalb dieser Fläche. Damit wird gleichzeitig eine stringente Umsetzung der Lärmschutz-Verordnung für den Luftverkehr möglich.

1 Einleitung

Die Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich legte Ende August 2006 einen Fluglärm-Index als Alternative zu einem Bewegungsplafonds vor. Damit hat sie den im Januar 2006 vorgestellten Gegenvorschlag des Regierungsrats zur Initiative „Für eine realistische Flughafenpolitik“ weiter präzisiert. Das Kernstück des Gegenvorschlages ist der „Zürcher Fluglärm-Index“ („ZFI“). Der Index besteht aus einer fixen Grösse, nämlich 47'000 Personen, die eine fluglärmbedingte starke Störung erfahren, welche nicht überschritten werden darf. Die variable Grösse des Index, nämlich die aktuelle Anzahl der Personen, die eine fluglärmbedingte starke Störung erfahren, wird jährlich anhand des Flugbetriebs erhoben und mit der fixen Grösse verglichen. Droht die variable Grösse den fixen Richtwert zu überschreiten, so sollen die Behörden des Kantons Zürich zur Einleitung von Massnahmen verpflichtet werden. Der Regierungsrat fasst dabei die Aufgabe, dem Kantonsrat jährlich einen Bericht über die variable Grösse vorzulegen.

Diese Vorlage rief eine Reihe von Fragen in den unterschiedlichsten Kreisen wie beispielsweise den Gemeinden- und Behördenvertretern oder auch in Bürgerorganisationen hervor. Es sind zu wenige Anhaltspunkte vermittelt worden, wie der ‚ZFI‘ funktioniert, worauf er besonders reagiert und inwiefern er überhaupt das misst, was zu messen beabsichtigt wird. So hat sich auch das Gesundheits- und Umweltdepartement der Stadt Zürich entschieden, sich vertieft mit den Problemlagen des „Zürcher Fluglärm-Index“ und dessen Sensitivitäten auseinander zu setzen.

Der Hintergrund des Problems und der Wunsch nach einer schnellen Lösung dafür lassen sich in den Auflagen der 213. und 220. Durchführungsverordnung (DVO) zur Deutschen Luftverkehrs-Ordnung vom 4. April 2003 begründen. Demnach darf der vom Flughafen Zürich nördlich gelegene Teil des Luftraumes, der als deutsches Hoheitsgebiet definiert ist, tagsüber von 07 Uhr bis 21 Uhr Ortszeit für Instrumentanflugverfahren benutzt werden. In der Zeit zwischen 06 Uhr und 07 Uhr muss deshalb der Flughafen in der Regel am Morgen von Süden her auf die Piste 34 und am Abend nach 21 Uhr (bzw. nach 20 Uhr) von Osten auf die Piste 28 angefliegen werden. Weiter darf dieser Teil des deutschen Hoheitsgebiets an Wochenenden sowie gesetzlichen Feiertagen des Landes Baden-Württemberg tagsüber von 09 Uhr bis 20 Uhr Ortszeit benutzt werden. Gemäss dieser Regelung sind die Landungen am Abend, nach 21 Uhr an Werktagen und nach 20 Uhr an Wochenenden und gesetzlichen Feiertagen auf der Piste 28 und in Ausnahmefällen auf der Piste 34 auszuführen.

Die auf der DVO definierten Sperrzeiten über deutschem Hoheitsgebiet bedeuten, dass der Flughafen Zürich zu diesen Zeiten nicht wie gewohnt – und dafür technisch eingerichtet und raumplanerisch gestaltet – die Anflüge auf der Piste 14 (u.a. Piste 16) bedienen kann. Die zusätzlich instrumentalisierte Piste 34 verfügt aus topographischen Gründen nicht über den gleich hohen technischen Ausrüstungsgrad wie die Piste 14. Auf der Piste 28 erfolgten im Jahr 2004 insgesamt 15'945, im Jahr 2005 14'791 Landungen und auf der Piste 34 waren

es im Jahr 2004 total 8'735 und im Jahr 2005 10'602 Landungen (Lärm-Bulletin 2005).

Dem Flughafen Zürich wurde die Freigabe für die Inbetriebnahme des Instrumentenlandesystems der Piste 28 durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt am 26. Oktober 2006 erteilt. Basierend auf der Plangenehmigung sowie der Änderung des Betriebsreglements wurde die Inbetriebnahme des Instrumentenlandesystems der Piste 28 bereits im Frühjahr 2004 angenommen. Umfassende Sicherheitsprüfungen setzten die Veröffentlichung dieses Anflugverfahren voraus.

Die Piste 34 wird insbesondere in der Zeit von 06 bis 07 Uhr morgens genutzt. Dabei sind nicht nur dicht besiedelte Gebiete und Teile der Stadt Zürich tangiert, sondern die Bemessung dieser morgendlichen Stunde fällt gemäss Lärmschutz-Verordnung in die Bewertung des Fluglärms am Tag mit einer Betriebsdauer von 16 Stunden. In diesem Bewertungsansatz ist eine stündliche Auslastung folglich nicht vorgesehen.

Lärm und so auch Fluglärm ist unerwünschter Schall. Die wahrgenommene Störwirkung wird aus dem Zusammenhang der Schallbelastung und der daraus resultierenden Störwirkung ermittelt (Oliva 1998). In der Regel wird der prozentuale Anteil der starken Störung (Indikator) in Funktion der Schallbelastung (LAeq) ausgewiesen, so dass von der Objektivierung der subjektiven Bewertung gesprochen wird. Damit lassen sich erste Hinweise auf die Kongruenz zwischen der Bedingung eines bestimmten objektiven Lebensstandards und der subjektiven Bewertung der dadurch gekennzeichneten Bevölkerung – die Lebensqualität – als soziale Tatsache geben.

Der Indikator der wahrgenommenen starken Störung durch den Fluglärm ist ein Repräsentant, „Anzeiger“ für den hier untersuchten Sachverhalt oder die Eigenschaft dieser sozialen Tatsache in der Form des „pars pro toto“. In der Regel genügt ein einziger Indikator nicht für die Repräsentation des Untersuchungsobjektes, so dass beispielsweise die „Ruhe im Quartier“, der „Wegzugsgedanke“, die „Beeinträchtigung der Gesundheit“ und „Lärmsensibilität“ auch berücksichtigt werden sollten.

Ein Indikator gestattet nur, mit eingeschränkter Wahrscheinlichkeit auf das vorausgesetzte Indikaturniveau zu schliessen. Die Zusammensetzung mehrerer Indikatoren zu einem Messwert zur Berechnung von komplexen und vielschichtigen Sachverhalten wird als Index bezeichnet. Die Probleme eines Index kommen nicht nur bei der Auswahl, sondern bei der Gewichtung von Indikatoren zustande.

Der nun unterbreitete „Zürcher Fluglärm-Index“, der sich aus der Addition der Anzahl durch den Fluglärm stark belästigten Personen im Wachzustand und der Anzahl durch den Fluglärm stark gestörten Personen im Schlaf ergibt, ist ebenfalls von diesen Einwänden nicht befreit. Die Schwierigkeit des hier gewählten Ansatzes besteht auch darin, dass ein Teil der verwendeten wissenschaftlichen Instrumentarien noch nicht konsolidiert ist und es deshalb auch problematisch scheint, mit der sozialen und technologischen Entwicklung dieses

Forschungsbereiches Schritt zu halten (Schröder 2006). Nichtsdestotrotz ist es angezeigt, die damit verbundene Diskussion nicht nur zu führen, sondern die Problemlagen und Sensitivitäten des „Zürcher Fluglärm-Index“ vertieft zu analysieren. In diesem Sinne befasst sich der vorliegende Bericht nicht mit der Konstruktion des ‚ZFI‘ und seiner methodischen Angemessenheit, sondern mit der Frage: Wie funktioniert der ‚ZFI‘, wenn er zur Anwendung gelangt?

Trotzdem sei vorab eine Bemerkung zum ‚ZFI‘ gestattet, weil mit diesem unterstellt wird, dass das damit die subjektiv empfundene Lärmbelastigung der Bevölkerung erfasst würde.

Zunächst sollen die Dimensionen festgehalten werden, die zur erheblichen Belastung der Bevölkerung beitragen:

- (1) Lärm aus Flugzeugen in der Luft
 - Lärm der startenden und abfliegenden Flugzeugen
 - Lärm der anfliegenden Flugzeugen
 - Lärm aufgrund des Schubumkehrs nach der Landung
 - Häufigkeit der Flugbewegungen
- (2) Routenführung
 - Routenführung der abfliegenden Flugzeuge
 - Anflugrouten
- (3) Bodenbewegungen der Flugzeuge
 - Testläufe am Triebwerkprüfstand
 - Hilfsgeräte für stehende Flugzeuge
 - Rollbewegungen nach der Landung oder zum Start

Je näher ein Siedlungsgebiet zum Flughafen situiert ist, desto mehr Kriterien sind für die Beschreibung der Geräuschkulisse relevant. So ist umgekehrt z.B. bei weit entfernten Siedlungsgebieten lediglich noch die Routenführung ein Kriterium. Der Anteil des ‚ZFI‘ für den Tag beruht einzig auf der Schallbelastung in LAeq und deren Umrechnung in eine Anzahl Personen. Damit gehen viele Informationen, die zur Kenntnis der Lärmbelastigung der Bevölkerung wichtig sind, verloren. Da der ‚ZFI‘ die grösste Anzahl Personen unter 60 LAeq gewinnt, vertreten diese lediglich noch die Information, die im Kriterium der Routenführung enthalten ist. In diesem Sinne verliert der ‚ZFI‘ all jene Information, die für die flughafennahen Gebiete von grösster Relevanz sind. Zusammengefasst lässt sich der ‚ZFI‘ als Index beschreiben, der im Wesentlichen auf den Informationen beruht, die im energieäquivalenten Dauerschallpegel LAeq enthalten sind. Somit misst der ‚ZFI‘ nicht die subjektiv empfundene Lärmbelastigung der Bevölkerung, sondern stellt lediglich einen in Personen umgerechneten LAeq dar. Im Übrigen basiert die Umrechnungsformel statistisch gesehen auf einer sehr schmal abgesicherten Datengrundlage. Ebenso wenig abgesichert ist der Anteil des ‚ZFI‘ für die Nacht.

2 Problemstellungen

Der ‚ZFI‘ wirft zwei Gruppen von Fragen auf: (1) Ist der Vorschlag methodisch abgesichert? (2) Wie funktioniert der ‚ZFI‘? Beide Fragen haben mit dem Problem zu tun, dass der ‚ZFI‘ wenig transparent ist. Die fehlende Transparenz bezieht sich nicht auf die vorgelegten Formeln, sondern vielmehr auf die Tatsache, dass nicht bekannt ist, in welcher Weise er auf Entwicklungen im Luftverkehr, in der Betreibung des Flughafens und in der Besiedlung reagiert. Auch ist nicht bekannt, welche der zu ergreifenden Massnahmen welche Effekte bewirken können. Ebenso ist bislang nicht empirisch nachgewiesen worden, wo der Vorteil des ‚ZFI‘ gegenüber den Plafonierungsinitiativen liegt.

Um solche offenen Punkte zu bearbeiten, sind eine Reihe von Fragen zur Funktionsweise des ‚ZFI‘ gestellt worden, die im Folgenden aufgeführt und erläutert werden.

2.1 Wirkung einzelner Komponenten

Der ‚ZFI‘ hat zum Ziel, die vom Fluglärm gestörten und stark gestörten Personen zu schützen. Im Zentrum steht somit die Komponente Bevölkerung, die insbesondere hinsichtlich der Entwicklung auf Basis der Volkszählungsdaten aus den Jahren 1990 und 2000 untersucht werden soll. Mit Bezug auf die Entwicklung der Flugbewegungen werden gemäss der Nachfrageprognose optimistische Schätzungen vorgelegt (München 2005). So wird im Jahr 2010 von 298'600 und im Jahr 2015 von 328'800 jährlichen Flugbewegungen ausgegangen. Auf dem Flughafen Zürich wurden im Jahr 1996 246'000 und im Jahr 2000 314'100 Flugbewegungen erreicht, die unter den veränderten Anforderungen sich nicht auf die gleiche Weise wiederholt erzielen lassen.

Im Rahmen der vorliegenden Belastungsanalyse werden die jährlichen Flugbewegungen von 250'000 und 320'000 einander gegenübergestellt. Die Anpassung der Luftraumstruktur wurde aus Sicherheitsgründen im Frühjahr 2006 wirksam (AIC B 008/05). Der Nahkontrollbezirk (TMA) dient der Sicherheit des An- und Abflugverkehrs. Folglich wird auf der Basis dieser Anpassung 2006 die An- und Abfluroutenstruktur aus dem Jahre 1999 gegenübergestellt. Die Zusammensetzung der Flugzeugtypen – Flottenmix – wird mit Bezug auf die Entwicklung zwischen den Jahren 1996 und 2006 untersucht.

Der zweite Teil des Aufgabenkomplexes soll demnach aufzeigen, wie sehr sich einzelne Parameter unter sonst konstanten Bedingungen dahingehend verändern, damit von einer signifikanten Veränderung im Monitoringwerte des ‚ZFI‘ beobachtet werden kann.

- Welche der verschiedenen Komponenten des ZFI ist die sensitivste: Bevölkerungszahl pro ha, Flugbewegungen, An- und Abflugrouten, Nachtflugsperrordnung oder ist es der Flottenmix?
- Wie stark muss sich ein Parameter bei gleich bleibendem Umfeld ändern, um eine relevante Änderung beim ZFI (Monitoringwert) zu bewirken?

2.2 Anstieg des ‚ZFI‘ Richtwertes

Die zweite Aufgabe widmet sich des Anstiegs des ‚ZFI‘ Richtwertes um 11'000 Punkte. Demnach soll die jährliche Anzahl der Flugbewegungen ermittelt werden, die einen solchen Anstieg auf der Basis der gegenwärtigen An- und Abflugverfahren sowie der heutigen Flugzeugtypenzusammensetzung erwirken.

- Wie viele Flugbewegungen würde es heute vertragen, damit die Anzahl der stark belasteten Personen von aktuell 36'000 auf 47'000 ZFI-Richtwert ansteigen (mit dem derzeit gültigen Flugregime)?

2.3 Erhöhung der Flugbewegungsanzahl

Im Anschluss an die vorangehende Frage stellt sich zusätzlich die Frage nach dem Effekt im Anstieg der jährlichen Flugbewegungsanzahl von 250'000 auf 320'000 hinsichtlich der Grösse des ‚ZFI‘. Vor allem interessant ist es die Frage zu beantworten, ob mit einer Flugbewegungsanzahl von 320'000 der kommunizierte Plafonds von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten überschritten beziehungsweise aufgebraucht sein wird.

- Welcher Wert für den ZFI ergäben sich heute (mit dem derzeit gültigen Flugregime) mit 250'000 und mit 320'000 Bewegungen?

2.4 Wirkung separater Anflugrichtungen

Werden die historischen Entwicklungen des Flughafens Zürich sowie die Lärmbekämpfungsmassnahmen berücksichtigt, dann können raumplanerische Wirkungen mit Bezug auf Siedlungsstruktur erwartet werden. Daher ist es wichtig, in Erfahrung zu bringen, welche Monitoringwerte in den einzelnen Anflugsektoren erzielt werden. Es liessen sich ebenfalls diesbezüglich die entsprechenden Abflugsektoren untersuchen. Zentraler ist hingegen die Wirkung der einseitig

verfügten Verordnung (DVO), die zu einer zeitlichen Einschränkung des nördlichen Luftraumes des Flughafens Zürich – ohne das Kriterium einer Lärmbekämpfungsmassnahme zu genügen – führt. Folglich werden damit die östlichen sowie südlichen Sektoren des Anfluges einer anderen Nutzung als raumplanerisch vorgesehen zugeführt. Deshalb stehen hier die Anflugverfahren im Zentrum der Betrachtung.

- Welcher Monitoringwert ergäbe sich rein theoretisch mit Anflug nur von Norden, nur von Süden oder nur von Osten bei ansonsten gleich bleibenden Parametern?

2.5 Effekt der Flugzeugtypenzusammensetzung

Dieser Aufgabenkomplex stellt die Frage nach der Lärmbekämpfung an der Quelle. Die bislang erreichten technologischen Neuerungen im Rahmen der Triebwerkentwicklung sowie aerodynamischen Aspekten mit Blick auf die den Schall reduzierenden Effekte haben vorerst den Zenit erreicht (Smith 1989). Neuere Ansätze der Lärmreduktion befassen sich mit der aktiven Lärmkontrolle, dabei sollen die Signale der Lärmquelle detektiert, um sie vor dem Austritt auszulöschen. Der Forschungsbereich der aktiven Lärmkontrolle steckt noch in den Anfängen. Somit ist es angebracht vorerst zu klären, welche Zusammensetzung von Flugzeugtypen welchen Wert des ‚ZFI‘ bewirken. Schliesslich stellt sich die Frage, ob Unterschiede oder auch Reduktionen erwartet werden können.

- Welcher Wert ergäbe sich heute mit dem Flottenmix von 2000 bei ansonsten gleich bleibenden Parametern?
- Welcher Wert ist allenfalls 2010 (leiserer Flottenmix) zu erwarten?

2.6 Höhe des Richtwertes infolge eines Malus

Die in der Lärmschutzverordnung (LSV) vorgegebene Berechnung der Schallbelastung in L_{Aeq} für den 16 Stunden Tag sieht keine Gewichtung einzelner Tagesstunden vor. Die nun durch die einseitig auferlegte Verordnung und die damit wirksam gewordene Restriktion führt u.a. zu Anflügen in der morgendlichen Randstunde von 06 bis 07 Uhr respektive von 06 bis 09 Uhr. Das hat die Frage nach der Gewichtung einzelner Tagesstunden neu in die Diskussion gebracht. Nun stellt sich die Frage, ob sich der ‚ZFI‘ Richtwert als angemessenes Instrumentarium einsetzen lässt, um auf die Frage der Gewichtung einzelner Tagesstunden eine Antwort zu finden. Wie sensitiv ist der ‚ZFI‘ in der Betrachtung eines Malus?

- Wie würde sich der Richtwert verändern, wenn auf den 5 dB-Malus für die erste und letzte Tagesstunde vor der Berechnung der L_{eq} -Werte verzichtet würde?

2.7 Alternative Betrachtung der Betroffenheit

Abschliessend soll geklärt werden, welche Alternativen zum ‚ZFI‘ denkbar sind. Wie eingangs kurz erläutert, steht der Vorschlag eines ‚ZFI‘ abseits der bis anhin in der Lärmschutz-Verordnung vorgesehenen Lärmbekämpfungsinstrumentarien. Dies entspricht einem Bruch des Paradigmas in der Schweizerischen Lärmbekämpfung. Die Anforderungen an Veränderungen sollten in der Regel im herkömmlichen Paradigma verankert sein – sollten sie erfolgreich, das heisst, effizient eingesetzt und angewandt werden können.

- Was wäre – kurz skizziert – eine bessere Alternative zur Darstellung der Betroffenheit der Bevölkerung?
- Mit welchem Aufwand wäre eine solche Alternative auszuarbeiten und wer könnte dies allenfalls übernehmen?

3 Vorgehensweise und Datengrundlage

3.1 Untersuchungsanordnung

Gemäss der Problemstellung werden gleichzeitig die Bevölkerungszahl, Flugbewegungen, An- und Abflugrouten sowie die Flottenzusammensetzung als Inputfaktoren des ‚ZFI‘ betrachtet. Damit soll eine Antwort gegeben werden, welche dieser Variablen beziehungsweise Komponenten auf den Wert des ‚ZFI‘ sensitiver sei. Im Anschluss daran stellte sich zudem die Frage: Wie stark muss bei gleich bleibendem Umfeld ein Parameter sich verändern, um eine Änderung des ‚ZFI‘ zu erwirken? Diese und die weiteren eingangs erwähnten Fragen lassen sich mit diesem Modell beantworten.

Für die Ausführung des Versuchs müssen sämtliche möglichen Kombinationen dieser vier Variablen bestimmt werden. Die Variable „Nachtsperreordnung“ (Anzahl Nachtstunden) wurde nicht berücksichtigt, denn sie lässt sich einfach dadurch beantworten, ob Flugbewegungen zwischen 22 Uhr und 06 Uhr zugelassen sind.

Als Grundmodell, welches erlaubt, die gestellten Fragen zu beantworten, ist das „Full Factorial Design“ gewählt worden. Es resultieren 16 mögliche Kombinationen oder Muster, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

Tabelle 1: Die 16 möglichen Muster

Muster	Volkzählungsdaten (Jahr)	Flugbewegungen (Anzahl in Tsd. p.a.)	An- und Abflug- routen (Jahr)	Flugzeugtypenzusammensetzung (Jahr)
1	1990	250	1999	1996
2	1990	250	1999	2006
3	1990	250	2006	1996
4	1990	250	2006	2006
5	1990	320	1999	1996
6	1990	320	1999	2006
7	1990	320	2006	1996
8	1990	320	2006	2006
9	2000	250	1999	1996
10	2000	250	1999	2006
11	2000	250	2006	1996
12	2000	250	2006	2006
13	2000	320	1999	1996
14	2000	320	1999	2006
15	2000	320	2006	1996
16	2000	320	2006	2006

Für jedes der 16 Muster wird der entsprechende ‚ZFI‘ Wert, sowohl für den Tag als auch für die Nacht berechnet.

3.2 Erläuterung der Untersuchungsanordnung

Die in Tabelle 1 dargelegten Muster eins bis vier lassen sich zur Mustergruppe I, die Muster fünf bis acht zur Mustergruppe II, die Muster neun bis zwölf zur Mustergruppe III und schliesslich werden die Muster dreizehn bis sechzehn zur Mustergruppe IV zusammenfassen.

Der Vergleich dieser Mustergruppen dient dazu, die Ursachen in der Konstanz, Abnahme und Zunahme im Wert des ‚ZFI‘ zu ergründen. Solche Variationen lassen sich wie erwähnt vertieft analysieren, um Auskunft über die Signifikanz solcher Sensitivitäten zu erhalten.

3.2.1 Mustergruppe I

In der Mustergruppe I wird der Effekt der Flugzeugtypenzusammensetzung und der An- und Abflugrouten mit den Daten der Volkszählung aus dem Jahre 1990 betrachtet. Die in Tabelle 1 einzelnen aufgeführten Muster, eins bis vier, werden mittels den Volkszählungsdaten 1990 sowie einer unveränderlichen Anzahl von 250'000 Flugbewegungen pro Jahr mit Bezug auf die Werte des ‚ZFI‘ analysiert. Es variieren dabei die Definitionen des Nahkontrollbezirks für den Flughafen Zürich (AIP Schweiz) wie sie vor dem Jahre 2000 Gültigkeit hatten gegenüber den gegenwärtigen gültigen Regeln für die An- und Abflugverfahren im Jahre 2006 (Routenstruktur). Gleichzeitig verändert sich in den Mustern 1 und 3 die Zusammensetzung der Flugzeugtypen sowie wie sie für das Jahr 1996 respektive in den Mustern 2 und 4 wie sie für das Jahr 2006 Gültigkeit besitzt. Hieraus resultieren die Effekte der Routenstruktur als auch der Flugzeugtypenzusammensetzung auf der Basis der Volkszählungsdaten von 1990 auf den Wert des ‚ZFI‘.

3.2.2 Mustergruppe II

Die einzelnen Muster der Mustergruppe II untersuchen denselben Effekt wie in Mustergruppe I. Es werden wiederum die Flugzeugtypenzusammensetzung und die An- und Abflugverfahren bezüglich der Volkszählungsdaten aus dem Jahre 1990 betrachtet. Die hier unterschiedliche Grösse ist, dass die Anzahl der Flugbewegungen pro Jahr von 250'000 auf 320'000 angehoben wird. Die hieraus resultierenden Effekte der Routenstruktur und Flugzeugtypenzusammensetzung sollen erste Hinweise geben auf die Sensitivität des ‚ZFI‘ Wertes. Ist ein Anstieg von 70'000 Flugbewegungen pro Jahr ein solcher ausschlaggebender Faktor?

3.2.3 Mustergruppe III

Die Muster neun bis zwölf der Mustergruppe III sollen ebenfalls Auskunft geben über den Effekt der Flugzeugtypenzusammensetzung und der An- und Abflugrouten, jedoch auf Basis der Volkszählungsdaten aus dem Jahre 2000. Die Anzahl der Flugbewegungen pro Jahr entspricht derjenigen wie in der Mustergruppe I. Nebst der systematischen Variation der Flugzeugtypenzusammensetzung wird hier ein besonderes Augenmerk auf den Effekt der Bevölkerungsentwicklung gelegt. Ist hier der Anstieg der Populationszahl der ausschlaggebende Faktor auf die Werte des ‚ZFI‘? Aus Gründen des Vergleichs wird die Anzahl der Flugbewegungen bei 250'000 pro Jahr gehalten.

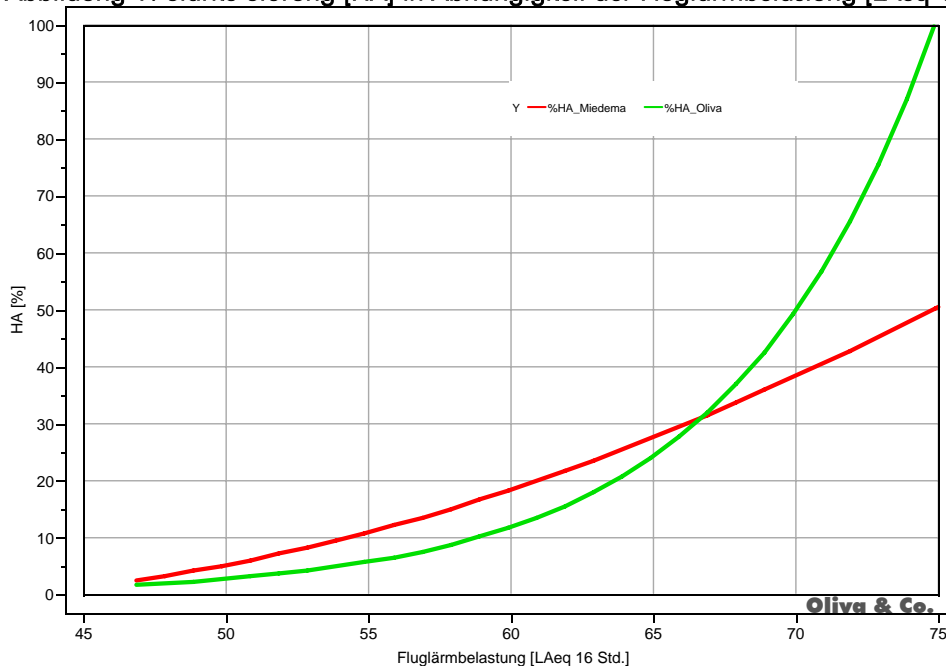
3.2.4 Mustergruppe IV

Die in Mustergruppe IV zugeordneten einzelnen Muster analysieren denselben Effekt wie in Mustergruppe III. Hingegen wird auch hier ein Anstieg der jährlichen Flugbewegungszahl auf insgesamt 320'000 modelliert. Es wird auf die Volkszählungsdaten aus dem Jahre 2000 abgestellt. Zudem variieren erneut systematisch die An- und Abflugrouten sowie die Flugzeugtypenzusammensetzung.

3.3 Parameter

Für die Bestimmung der fluglärmbedingten starken Störung während des Tages ist im vorliegenden Bericht die von der Zürcher Regierung verwendete Formel von Henk Miedema und Catharina Oudshoorn (2001) angewendet worden. Diese Formel dient dazu, bei bekannter Schallbelastung den entsprechenden Anteil der fluglärmbedingten starken Störung zu berechnen. Im Prinzip handelt es sich dabei um eine Umrechnung des Schallbelastungsmasses in eine Anzahl von Personen.

Abbildung 1: Starke Störung [HA] in Abhängigkeit der Fluglärmbelastung [LAeq 16]



In der Abbildung 1 wird die Umrechnungsformel LAeq in starke Störung [HA in Prozent] nach Miedema dargestellt. Daraus lässt sich entnehmen, wie viel LAeq wie viel Prozent starke Störung entspricht. Diese Formel ist anhand von 19 Studien geschätzt worden, deren Daten alle zusammengelegt worden sind. Diese Studien stammen aus der Periode zwischen 1965 und 1992, wovon deren 3 sich ausschliesslich auf Militärflugplätze beziehen.

Als Kontrast dazu wird die Umrechnungsformel für die Flughäfen Genf und Zürich dargestellt, die auf den Daten der Lärmstudie 90 beruht. In der Lärmstudie 90 wurde ursprünglich eine Berechnung basierend auf den Personendaten vorgenommen. Diese wurde als lineare Schätzung durchgeführt. Im Zuge der Bemühungen, robustere Schätzungen zu erreichen, ist auf der Ebene der Befragungsgebiete eine „e-Kurve“ geschätzt worden. Da Miedema auch nicht eine lineare Schätzung vornimmt, sind diese beiden in Abbildung 1 dargestellten Schätzungen miteinander vergleichbar.

Der Vergleich beider Kurven zeigt, dass die dem ‚ZFI‘ zugrunde gelegte Umrechnungsformel die subjektive Störung durch Fluglärm im Nahbereich des Flughafens unterschätzt.

Für die Bestimmung der fluglärmbedingten Störung während der Nacht ist die durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte Prognosegleichung verwendet worden, so wie sie zur Berechnung des ‚ZFI‘ durch die Zürcher Regierung zur Anwendung gelangt ist (Basner et al. 2005). Im Gegensatz zum Tag kann hier nicht von einer direkten Umrechnung der Schallbelastung in Anzahl Personen gesprochen werden. Die Berechnungen der fluglärmbedingten Störung während der Nacht berücksichtigen die durch einzelne Flugbewegungen ausgelösten zusätzlichen Aufwachreaktionen. Hierzu werden die Maximalpegel der betreffenden Flugzeugtypen und deren Auftretenshäufigkeit verwendet.

Die Verfahren zur Bestimmung des ‚ZFI‘ am Tag und in der Nacht sind methodisch nicht vergleichbar. Insofern enthält der ‚ZFI‘ einen Methodenbruch, der sich auf eine nicht-vergleichbare Gewichtung der Flugbewegungen auswirkt.

3.4 Modell

Für die Bestimmung der Schallausbreitung ist das integrierte Lärmmodell („Integrated Noise Model“), Version 6.2 (2006), eingesetzt worden. Dieses Modell zur Berechnung der Schallausbreitung wird häufig für Prüfungen der Umweltverträglichkeit eingesetzt. Sämtliche Spezifika und Parameter einschliesslich der topographischen Begebenheiten des Flughafens Zürich sind berücksichtigt. Abweichungen zu anderen Berechnungsmodellen sind immer denkbar. Hier geht es jedoch vor allem darum, die relativen und nicht absoluten Auswirkungen von Veränderungen zu untersuchen.

3.5 Daten

Die fluglärmbedingte starke Störung, sowohl am Tag als auch in der Nacht, wurde anhand der Prognoseformel von Miedema und des DLR berechnet.

Die Angaben über die Bevölkerungsdichte stammen aus dem Datensatz des Bundesamts für Statistik. Verwendet wurden die Volkszählungsdaten 1990 und 2000.

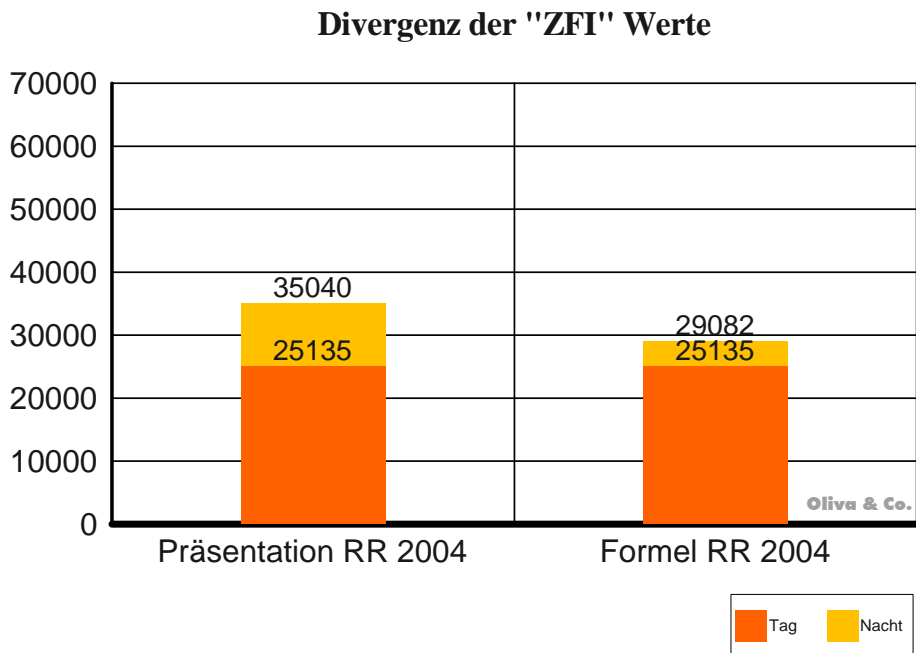
Die Zusammensetzung des Luftverkehrs nach Flugzeugtypen, das Betriebskonzept, die Luftraumstruktur sowie die Flugbewegungszahlen stammen aus den Flugplänen der Jahre 1996 und 2006 und weiteren statistischen Angaben über den Luftverkehr und die Lärmentwicklung des Flughafens Zürich.

3.6 Modelleichung

Bevor der Vergleich zwischen diesen Mustern ausgeführt werden kann, bedarf es der Eichung des hier zum Einsatz gelangenden Modells zur Bestimmung der Schallbelastung. Dabei dürfen aufgrund der verwendeten Formeln, wie sie im Bericht zur technischen Umsetzung der Machbarkeitsstudie unterbreitet werden (EMPA 2006), keine grossen Abweichungen für die entsprechenden Werte des ‚ZFI‘ beobachtet werden. Folglich sollten zwischen den unterschiedlichen Modellen zur Bestimmung der Schallbelastung identische beziehungsweise Werte, die nicht voneinander signifikant verschieden sind, resultieren.

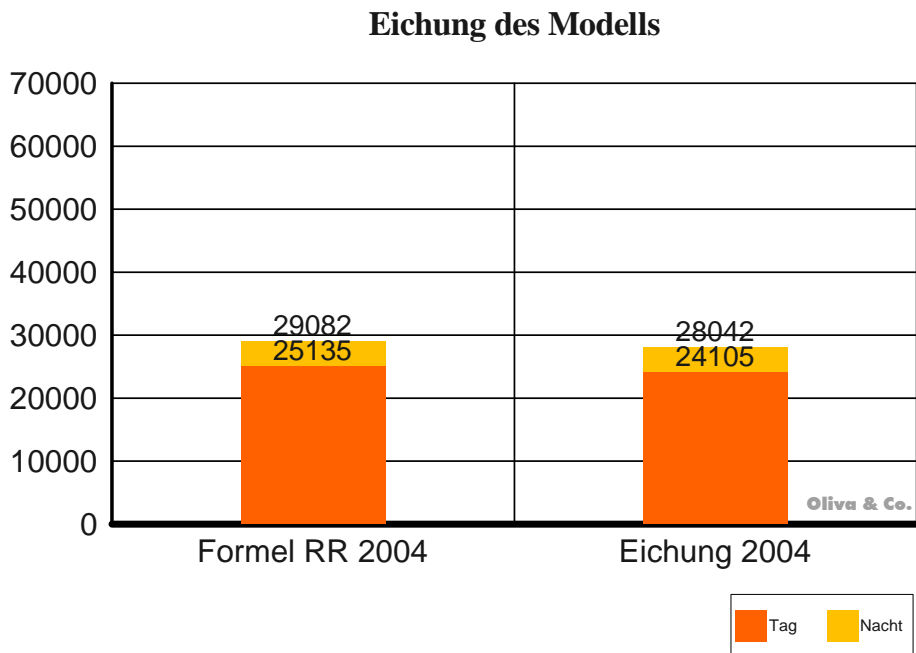
In der Präsentation „Zürcher Fluglärm-Index (‚ZFI‘), der Gegenvorschlag des Regierungsrates zur Initiative «für eine realistische Flughafenpolitik» (2006), wird ein Richtwert ausgewiesen, der rund 22 Prozent unter der effektive Belästigung des Jahres 2000 sei. Die Abbildung 2 zeigt die ‚ZFI‘ Werte gemäss der Präsentation und der Machbarkeitsstudie zusammen. In der Säule „Präsentation RR 2004“ sind die Werte für „2004 Ist“ gemäss Präsentation und in der Säule „Formel RR 2004“ sind die Werte gemäss der technischen Umsetzung der Machbarkeitsstudie (EMPA 2006) dargestellt. Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, resultieren unterschiedliche Werte für die Nacht. Für den Tag werden 25'135 ‚ZFI‘ und 9'905 in der „Präsentation RR 2004“ respektive 3'937 in der „Formel RR 2004“ ausgewiesen. Zum Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung konnten die Gründe der Divergenzen nicht abschliessend in Erfahrung gebracht werden.

Abbildung 2: Divergenz der 'ZFI' Werte



Für die Eichung des Modells wird hier auf die in der technischen Umsetzung der Machbarkeitsstudie (EMPA 2006) publizierte Formel abgestellt. Die Abbildung 3 zeigt eine nahezu perfekte Übereinstimmung der Eichung des Modells mit den Werten, die mittels „Formel RR 2004“ zustande kommen.

Abbildung 3: Eichung des Modells



Für die hier vorzunehmenden Vergleiche der einzelnen Muster sowie der Vergleiche zwischen den Mustergruppen besteht eine hinreichende Genauigkeit. Die Werte für die Nacht weisen mit 3'937 zehn „Punkte“ weniger aus und die Werte für den Tag weisen eine Differenz von 1'030 auf, so dass festgehalten werden kann, dass sie voneinander nicht signifikant verschieden sind.

Diese Eichung bedeutet gleichzeitig nicht, dass die unterschiedlichen Berechnungsverfahren zur Prognose des prozentualen Anteils der Personen, die eine starke Störung durch den Fluglärm wahrnehmen, bereits auf ihre Gültigkeit im Anwendungsbereich überprüft worden wären. So muss mit einer noch nicht bekannten Vorhersagevalidität gerechnet werden, weil den Differenzen nicht systematische und zeitlich instabile Fehlergrößen anhaften und eine einwandfreie Interpretation erschwert. Solche Schwächen in diesen Prognosen wurden auch in anderen Zusammenhängen beobachtet (Schröder 2006). Das wäre jedoch nicht eine Aufgabe der Sensitivitäts- und Belastungsanalyse, sondern eine Aufgabe der Untersuchung der methodischen Angemessenheit des ‚ZFI‘.

4 Resultate

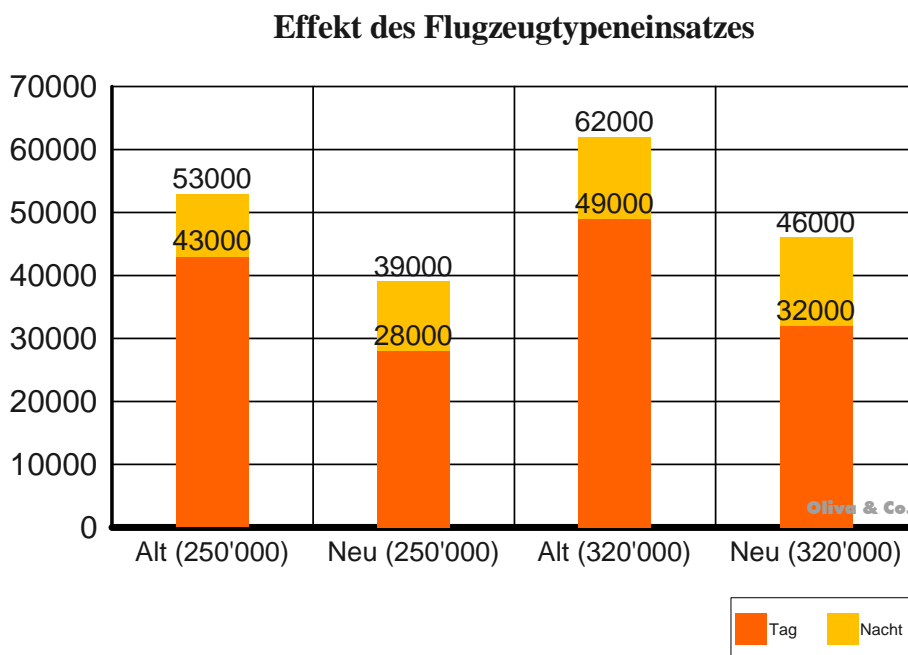
4.1 Die Wirkung einzelner Komponenten

Hier wird untersucht, welche der Komponenten des ‚ZFI‘ die sensitivsten sind. Die Bearbeitung der Frage richtete sich an den folgenden vier Komponenten aus:

- Bevölkerungszahl pro ha
- Flugbewegungen pro Jahr
- An- und Abflugrouten
- Flugzeugtypeneinsatz (Zusammensetzung der Flotte)

Die Belastungsanalyse setzte bei den 16 verschiedenen möglichen Mustern an. Zur Betrachtung der Sensitivität wurden entlang der vier Komponenten sämtliche Kombinationen – Muster – separat für den Tag als auch für die Nacht berechnet. Abschliessend liegt nun für jedes Muster der entsprechende ‚ZFI‘ Wert vor. Aufgrund der Gegenüberstellung von einzelnen Mustern wird die Veränderung hinsichtlich der Komponenten deutlich. So werden beispielsweise die Komponenten ‚Flugzeugtypeneinsatz 1996‘ und ‚Flugzeugtypeneinsatz 2006‘ bei sonst gleich bleibenden Komponenten einander gegenübergestellt. Das ist in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4: Effekt des Flugzeugtypeneinsatzes

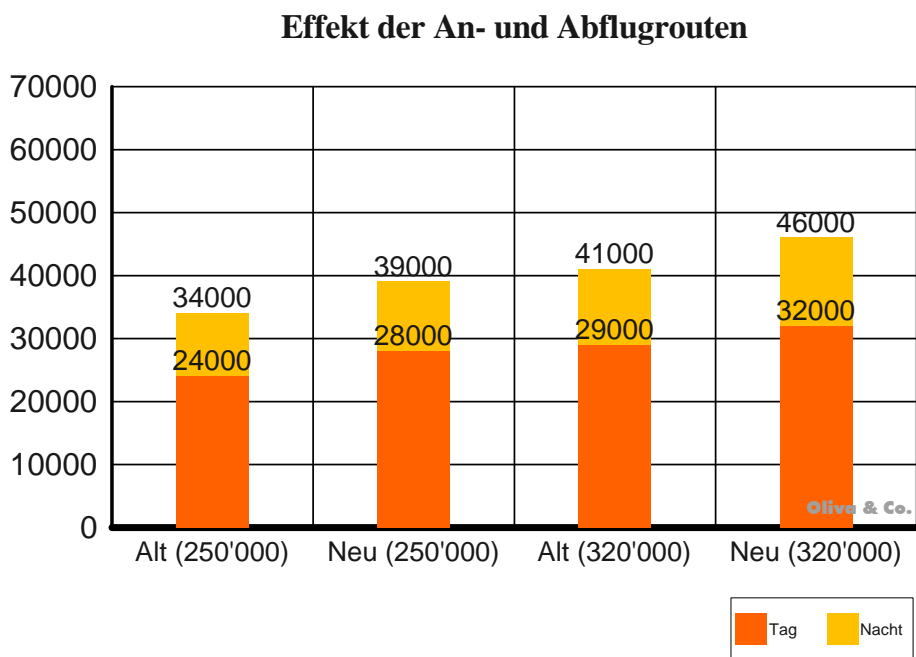


Aus Abbildung 4 geht hervor, dass infolge der Veränderung der Flugzeugtypeneinsatzes während den letzten 10 Jahren, von 1996 bis 2006, deutliche Unterschiede in den Werten des ‚ZFI‘ beobachtet werden können. Der Einsatz modernerer Flugzeugtypen bewirkt eine Abnahme der ‚ZFI‘ Werte. Dies wird sowohl bei einer Bewegungszahl von 250'000 oder 320'000 deutlich.

Die prägnante Abnahme der ‚ZFI‘ Werte hat insbesondere mit der historisch spezifischen Situation dieses Betrachtungszeitraumes zu tun. Während dieser Zeitspanne wurde der Betrieb der Swissair eingestellt, wodurch eine Reihe von Langstreckenflugzeugen, welche die Geräuschkulisse der Flughafenregion wesentlich geprägt haben, aus dem regelmässigen Verkehr am Flughafen Zürich ausgewechselt worden sind.

Es darf jedoch nicht damit gerechnet werden, dass dieser auf einmaligen Ereignissen beruhende Trend sich in dieser Weise Fortsetzen wird. Es kann auch aufgrund der Einbettung des Flughafens Zürich durch Fluggesellschaften in das interkontinentale Streckennetz erwartet werden, dass der Anteil der Langstreckenflugzeuge am Gesamtverkehr wieder zunehmen wird. Dies ist jedoch unter der Voraussetzung des Einsatzes modernerer Flugzeugtypen zu erwarten.

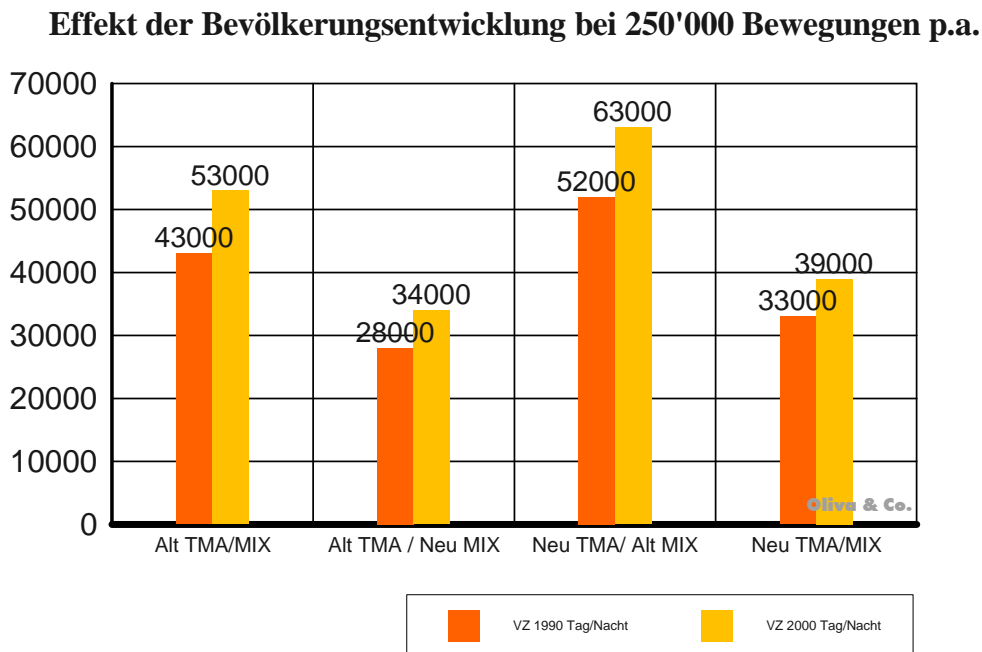
Abbildung 5: Effekt der An- und Abflugrouten



Die Berechnungen des Regierungsrates zum ‚ZFI‘ stellen auf Angaben aus dem Jahr 2004 ab. Diese beruhen auf der historisch gewachsenen, bisherigen Auslegung der An- und Abflugrouten (ALT). Mit der Inbetriebnahme des neu ausgelegten Nahkontrollbezirks (TMA) sind die An- und Abflugrouten teilweise neu festgelegt worden (NEU). Dieses seltene Ereignis der Neuauslegung des Nahkontrollbezirks führt, wie die Abbildung 5 zeigt, zu einer Zunahme der ‚ZFI‘ Werte, die bislang nicht in die Berechnungen eingegangen sind.

Die Bevölkerungsentwicklung, insbesondere die Zunahme der Bevölkerungsdichte, in der Umgebung des Flughafens Zürich zwischen dem Volkszählungsjahr 1990 und dem Jahr 2000 führt ebenfalls zu einem markanten Anstieg der ‚ZFI‘ Werte.

Abbildung 6: Effekt der Bevölkerungsentwicklung

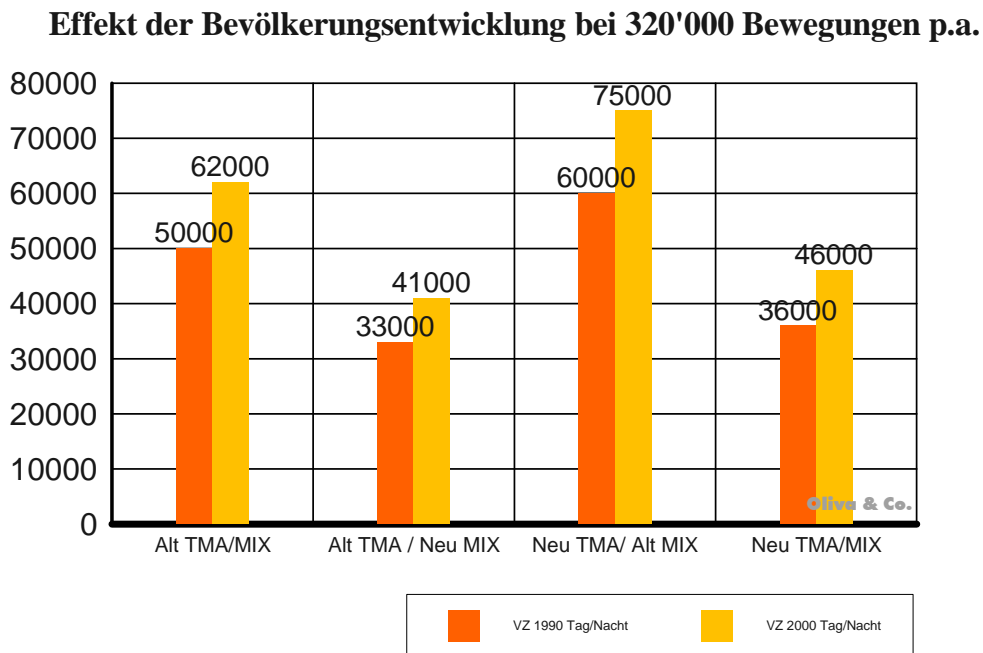


Die Abbildung 6 zeigt den Effekt der Bevölkerungsentwicklung (zunehmende Bevölkerungsdichte) unter verschiedenen Gesichtspunkten. Jeder der Vergleiche zeigt einen klaren Anstieg der ‚ZFI‘ Werte. Der erste Vergleich anhand der Volkszählungsdaten zeigt den Effekt unter der Annahme der „alten“ TMA und der „alten“ Zusammensetzung der Flugzeugtypen. Auch unter der Annahme der „alten“ TMA, aber der neuen Zusammensetzung der Flugzeugtypen, ist ein deutlicher Anstieg festzustellen. Dasselbe zeigt sich auch unter der Annahme der „neuen“ TMA und der „neuen“ Zusammensetzung der Flugzeugtypen. Jedes Mal ist ein Anstieg zwischen der Bevölkerungsgrundlage 1990 und 2000 festzustellen.

Eine solche Zunahme ist auch für das Jahrzehnt zwischen 2000 und 2010 zu erwarten. Es ist jedoch nicht möglich, ohne die exakten Hektarpunkte mit Verdichtungszunahme zu kennen, eine genaue Prognose zu machen, weil die Zunahme der ‚ZFI‘ Werte von mehreren Faktoren abhängt, wie An- oder Abflüge, Lage zu den Flugrouten, ungleiche Besiedlungsentwicklung etc.

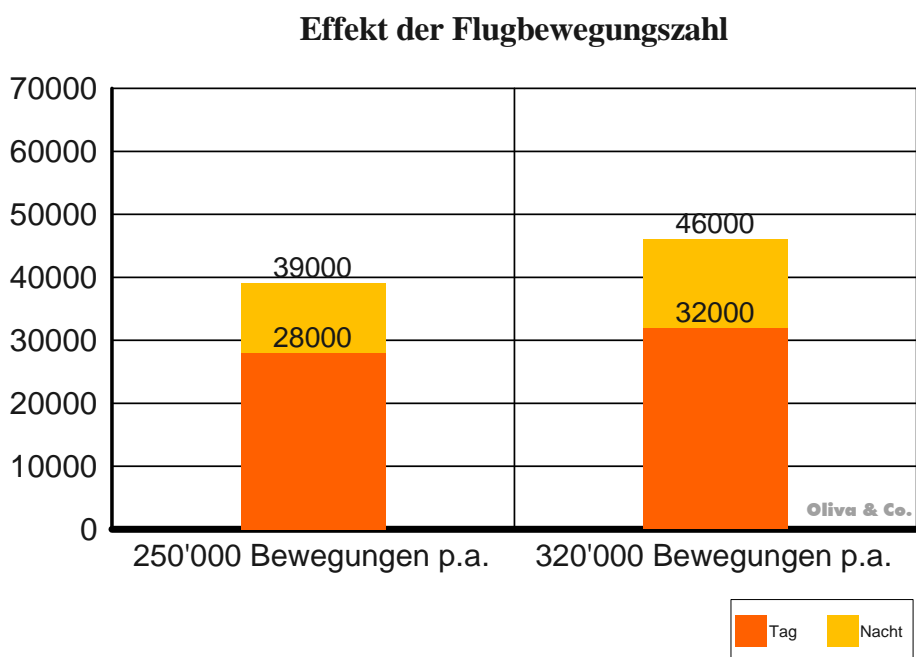
Wie die Abbildung 7 zeigt, akzentuiert sich die Zunahme der ‚ZFI‘ Werte unter der Voraussetzung von 320'000 Flugbewegungen.

Abbildung 7: Effekt der Bevölkerungsentwicklung



Die folgende Abbildung 8 zeigt den Effekt einer Zunahme von 250'000 auf 320'000 Flugbewegungen.

Abbildung 8: Effekt der Flugbewegungszahl



Die Bewegungszunahme schlägt sich in einem Anstieg des ‚ZFI‘ um 7'000 Punkten für die Flugbewegungen am Tag und in der Nacht nieder.

Fazit: Die technische Entwicklung der Flugzeugtypen und folglich die zum Einsatz gelangende Flugzeugtypenzusammensetzung sowie die Neuauslegung des Nahkontrollbezirks (TMA) für die An- und Abflugverfahren des Flughafens Zürich schlagen sich am sensitivsten auf den ‚ZFI‘ Wert nieder. Die Entwicklung der Bevölkerung zwischen 1990 und 2000 verweist auf einen signifikanten Effekt. Die Betrachtung der Erhöhung der Flugbewegungszahl pro Jahr förderte einen Anstieg von rund 7'000 ‚ZFI‘ Punkten, welche vorerst als moderat bezeichnet werden.

4.2 Gleichzeitige Betrachtung aller Komponenten

Die vorausgehende Analyse zeigt, dass alle der untersuchten Komponenten einen Einfluss auf die Variation der ‚ZFI‘ Werte haben. Deshalb soll im folgenden Schritt untersucht werden, wie stark die einzelnen Komponenten unter Konstanthaltung der anderen Komponenten auf den ‚ZFI‘ wirken.

Diese Belastungsanalyse wird anhand der historischen Entwicklung des Flughafens Zürich untersucht. Unter Belastung wird hier der Beitrag einer Komponente zur Erhöhung des ‚ZFI‘ Wertes verstanden. Der Beitrag jeder Komponente wird anhand eines Vergleichs „vorher – nachher“ bestimmt. In der Terminologie der Statistik soll das Verfahren der multiplen Regressionsanalyse zur Anwendung gelangen. Dieses Verfahren besitzt den Vorteil, dass es den eigenständigen Beitrag jeder einzelnen Komponente und jeder paar weisen Kombination der Komponenten an den ‚ZFI‘ Wert berechnen lässt. Dabei wird die nachstehende Grundgleichung angewendet.

$$\text{ZFI} = a + b_1 \text{POP} + b_2 \text{MVT} + b_3 \text{RUT} + b_4 \text{MIX} + b_5 \text{POP} \cdot \text{MVT} + b_6 \text{POP} \cdot \text{RUT} + b_7 \text{POP} \cdot \text{MIX} + b_8 \text{MVT} \cdot \text{RUT} + b_9 \text{MVT} \cdot \text{MIX} + b_{10} \text{RUT} \cdot \text{MIX}$$

In Tabelle 2 sind die berechneten partiellen Regressionskoeffizienten aufgeführt. In der Spalte (1) werden die unstandardisierten (Estimate a,b) und in der Spalte (5) die standardisierten Regressionskoeffizienten (Std Beta) dargestellt. Die unstandardisierten Koeffizienten enthalten ‚ZFI‘ Punkte, die standardisierten Koeffizienten enthalten Werte die zwischen +1.0 und -1.0 variieren. Die standardisierten Regressionskoeffizienten sind geeignet, die Sensitivität zu bestimmen, denn sie können als „Impuls“ verstanden werden. Die unstandardisierten Koeffizienten dienen dazu, die Grössenordnung der Impulse in Form von ‚ZFI‘ Punkten zu bestimmen.

Tabelle 2: Sensitivität der Komponenten des 'ZFI' (Tageswerte)

Term	Estimate a, b	Std Error	t Ratio	Prob> t	Std Beta
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
a: Intercept	35750	586.30	60.98	0.00000	0.00
b ₁ : POP[2000-1990]	6750	707.11	9.55	0.00021	0.30
b ₂ : MVT[320000-250000]	5500	707.11	7.78	0.00056	0.25
b ₃ : RUT[2006-1999]	9500	707.11	13.44	0.00004	0.43
b ₄ : MIX[2006-1996]	-13250	707.11	-18.74	0.00001	-0.59
b ₅ : POP[2000-1990]*MVT[320000-250000]	1500	707.11	2.12	0.08736	0.06
b ₆ : POP[2000-1990]*RUT[2006-1999]	-500	707.11	-0.71	0.51108	-0.02
b ₇ : POP[2000-1990]*MIX[2006-1996]	-5000	707.11	-7.07	0.00088	-0.19
b ₈ : MVT[320000-250000]*RUT[2006-1999]	0	707.11	0.00	1.00000	0.00
b ₉ : MVT[320000-250000]*MIX[2006-1996]	-2500	707.11	-3.54	0.01664	-0.10
b ₁₀ : RUT[2006-1999]*MIX[2006-1996]	-5500	707.11	-7.78	0.00056	-0.21

Als nächste wird die Tabelle 2 inhaltlich erläutert. Der Parameter a (Intercept) stellt den multivariaten Mittelwert des ‚ZFI‘ dar. Dieser Mittelwert besteht ohne die Wirkung der Komponenten. In diesem Sinne kann er als den „Nullpunkt“ der Analyse betrachtet werden. Für den Tag beträgt der ‚ZFI‘-Mittelwert circa 36'000.

Die Parameter b₁ bis b₁₀ zeigen, wie stark der Impuls der einzelnen Komponenten zu einer Abweichung vom Mittelwert bewirkt. Der Parameter b₁ zeigt die Stärke des Impulses, den die Bevölkerungsentwicklung (POP) von 1990 bis 2000 auf den ‚ZFI‘ ausübt und zwar unabhängig von den anderen Komponenten. Die Stärke des Impulses der Bevölkerungsentwicklung beträgt b₁ = 6750 ‚ZFI‘ Punkte.

Damit die Impulse miteinander verglichen werden können, werden sie standardisiert, indem eine Variation zwischen „0“ (kein Impuls) und „1“ (sehr starker Impuls) variieren können. Zugleich zeigt das Vorzeichen, wie der Impuls auf den ‚ZFI‘ wirkt: „+“ bedeutet eine Erhöhung der ‚ZFI‘ Punkte und „-“ bedeutet eine Abnahme. Zugleich hilft das Signifikanzniveau (Prob>t) die Bedeutsamkeit des Impulses zu bestimmen. Ein Wert „Prob > 0.05“ zeigt einen bedeutungslosen Impuls und ein Wert „Prob < 0.05“ zeigt einen bedeutungsvollen Impuls. Die Komponente der Bevölkerungsentwicklung mit einem Impuls von Beta = 0.30, zeigt einen eher starken Impuls und das Signifikanzniveau p = 0.00021 weist darauf hin, dass der Impuls sehr bedeutungsvoll ist.

Aufgrund dieser Ergebnisse der Tabelle 2 kann erkannt werden, dass alle Komponenten je für sich einen eigenständigen Beitrag zur Variation des ‚ZFI‘ aufweisen. Die Veränderung der Flugzeugtypenzusammensetzung (Mix) zwischen 1996 und 2006 zeigt den stärksten signifikanten Impuls, nämlich eine Abnahme des ‚ZFI‘ um 13'250 ‚ZFI‘ Punkte. Dabei ist gleich anzufügen, dass diese Entwicklung der Flugzeugtypenzusammensetzung bereits erfolgt ist und nur unter ganz bestimmten Umständen sich noch in dieser Weise fortsetzen wird. Es ist eher mit einer Konstanz oder kleinen Zunahme des Anteils der Langstreckenflugzeuge zu rechnen. Trotzdem verweist diese Analyse für die

Vergangenheit auf die hohe Abhängigkeit des ‚ZFI‘ von der *Flugzeugtypenzusammensetzung*. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass der ‚ZFI‘ nicht mehr so stark auf die Änderungen der Flugzeugtypenzusammensetzung reagieren wird. Es kann sogar damit gerechnet werden, dass in Zukunft diese Komponente eher ein positives Vorzeichen erhalten wird.

Den höchsten positiven Impuls lässt sich bei der Änderung der *Routenstruktur* im Jahr 2005 beobachten. Eine Änderung der Routenstruktur ist historisch gesehen ein seltenes Ereignis. Es wird sich in dem vorliegenden Umfang nicht so rasch wieder beobachten lassen. Teilweise Änderungen können jedoch immer möglich sein. Das wesentliche an diesem Ergebnis besteht jedoch darin, dass die Änderung der Routenstruktur in keiner Weise in die von der Zürcher Regierung präsentierten ‚ZFI‘ Eingang gefunden hat. Das heisst, der vorgestellte ‚ZFI‘ müsste bei einer möglichen Anwendung ohnehin um den entsprechenden Impuls angehoben werden. Auf der Basis der vorliegenden Berechnungen müsste der ‚ZFI‘ um etwa 10'000 Punkte höher liegen, wenn er als einziger Impuls wirken würde und – alleine für den Tag würden sich ca. 46'000 ‚ZFI‘ Punkte zählen lassen.

Die *Bevölkerungsentwicklung* zwischen 1990 und 2000 weist einen eher starken Impuls auf. Ungeachtet der Entwicklung des Luftverkehrs trägt die Bevölkerungsentwicklung zu einer Erhöhung des ‚ZFI‘ um cirka 7'000 Punkte bei. Wenn mit einer gleichwertigen Entwicklung der Bevölkerung in der Zeitspanne zwischen den Jahren 2000 und 2010 gerechnet würde, so müsste der ‚ZFI‘ gleich zu Beginn um 7'000 Punkte angehoben werden. Wenn auf der Basis der vorliegenden Berechnung diese Tendenz berücksichtigt würde, käme der ‚ZFI‘ alleine durch die Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2000 auf cirka 43'000 zu liegen und aufgrund der Bevölkerungsentwicklung bis zum 2010 dürften allein für den Tag 50'000 ‚ZFI‘ Punkte erwartet werden.

Der jährliche Anstieg der *Flugbewegungen* von 250'000 auf 320'000 zeigt den geringsten, jedoch immer noch relevanten Impuls in Richtung Erhöhung des ‚ZFI‘. Die Differenz beträgt ca. 6'000 ‚ZFI‘ Punkte.

Die vertiefte Analyse zur gleichzeitigen Betrachtung der vier Komponenten lässt folgendes *Fazit* der Tageswerte zu.

- e) Veränderung des *Flugzeugtypenzusammensetzung*: Löst den grössten (gegenläufigen) Impuls auf den ‚ZFI‘ aus, was sich in diesem Ausmass nicht wiederholen wird.
- f) Veränderung der *Routenstruktur*: Hoher Impuls auf den ‚ZFI‘, was bislang (noch) nicht berücksichtigt worden ist.
- g) Zunahme der *Bevölkerungsdichte*: Löst einen relativ starker Impuls auf den ‚ZFI‘ aus, der bei Prognosen für das Jahr 2010 oder mit Erreichen von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten berücksichtigt werden muss.
- h) Anstieg der *Flugbewegungen*: Löst einen vergleichsweise geringen Impuls aus, weil der Anteil der Langstreckenflugzeuge bereits jetzt schon relativ hoch ist.

In der nachstehenden Tabelle 3 sind wie in Tabelle 2 die partiellen Regressionskoeffizienten, jedoch für die Nachtwerte aufgeführt. Deutlich wird, dass sich die Veränderung der Bevölkerungsdichte zwischen den Jahren 1990 und 2000 als die sensitivste Komponente, gefolgt von den Flugbewegungen erweist.

Tabelle 3: Sensitivität der Komponenten des 'ZFI' (Nachtwerte)

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t	Std Beta
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Intercept	6875	279.51	24.60	0.00000	0.00
POP[2000-1990]	3250	342.33	9.49	0.00001	0.55
MVT[320000-250000]	2000	342.33	5.84	0.00039	0.34
RUT[2006-1999]	0	279.51	0.00	1.00000	0.00
MIX[2006-1996]	-750	279.51	-2.68	0.02778	-0.13
POP[2000-1990]*MVT[320000-250000]	1500	395.28	3.79	0.00528	0.22
POP[2000-1990]*RUT[2006-1999]	2000	395.28	5.06	0.00098	0.29
MVT[320000-250000]*MIX[2006-1996]	-1000	395.28	-2.53	0.03527	-0.15

Die Veränderung der Routenführung, sie bezieht sich auf die Verlegung des Anfluges in der Nacht von der Piste 16 auf die Piste 28, wirkt sich neutral auf den ‚ZFI‘ aus, weil der Anteil der betroffenen Personen in beiden Fällen gleich gross ist. Hierzu sei vermerkt, dass lediglich die Bevölkerung innerhalb der Schweizer Grenze gezählt worden ist. Die Flugzeugtypenzusammensetzung wirkt sich nicht so intensiv aus, wie dasselbe Phänomen am Tag.

Ausgehend von den partiellen Regressionskoeffizienten, die sich aus der gleichzeitigen Betrachtung aller Komponenten ergeben, stellt sich die Frage, ob sich die ‚ZFI‘ Werte der einzelnen Komponenten (Variablen) für den Tag und Nacht addieren lassen, damit aufgrund der resultierenden ‚ZFI‘ Summe eine ‚Rangordnung‘ gebildet werden kann. In Tabelle 4 ist diese Rangierung vorgenommen worden, jedoch mit Bedacht darauf, dass die Berechnung der ‚ZFI‘ Werte als partielle Regressionskoeffizienten auf einer Intervallskala basieren. Die Bildung von Rangordnungen setzt aber ein Ordinalskala voraus. Methodisch kann diesem Vorgehen zugesprochen werden, weil die Intervallskala in der Reihenfolge die Ordinalskala impliziert, jedoch ein Informationsverlust der Aussagekraft in Kauf genommen werden muss.

Tabelle 4: Rangordnung der Variablen

Variable	Rangordnung			Rang
	‚ZFI‘ Tag	‚ZFI‘ Nacht	‚ZFI‘ Summe	
Flugzeugtypenzusammensetzung	-13'250	-750	-14'000	1
Bevölkerungsentwicklung	6'750	3'250	10'000	2
An- und Abflugrouten	9'500	0	9'500	3
Flugbewegungsanzahl	5'500	2'000	7'500	4

4.3 Anstieg von 36'000 auf 47'000 ‚ZFI‘ Punkte

In der Problemstellung wurde die Frage formuliert, wie viele Flugbewegungen es heute vertragen würde, damit die Anzahl der stark belasteten Personen von aktuell 36'000 auf einen ‚ZFI‘ Richtwert von 47'000 ansteigen würden. Diese Frage soll auf der dem derzeit gültigen Flugregime beantwortet werden. Zur Beantwortung dieser Frage, werden nun die bereits verfügbaren Erkenntnisse aus dieser hier vorliegenden Belastungsanalyse aufgenommen.

Die multiple Regressionsanalyse der ‚ZFI‘ Werte am Tag zeigt, dass eine Erhöhung von 70'000 Bewegungen 5'500 ‚ZFI‘ Punkte bewirkt. Unter Konstanzhaltung aller weiteren Faktoren würde 2 Mal 5'500 Punkte ausgelöst, was bei 390'000 Flugbewegungen pro Jahr der Fall wäre.

Da die Bevölkerungsentwicklung aber einen stärkeren Impuls auf die Zunahme der ‚ZFI‘ Punkte auslöst, ist die Überschreitungswahrscheinlichkeit von 47'000 ‚ZFI‘ Punkten nicht alleine durch die Zunahme der Flugbewegungen bedingt.

Unter diesen Gegebenheiten ist schon bei 320'000 Flugbewegungen zu erwarten, dass 47'000 ‚ZFI‘ Punkte überschritten werden, weil die Bevölkerungsentwicklung eine Zunahme von 6'750 Punkten auszulösen vermag.

Fazit: Eine Zunahme der Flugbewegungen ab dem Jahr 2006 bis 47'000 ‚ZFI‘ Punkte überschritten würden, würde eine Erhöhung von ca. 70'000 Flugbewegungen pro Jahr unter Konstanzhaltung der Flugzeugtypenzusammensetzung implizieren, so dass eine Überschreitung des Plafonds bei ca. 320'000 Flugbewegungen pro Jahr erwartet werden darf.

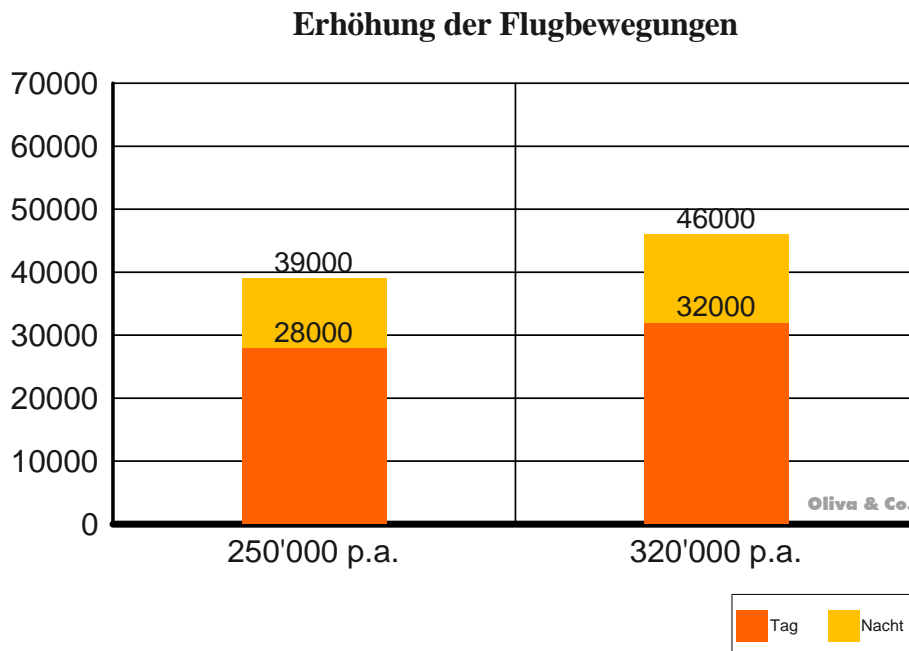
4.4 Erhöhung der Flugbewegungszahl um 70'000

Als nächstes soll die Frage beantwortet werden, mit welchem ‚ZFI‘ Wert muss gerechnet werden, wenn heute eine Erhöhung von 250'000 auf 320'000 Flugbewegungen möglich wäre und dies auf der Basis des derzeit gültigen Flugregimes.

Hier wird auf die bereits erarbeiteten Kombinationen der Komponenten des ‚ZFI‘ zurückgegriffen. Diese hier durchgeführten Berechnungen weisen unter der Annahme von 250'000 Flugbewegungen 39'000 ‚ZFI‘ Punkte aus: 28'000 für den Tag und 11'000 für die Nacht. Bei sonst gleichen Voraussetzungen werden unter der Annahme von 320'000 Flugbewegungen 46'000 ‚ZFI‘ Punkte ausgewiesen: 32'000 für den Tag und 14'000 für die Nacht. Diese Werte sind hinsichtlich des Plafonds mit 47'000 ‚ZFI‘ Punkten nicht signifikant verschieden.

In der nachstehenden Abbildung 9 werden die ‚ZFI‘ Punkte für die beiden jährlichen Flugbewegungshorizonte von 250'000 respektive 320'000 zusammengefasst.

Abbildung 9: Effekt der Erhöhung der Flugbewegungen



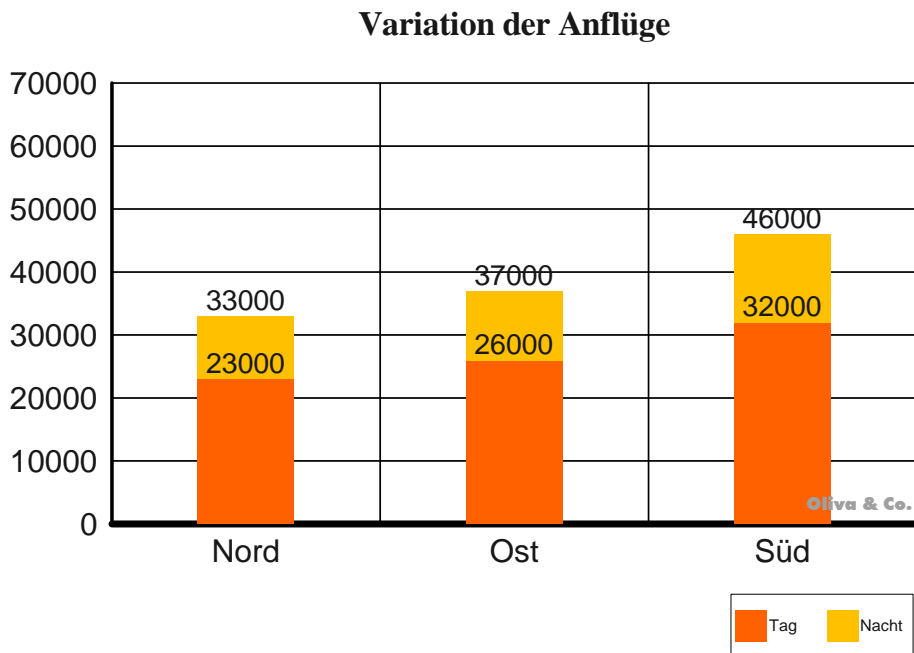
Fazit: Eine Zunahme von 70'000 Flugbewegungen pro Jahr – bei gegenwärtiger Flugzeugtypenzusammensetzung und den gegenwärtigen gültigen An- und Abflugverfahren – bewirkt insgesamt einen Anstieg von 7'000 ‚ZFI‘ Punkten von 39'000 auf 46'000 ‚ZFI‘ Punkte. Der Anstieg der Werte für den Tag ist höher als für die Nacht. Diese Tatsache wird in den mehr oder weniger gleich bleibenden Verhältnissen in der Nacht begründet.

4.5 Anflug aus Richtung Nord, Ost und Süd

Wenn alle Parameter konstant gehalten werden, dann stellt sich die Frage, welcher Monitoringwert würden Anflüge nur aus der Richtung Norden, Süden oder Osten erzielen? Diese Frage wird bei sonst gleichen Bedingungen dahingehend untersucht, dass sämtliche Anflüge von Norden auf die Piste 14, von Osten auf die Piste 28 und von Süden auf die Piste 34 gelegt werden. Nach der Berechnung der Schallbelastung werden die entsprechenden ‚ZFI‘ Punkte ermittelt. Die Veränderung des ‚ZFI‘ Wertes ist also alleine durch die Variation der Landungen bedingt, weil die Starts unverändert beziehungsweise konstant bleiben.

In der Abbildung 10 sind die Monitoringwerte für die separat berechneten Anflüge dargestellt.

Abbildung 10: Effekt der Variation der Anflüge

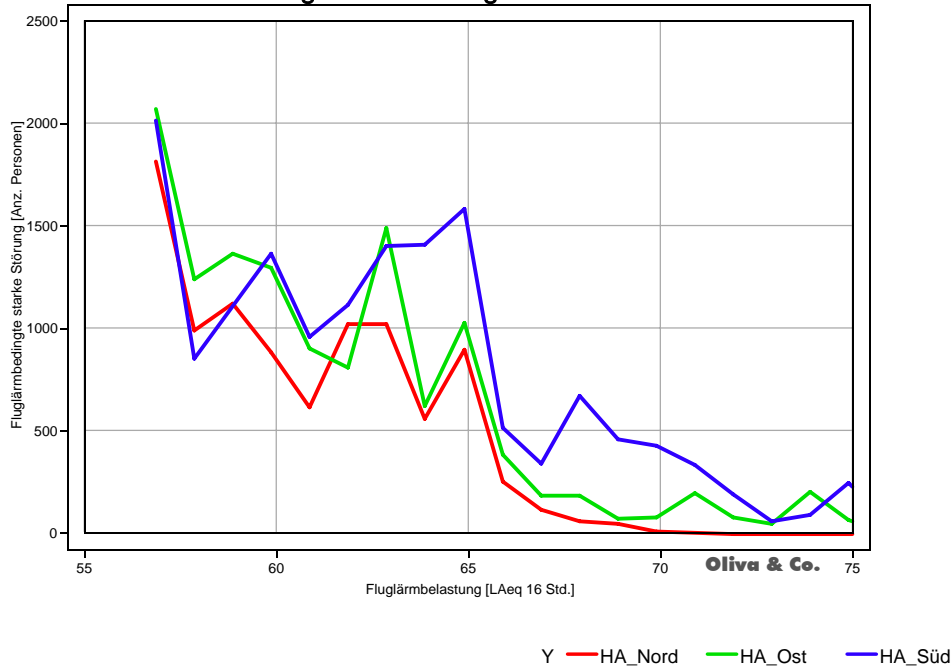


Der Anflug Nord ist mit Vorsicht zu interpretieren, weil nur die Bevölkerung innerhalb der Schweizer Grenzen statistisch verarbeitet worden ist. Es ist möglich, jedoch steht der Beleg aus, dass der Anflug Nord gleich viele Personen oder mehr belastet wie der Anflug Ost. Jedoch ist auch festzuhalten, dass beim Anflug Nord, aufgrund der Landnutzungsplanung weniger Personen durch Schall hoch belastet sind als im Bereich des Anflugs Ost.

Fazit: Die separate Betrachtung der Anflugsrichtungen zeigt, dass ein Vergleich nur zwischen den beiden Anflugsrichtungen Ost und Süd möglich ist, weil die Bevölkerungsdaten für die Anflugsrichtung Nord unvollständig ist. Zwischen den beiden Anflugsrichtungen Ost und Süd wird eine Differenz von 6'000 für den Tag festgestellt. Die Differenz beträgt insgesamt 9'000 ‚ZFI‘ Punkte.

In diesem Sinne kann ein sicherer Vergleich zwischen Anflug Ost und Anflug Süd hergestellt werden. Die nachstehende Abbildung 11 soll hierzu als Interpretationshilfe dienen. Daraus geht deutlich hervor, dass der Anflug Nord keine ‚ZFI‘ Punkte oberhalb einer Schallbelastung von 70 LAeq erwirbt, der Anflug Ost und Anflug Süd hingegen schon. Im Bereich über 60 LAeq weist der Anflug Süd den grössten Anteil an ‚ZFI‘ Punkten auf.

Abbildung 11: Entstehung der 'ZFI' Punkte

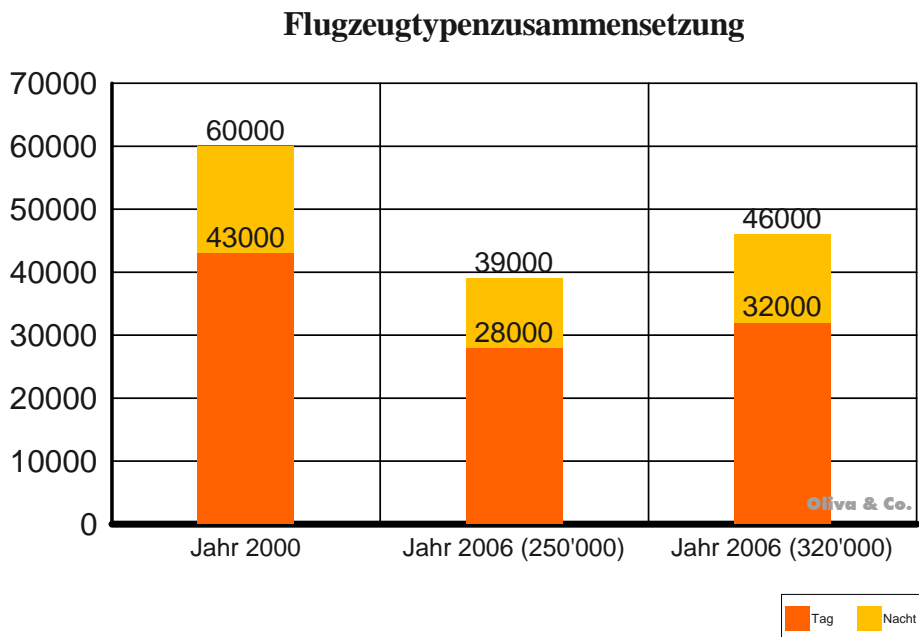


4.6 Flugzeugtypenzusammensetzung im Jahr 2000 vs. 2010

Die folgende Frage befasst sich mit der technologischen Entwicklung der Flugzeugtypen. Zentral dabei ist, welcher Wert würde heute erwartet, wenn bei gleich bleibenden Bedingungen mit der Flugzeugtypenzusammensetzung aus dem Jahre 2000 operiert würde.

Im Jahr 2000 wurden 314'000 Flugbewegungen gezählt, 308'000 am Tag und 6'000 in der Nacht. Für das Jahr 2006 ergab sich mit 250'000 Flugbewegungen ein ‚ZFI‘ von 39'000 und mit 320'000 Flugbewegungen ein ‚ZFI‘ von 46'000. Die Berechnung für das Jahr 2000 ergab 43'000 ‚ZFI‘ Punkte für den Tag und 17'000 ‚ZFI‘ Punkte für die Nacht, also insgesamt werden 60'000 ‚ZFI‘ Punkte gezählt. In der Abbildung 12 sind diese Resultate zusammengefasst.

Abbildung 12: Wirkung der Flugzeugtypen



Die technologische Neuerung bei den Flugzeugtypen zeigt im Vergleich der Jahre 2000 und 2006 bei fast konstanten Flugbewegungen (~320'000) eine Differenz von 14'000 ‚ZFI‘ Punkten. Es wird dann eine Differenz von 21'000 ‚ZFI‘ Punkten beobachtet, wenn sich gleichzeitig die Anzahl der Flugbewegungen reduziert. Diese Unterschiede belegen die Annahme, dass die technologische Neuerung der Flugzeugtypen einen historisch einmaligen Effekt auslösten, der sich jedoch nicht so schnell repetieren lässt, weil diese Innovationen in anderen zeitlichen Dimensionen sich abspielen. Insgesamt ist die Wirkung beachtlich, weil eine Reduktion von cirka 23 Prozent respektive von cirka 35 Prozent festgestellt wird, gleichzeitig erwähnt werden muss, dass ein Nutzen für die belastete Bevölkerung als kaum wahrnehmbar eingestuft werden kann, weil es sich um eine logarithmische Dimension handelt.

Was die Prognose des ‚ZFI‘ für das Jahr 2010 anbelangt, ist ein Veränderungspotential höchstens bei den Langstreckenflugzeugen zu erwarten. Einmal fällt im gegenwärtigen Flugplan für das Jahr 2006 auf, dass der zuweilen noch grösste von und nach Zürich verkehrende Flugzeugtyp, die Boeing B747, nur einen sehr geringen Anteil an Flugbewegungen aufweist. Diese wenigen Flugbewegungen könnten auch durch eine Boeing B777 ersetzt werden, was keine wesentlichen Auswirkungen auf das Schallbelastungsniveau haben wird. Ob ein solcher Ersatz schon in den nächsten vier Jahren geschieht, ist derzeit nicht bekannt. Weiter fällt im gegenwärtigen Flugplan auf, dass manche Langstreckenlinien mit Flugzeugen des Typs Boeing B767 oder Airbus A330 bedient werden. Dabei ist nicht damit zu rechnen, dass diese durch kleinere Flugzeugtypen, sondern durch gleichwertige modernere ersetzt werden. Ein solcher Ersatz könnte aber erst nach dem Jahr 2010 erwartet werden. Falls die Auslas-

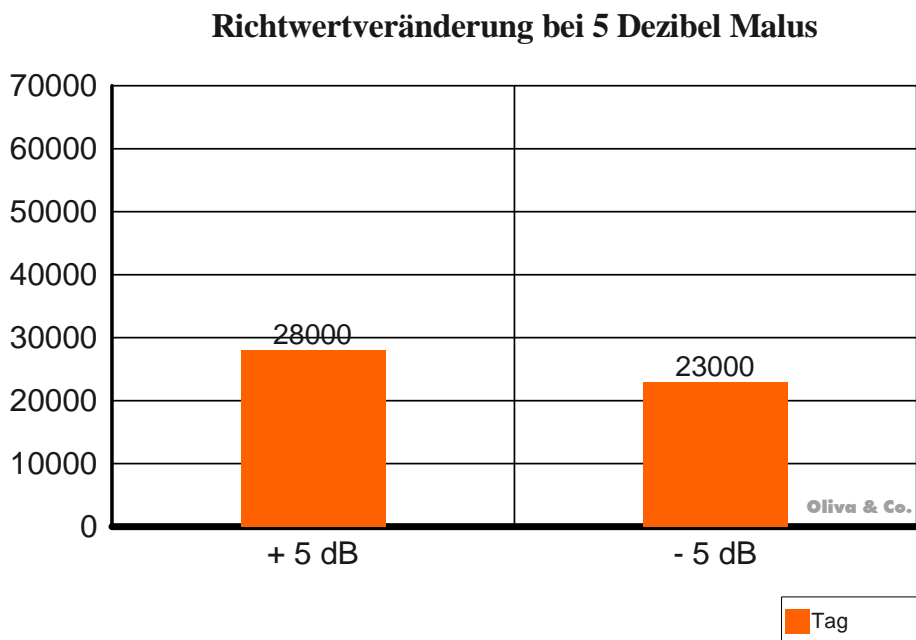
tung dieser Strecken zunehmen würde, ist auch mit grösseren Versionen desselben Typs oder mit grösseren Flugzeugtypen zu rechnen. Das sind alles Hinweise dafür, dass bis zum Jahr 2010 und auch ein paar Jahre darüber hinaus keine modernisierungsbedingte Abnahme des ‚ZFI‘ erwartet werden darf. Diese Aussagen gelten bei sonst gleichen Randbedingungen wie heute.

Fazit: Die Modernisierungsschritte für Flugzeugtypen ab 2006 bis 2010 werden als verlangsamt eingestuft. Also wird die zum Einsatz gelangende Flugzeugtypenzusammensetzung im Jahr 2010 eher eine Zunahme im ‚ZFI‘ Wert bewirken.

4.7 Veränderung des Richtwertes bei 5 Dezibel Malus

Der Malus von 5 Dezibel bezieht sich auf die Flugbewegungen zwischen 06 und 07 Uhr sowie zwischen 21 und 22 Uhr. Im Muster mit 250'000 Flugbewegungen pro Jahr, der Routenstruktur von 2006 und der Flugzeugtypenzusammensetzung von 2006 ist dieser Malus enthalten, das für den Tag 28'000 ‚ZFI‘ Punkte aufweist. Der Malus von 5 Dezibel führt zu einer Erhöhung des ‚ZFI‘ von 23'000 ‚ZFI‘ Punkte auf 28'000 oder zu einer Erhöhung um 21 Prozent. Das zeigt die Abbildung 13.

Abbildung 13: Richtwertveränderung bei 5 Dezibel Malus



Fazit: Die Veränderung des Richtwertes ist von der Anzahl der Flugbewegungen in der Zeit zwischen 06 Uhr und 07 Uhr sowie zwischen 21 Uhr und 22 Uhr abhängig. Deshalb wird hier die Differenz im Rahmen des 16-Stunden-Tages bestimmt. Unter den hier gewählten Annahmen würde der ‚ZFI‘ ohne Malus um 5'000 Punkte tiefer liegen. Die Einführung des Malus erhöht die ‚ZFI‘ Punkte um 21 Prozent.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick auf eine Alternative

5.1 Schlussfolgerung

Das von der Regierung unterbreitete Modell eines „Zürcher Fluglärm-Index“ ist in wesentlichen Gesichtspunkten unvollständig, einerseits gibt es den flughafennahen Siedlungen weniger Gewicht als den fern gelegenen und andererseits zählen die zu erwägenden Massnahmen nicht zum integralen Bestandteil der Wirkungsmechanismen des Modells. Wirkungsfaktoren, die nicht einen Bezug zum Luftverkehr haben, zeigen einen zu grossen Effekt auf die Variation des ‚ZFI‘, namentlich die Bevölkerungsentwicklung. Der ‚ZFI‘ ist nicht vom Ziel her entwickelt worden, für die heute bestehende Diskussion des Fluglärms eine stringente Lösung anzubieten. Er berücksichtigt auch nicht die durch die Internationale Zivilluftfahrtsorganisation (ICAO) eingeleiteten und ebenfalls im Europäischen Raum umgesetzten Bestrebungen zur Lärminderung, insbesondere das Konzept des „Ausgewogenen Ansatzes“ findet keine Beachtung.

Überdies ist das Konzept des ‚ZFI‘ nicht direkt in das Konzept der Lärmschutz-Verordnung integrierbar. Ein solches Konzept soll hier dargelegt werden. Es dient dem Ziel, die Lärmschutz-Verordnung in einer Weise umzusetzen, so dass damit die Anzahl der Personen, die vom Fluglärm stark betroffen sind, reduziert wird, dass die lokalen Bedürfnisse umgesetzt werden und dass die Luftverkehrsgesellschaften ihre Chance darin sehen, durch die Aufrechterhaltung einer möglichst modernen Flotte zur Lärminderung beitragen zu können.

5.2 Ein Konzept zur Lärminderung

Gesucht ist ein Konzept zur Lärminderung, das von vorher definierten Massnahmen aus entwickelt wird. Wünschenswert ist, dass solche Massnahmen schon einen Teil der Wirkungsmechanismen darstellen. Die Massnahmen sollten darauf abzielen, dass die beschallte Fläche und die Anzahl der betroffenen Personen vermindert werden kann.

Um solche Vorstellungen umsetzen zu können, hat die 33. Vollversammlung der ICAO im Jahr 2001 den Beschluss gefasst, den Fluglärmenschutz mit dem Konzept des „Ausgewogenen Ansatzes“ („Balanced Approach“) voranzutreiben. Der „Ausgewogene Ansatz“ bei der Bekämpfung von Fluglärm umfasst vier Hauptelemente und erfordert eine sorgfältige Prüfung von verschiedenen Lärminderungsmöglichkeiten, einschliesslich der Reduzierung des Fluglärms an der Quelle, Massnahmen zur Flächennutzungsplanung und deren Verwaltung, lärmindernde Betriebsverfahren sowie Betriebsbeschränkungen, unbeschadet der einschlägigen rechtlichen Pflichten, bestehenden Vereinbarungen, geltenden Gesetze und etablierten Strategien. Dieser Ansatz ist auch in den Bestrebungen der Europäischen Union zum Lärmschutz ein wesentlicher Bezugspunkt.

Das vorgeschlagene Konzept der Lärmbegrenzung umfasst drei Schwerpunkte:

- Ein Lärmquoten-Budget für den Betrieb des Flughafens.
- Eine fixe Fläche über 60 LAeq bzw. 57 LAeq, die nicht überschritten werden soll.
- Eine fixe Anzahl Personen mit fluglärmbedingter starker Störung innerhalb der fixierten Flächen.

5.3 Die drei Schwerpunkte

Ein Konzept der Lärmbegrenzung muss auch auf die Lärmwahrnehmung ausgerichtet sein. Die Wahrnehmung und Bewertung des Fluglärms hängt von verschiedenen Faktoren ab, so vom Flugzeugtyp, vom Start- bzw. Landegewicht, vom Flugverfahren, von den Wetterverhältnissen etc.

Ein solches Konzept stellt die Anwendung von Lärmquoten, die einzelnen Flugzeugtypen für ihr lärmbezogenes Verhalten zugewiesen werden, ins Zentrum. Die Quoten-Punkte werden für das Verhalten beim Start und der Landung zugewiesen, lautere Flugzeuge erhalten mehr Punkte. Die Punkte werden durch Schallmessung erhoben, die bei der Zertifizierung der Flugzeuge durchgeführt werden. Diese Messergebnisse korrelieren hoch mit der aktuellen Störwirkung.

Auf diesem Weg lässt sich für einen Flughafen ein *Lärmquoten-Budget* erstellen. Ein solches Budget stellt die Summe des „Lärms“ dar, die einem Flughafen für den Flugbetrieb bei An- und Abflügen zur Verfügung steht; lautere Flugzeuge verbrauchen mehr Lärmquotenpunkte als weniger lautere Flugzeuge. Als Ergänzung zum Lärmquoten-Budget soll die Schallbelastung durch den Luftverkehr anhand der Schallkonturen erfasst werden. Die Schallkonturen werden anhand von Modellen zur Berechnung der Schallausbreitung des Luftverkehrs bestimmt. Im hier diskutierten Vorschlag geht es jedoch nicht einfach nur darum, die Schallkonturen zu bestimmen, so wie es in üblicher Weise getan wird, sondern es geht vielmehr darum, die Schallbelastung mit Bezug auf eine vorgängig festgelegte Referenzkurve und deren Referenzfläche zu erfassen. Nebst dem genannten Lärmquoten-Budget soll dem Flughafen damit auch eine *Schallbelastungsfläche* zur Verfügung gestellt werden, die nicht überschritten werden soll.

Würden jedoch nur das Konzept des „Lärmquoten-Budgets“ und der „Schallbelastungsfläche“ umgesetzt, so ist dieses Modell aus der Sicht der Betroffenen noch zu wenig dynamisch. Gesucht wird ein System der Belastungsminderung, das sich quasi selbst reguliert. Damit das System dynamischer wird, soll als drittes Element unseres Vorschlages die Schallbelastungsfläche mit der darin enthaltenen absoluten Anzahl von Personen verknüpft werden, die als „fluglärmbedingt stark gestört“ bezeichnet werden können. Damit wird das System mit dem Konzept der *starken Störung* ergänzt. Als „dynamisch“ kann der Ansatz deshalb bezeichnet werden, weil auch bei konstanter Fläche ein Druck dahingehend besteht, die Anzahl der belasteten Personen zu reduzieren.

5.4 Der Bezug zur Lärmschutz-Verordnung

Nun stellt sich die Frage, welche Schallbelastungskonturen als Bezugsgrösse verwendet werden sollen. Bei der Beantwortung dieser Frage ist auch die aktuelle Rechtsgrundlage, wie sie mit der Lärmschutz-Verordnung vorliegt, zu berücksichtigen. Für die Empfindlichkeitsstufe ES II (Wohnzone) ist der Immissionsgrenzwert bei 60 LAeq und der Planungswert bei 57 LAeq festgelegt worden. Mit dem hier diskutierten Vorschlag soll dazu beigetragen werden, dass die Lärmschutz-Verordnung effizient umgesetzt werden kann. In diesem Sinne sollen die Fläche dieser beiden Schallbelastungskonturen als Bezugsgrössen verwendet werden. Die eine zur Bestimmung der Erheblichkeit der Störung, die andere zur Beurteilung der Schallbelastung mit Bezug auf das Vorsorgeprinzip.

5.5 Skizze der Umsetzung für den Flughafen Zürich

Im Sinne des „Ausgewogenen Ansatzes“ soll im Folgenden das Massnahmenpaket beschrieben werden: Massnahmen an der Schallquelle reichen von der Limitierung von Flugbewegungen bis zum Ersatz von Flugzeugtypen durch modernere. Massnahmen im Ausbreitungsbereich des Schalls reichen von Lärm begrenzenden Pistenbenutzungskonzepten über Lärm begrenzenden An- und Abflugverfahren bis zur Lärm begrenzende Routenwahl. Massnahmen im Immissionsbereich reichen von Isolationsmassnahmen bis zur Landnutzungsplanung. Solche Massnahmen sind jedoch nur dann wirkungsvoll, wenn sie die Struktur des Luftverkehrs ändern und wenn sie die Stimuli so setzen, dass der Strukturwandel, gemäss dem Verursacherprinzip, durch Innovationen seitens der Luftverkehrsindustrie erzeugt wird.

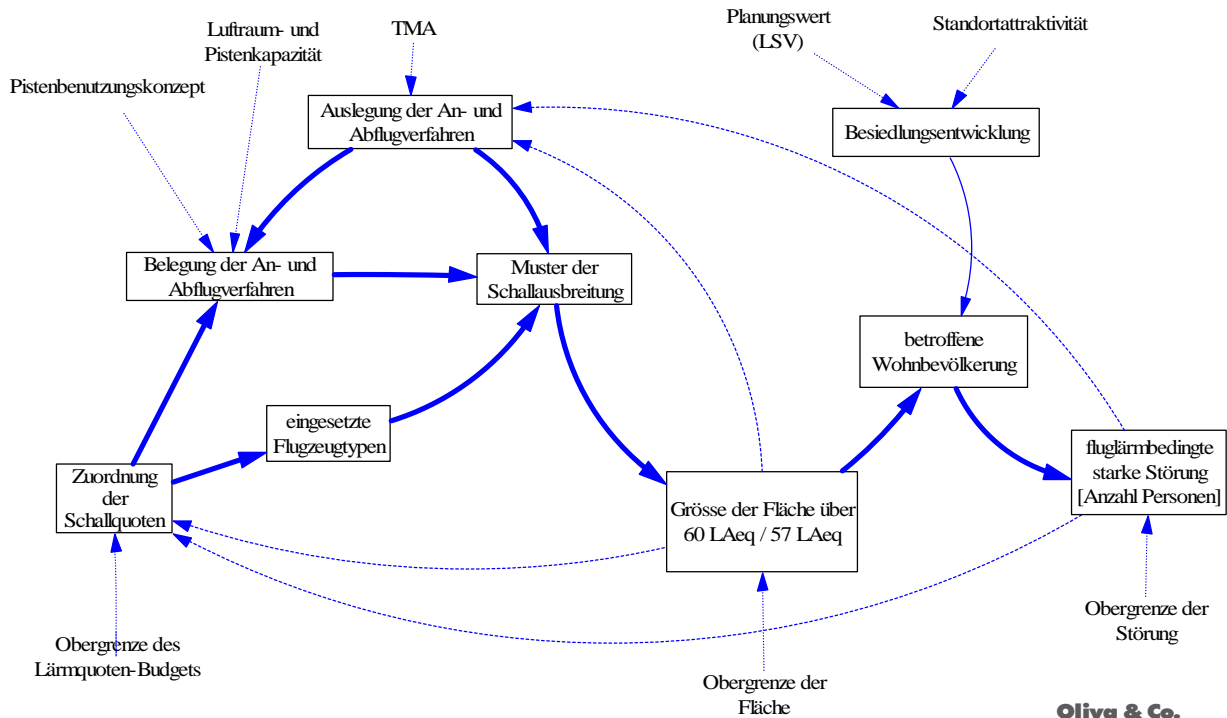
Die Entwicklung des Luftverkehrs in den vergangenen zehn Jahren auf dem Flughafen Zürich lässt sich anhand der Auswirkung der Veränderung der Flugzeugtypenzusammensetzung auf die Anzahl Personen mit fluglärmbedingter starker Störung beobachten. Um solche Auswirkungen direkt anzustossen, kann für den Verkehr von und nach dem Flughafen Zürich ein Lärmquoten-Budget für Flugzeugtypen und Zeitfenster festgelegt werden. Dieses Lärmquoten-Budget dient der Steuerung der Belegung der An- und Abflugverfahren und die Häufigkeit der eingesetzten Flugzeugtypen.

Der Luftverkehr kann sich im Rahmen der fixierten Obergrenze des Schallquoten-Budgets, der Obergrenze der Fläche und der Obergrenze der Störung entwickeln. Werden die Obergrenzen erreicht, diejenige des Lärmquoten-Budgets, der Fläche oder diejenige der Störung, so müssen Massnahmen in Form von Rückkoppelungen auf die Grundpfeiler des Systems getroffen werden. Solche Massnahmen zielen auf die Auslegung der An- und Abflugverfahren einerseits oder (über die Schallquoten) auf die Belegung der An- und Abflugrouten bzw. der Auswahl der eingesetzten Flugzeugtypen. Wird die Flächenobergrenze erreicht, stagniert entweder die Flugbewegungszahl oder es müssen modernere Flugzeugtypen im Rahmen der Zuordnungsregel der Schallquoten und unter der Voraussetzung der Luftraum- und Pistenkapazität gewählt werden. Damit setzt unter den Luftverkehrsgesellschaften ein Wettbewerb um Start- und Lan-

demöglichkeiten ein. Die Belegung der An- und Abflugverfahren sind so zu wählen, dass in der Summe die Anzahl der Personen vermindert wird, die eine fluglärmbedingte starke Störung erfahren.

Das soeben skizzierte System zur Verminderung des Fluglärms wird in Abbildung 14 veranschaulicht, indem die einzelnen Bezüge und auch deren Rahmenbedingungen dargelegt werden.

Abbildung 14: Die Umsetzung des Konzeptes des "Ausgewogenen Ansatzes"



Die Lärminderung setzt ihre Massnahmen unmittelbar im *Nahbereich* des Flughafens an, d.h. über 60 LAeq bzw. 57 LAeq, d.h. Gemeinden, welche im Bereich über 57 LAeq liegen erfahren die Massnahmen unmittelbar.

Massnahmen zur Begrenzung des Lärms an der *Quelle* sind eingeschlossen. Die Luftverkehrsgesellschaften erfahren einen Nutzen ihrer Flottenerneuerung, indem sie dadurch das Lärmquoten-Budget weniger belasten. Voraussetzung hierfür ist die Aufteilung des Lärmquoten-Budgets auf die Luftverkehrsgesellschaften.

Massnahmen zur Begrenzung des Lärms im *Ausbreitungsbereich* sind eingeschlossen. Die Verlagerung von Routen (An- und Abflugverfahren) auf weniger stark besiedelte Gebiete führt zur Reduktion der Anzahl belasteter Personen. Voraussetzung ist hier die Aufrechterhaltung eines sicheren, effizienten, wirtschaftlichen und nachhaltigen Luftverkehrs.

Massnahmen zur Begrenzung des Lärms im *Immissionsbereich* sind eingeschlossen. Die Reduktion der Anzahl belasteter Personen erfolgt durch den Einsatz modernerer Flugzeugtypen und durch die Verlagerung der Beschallungsfläche.

Die Massnahmen werden nicht erst dann festgelegt, wenn bestimmte Schwellen überschritten sind, sondern wirken permanent, weil der Ansatz aus einem *Mechanismus von Massnahmen* besteht.

Der *Nutzen der Flottenerneuerung* wird zu gleichen Anteilen der Bevölkerung und der Luftfahrt weiter gegeben, indem "leisere" Flugzeuge mehr Bewegungen zulassen aber gleichzeitig die Flächen konstant gehalten und die Anzahl der Betroffenen reduziert wird.

5.6 Der Nutzen für die Stadt Zürich

Das skizzierte Konzept zur Lärminderung ist aus der Perspektive der gesamten Region formuliert. Wie für jede Gemeinde, bringt es auch der Stadt Zürich Vorteile.

- Wo auf dem Boden der Stadt Zürich die Schallbelastung 60 LAeq bzw. 57 LAeq erreicht und überschreitet, soll die Fläche nicht mehr weiter ansteigen, sondern sogar abnehmen. Diese Ausgangslage schafft Planungssicherheit.
- Die Anzahl der durch den Fluglärm betroffenen Personen soll nicht weiter zunehmen, sondern sogar abnehmen. Diese Tatsache begrenzt das Risiko der Lärmbelastung für die Beeinträchtigung von Gesundheit und Wohlbefinden der Bevölkerung.

5.7 Ausarbeitung und Aufwand einer Alternativen

Zunächst ist zu prüfen, in welcher Form die Alternative rechtlich verankert werden soll, also beispielsweise im kantonalen Flughafengesetz oder im Betriebsreglement für den Flughafen Zürich.

Daraufhin sind die entsprechenden Verfahrenswege festzulegen.

Der Aufwand seitens der Luftverkehrsforschung besteht in der Festlegung des Lärmquoten-Budgets, der Bestimmung der Obergrenze der Flächen mit 60 LAeq und 57 LAeq, sowie in der Bestimmung der Obergrenze der belasteten Personen. Diese Fragen sollten anhand von Szenarienvergleichen beantwortet werden.

6 Literatur

Aeronautical Information Publication. AIP. Switzerland. Swiss Air Navigation Services Ltd.: Wangen 2006, im Nachtragsverfahren

AIC B 008/05: Anpassung Luftraumstruktur TMA und CTR Zürich 2006.

Basner, Mathias, Ullrich Isermann und Alexander Samel: Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept. Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 2005, 52, 4: 109-123.

Intraplan: Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose. München 2005.

Lärm-Bulletin: Dezember 2005. Flughafen Zürich AG: Zürich 2005.

Making Future Commercial Aircraft Quieter. Nasa Glenn Research Center: Ohio. Retrieved November 2006, www.nasa.gov/

Miedema, Henk M.E., and Catharina G.M. Oudshoorn, Annoyance from Transportation Noise. Environmental Health Perspectives, 2001, 109, 4: 409-416.

Oliva, Carl: Belastungen der Bevölkerung durch Flug- und Strassenlärm. Eine Lärmstudie am Beispiel der Flughäfen Genf und Zürich. Duncker & Humblot: Berlin 1998.

Smith, Michael J.T.: Aircraft Noise. New York: Cambridge University Press 1989.

Zürcher Fluglärm-Index (ZFI). Gegenvorschlag des Regierungsrates zur Initiative „für eine realistische Flughafenpolitik“. Regierungsrätin Rita Fuhrer, Vorsteherin der Volkswirtschaftsdirektion, 24. August 2006. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich: Zürich 2006.

Schröder, Martin: Die Novellierung des Fluglärmrechts. Anmerkung zu einem Gesetzesentwurf (BT-Drs. 17/508). In: „Lärmbekämpfung. Zeitschrift für Akustik, Schallschutz und Schwingungstechnik“, 2006, 1, S. 9-14

Tages-Anzeiger (TA): „Fuhrer: Das Volk versteht den Fluglärm-Index“, 7. Oktober 2006.

Zürcher Fluglärm-Index ZFI. Technische Umsetzung der Machbarkeitsstudie. EMPA, Materials Science & Technology: Dübendorf 2006