

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
www.empa.ch



Amt für Mobilität des Kantons Zürich
Abteilung Flughafen und Luftverkehr
Neumühlequai 10
Postfach
8090 Zürich

Flughafen Zürich

Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2021

Auftrags-Nr.: 5214.028868
Bericht-Nr.: 5214.028868 - 1
Auftraggeber: Amt für Mobilität des Kantons Zürich
Anzahl Seiten: 64
Beilagen: 6 Karten (A4-Format)

Die Verfasser: B. Schäffer
S. Schalcher
T. Ramseier
J. Meister

Status: genehmigter Bericht

Dübendorf, 28. Oktober 2022
Der Projektleiter:

Abteilung Akustik / Lärminderung
Der Abteilungsleiter:

Dr. Beat Schäffer

Dr. Jean Marc Wunderli

Anmerkung: Bericht und Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

Zusammenfassung

Am 16. März 2022 beauftragte das Amt für Mobilität des Kantons Zürich die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, den Zürcher Fluglärm-Index (*ZFI*) für das Jahr 2021 zu berechnen. Der *ZFI* ist eine Einzahlgrosse, namentlich die Summe der Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belastigten Personen (*HA*) und der Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen (*HSD*), welche ebenfalls separat ausgewiesen werden sollen. Zudem sollen die Gründe für die Veränderungen des *ZFI* zwischen dem Vorjahr 2020 und dem Berichtsjahr 2021 diskutiert werden (Empa-Bericht Nr. 5214.028868 - 2). Die Berechnungen werden dabei gemäss Vorschrift der *ZFI*-Verordnung (*ZFI-VO*) vom 7. Dezember 2011 durchgeführt.

Im Jahr 2021 liegt der *HA*-Wert bei 14'410 und der *HSD*-Wert bei 5'661 Personen. Der *ZFI* für das Jahr 2021 beträgt somit 20'071 Personen und unterschreitet den Richtwert von 47'000 sehr deutlich um 26'929 Personen. Ohne Berücksichtigung der passiven Massnahmen – d.h. gemäss Berechnungsvorschrift der Jahre vor 2011 – würde ein um 635 Personen höherer *HSD*-Wert und somit ein *ZFI*-Wert von 20'706 Personen resultieren.

Der *HA*-Wert des Jahres 2021 nahm gegenüber dem Vorjahr 2020 um 17% und der *HSD*-Wert um 77% zu (Vergleich der offiziellen Monitoringwerte). Insgesamt nahm der *ZFI*-Wert um 30% zu. Gegenüber dem Referenzzustand RZ sank der *ZFI* um 58%, wobei die *HA* um 57% und die *HSD* um 59% abnahmen. Die deutlichen Zunahmen im Berichtsjahr 2021 seit dem Vorjahr 2020 sind grossenteils auf die Zunahme der Flugbewegungen im Laufe der allmählichen Erholung von der COVID-19 Situation zurückzuführen, wie in Teilbericht 2 im Detail diskutiert wird (Bericht Nr. 5214.028868 - 2).

Inhalt

1.	Auftrag	4
2.	Umfang und Inhalt der Untersuchungen	5
2.1.	Überblick	5
2.2.	Inhaltliche Systemabgrenzung	5
2.3.	Zeitliche Systemabgrenzung	6
2.4.	Räumliche Systemabgrenzung	6
3.	Grundlagen und Methodik	8
3.1.	Berechnungsvorschrift für den <i>ZFI</i>	8
3.2.	Technische Umsetzung der <i>ZFI</i> -Berechnung	11
4.	Eingabedaten für die Belastungsrechnungen	18
4.1.	Belastungsrechnungen	18
4.2.	Bewegungszahlen und Pistenbelegung	19
5.	Ergebnisse	21
5.1.	Fluglärmbelastungen	21
5.2.	Quantifizierungen zum <i>ZFI</i>	22
6.	Unsicherheit der Berechnungen	28
7.	Abkürzungen, Datengrundlagen, Literatur	29
7.1.	Verwendete Abkürzungen	29
7.2.	Datengrundlagen	30
7.3.	Literatur	30
8.	Verzeichnisse	33
8.1.	Abbildungsverzeichnis	33
8.2.	Tabellenverzeichnis	34
8.3.	Kartenverzeichnis	35
9.	Anhang	36
9.1.	Untersuchungssperimeter für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021	36
9.2.	Jährliche Flugbewegungszahlen der Grossflugzeuge	43
9.3.	Pistenbelegung am Tag und in der Nacht	44
9.4.	<i>ZFI</i> aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen	46
9.5.	<i>HA</i> aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen	51
9.6.	<i>HSD</i> aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen	55
9.7.	<i>HA</i> , <i>HSD</i> und <i>ZFI</i> nach Stadtzürcher Quartieren	60
9.8.	<i>HA</i> , <i>HSD</i> und <i>ZFI</i> nach Himmelsrichtung (Quadranten)	63

1. Auftrag

Am 16. März 2022 beauftragte das Amt für Mobilität des Kantons Zürich die Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, den Zürcher Fluglärm-Index (*ZFI*) für das Jahr 2021 zu berechnen. Dabei sollen die für dieses Jahr nach wirtschaftlichem Wohnsitz¹ ermittelten Bevölkerungszahlen verwendet werden. Zu Vergleichszwecken soll der *ZFI* auch für den Referenzzustand (RZ), sowie für die Jahre 2005 bis 2020 ausgewiesen werden. Der RZ wurde vom Regierungsrat des Kantons Zürich definiert und bildet die Grundlage des heutigen *ZFI*-Richtwerts (vgl. *ZFI*-VO [59]). Als Eckwerte wurden die Bevölkerungs- und Bewegungszahlen des Jahres 2000 sowie der Flugbetrieb (Flottenmix und Routenbelegung) des Jahres 2004 festgelegt. Die Zeitreihe erlaubt es, die Entwicklung des *ZFI* resp. der *HA* und der *HSD* über einen längeren Zeitraum hinweg zu beurteilen. Die entsprechenden Werte wurden bereits in früheren Empa-Berichten [10] (RZ) sowie [11, 15, 20, 23, 25, 27, 31, 33, 35, 37, 40, 42, 46, 50] (2005 bis 2020) ausgewiesen. Die Berechnungen sollen nach dem in [7] dokumentierten Verfahren und unter Anwendung der aktuellen *ZFI*-VO von Dezember 2011 [59] mit Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen (PM) durchgeführt werden. Seit dem Berechnungsjahr 2013 werden dazu in der offiziellen Berechnung Gebäude mit PM, die den Anforderungen der SIA-Norm 181 [58] genügen, mit entsprechenden Einfügungsdämpfungen berücksichtigt. Die Berechnungen erfolgen gemäss der Methodik des 3. Teilberichts zum *ZFI* des Jahres 2012 [29], wobei seit dem Berechnungsjahr 2020 die Gebäude mit PM in vier (statt wie bis und mit Berechnungsjahr 2019 in drei) Altersklassen eingeteilt werden. Zusätzlich zum *ZFI* sollen auch seine beiden Bestandteile, die Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen (*HA*) und die Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen (*HSD*), separat ausgewiesen werden. Es wird eine Auflösung in einzelne Gemeinden für die Schweiz und Deutschland gewünscht. Zusätzlich werden der *ZFI* und seine Komponenten für die Stadtzürcher Quartiere und nach Himmelsrichtung in vier Quadranten aufgeschlüsselt. Nebst den gemeinde-, quartiers- und kantons-spezifischen Quantifizierungen soll der *ZFI* auch räumlich auf Karten dargestellt werden.

Des Weiteren sollen die Gründe für die Veränderungen des *ZFI* zwischen dem Vorjahr 2020 und dem Berichtsjahr 2021 diskutiert werden. Die Aussagen sollen dabei die qualitative Ebene verlassen. Dazu werden einzelne Komponenten, wie beispielsweise die Bevölkerung oder die Flugzeugflotte, auf den *ZFI* isoliert betrachtet und quantifiziert. Damit soll aufgezeigt werden, wie sensitiv der *ZFI* reagiert, wenn sich Elemente des Flugbetriebs oder die Bevölkerungsstruktur ändern. Die Sensitivitätsanalyse soll gemäss [12] durchgeführt werden, wobei seit dem Berichtsjahr 2012 zudem die Veränderung des *ZFI* aufgrund neuer passiver Schallschutzmassnahmen als zusätzliche Komponente betrachtet wird.

Die Resultate sollen in zwei technischen Berichten zuhanden des Auftraggebers dokumentiert werden. Der vorliegende erste Teilbericht dokumentiert den *ZFI* resp. dessen Komponenten *HA* und *HSD* für das Jahr 2021 sowie für den RZ und die Jahre 2005 bis 2020. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in einigen Tabellen jedoch lediglich die Werte der letzten 10 Jahre (2012–2021) und des RZ aufgeführt. Die komplette Datenreihe ist in den Datengrundlagen der Empa einsehbar. Der zweite Teilbericht [52] dokumentiert die Sensitivitätsanalyse zwischen dem Berichtsjahr 2021 und dem Vorjahr 2020.

¹ Der wirtschaftliche Wohnsitz einer Person liegt in derjenigen Gemeinde, deren Infrastruktur sie am häufigsten beansprucht, unabhängig davon, wo die Papiere der Person hinterlegt sind.

2. Umfang und Inhalt der Untersuchungen

2.1. Überblick

Der *ZFI* ist eine Einzahlgrösse, die sich aus den *HA* und den *HSD* (Definitionen siehe unten) zusammensetzt. Die *HA* werden direkt mittels einer Belastungs-Wirkungsbeziehung [56] und die *HSD* über die Anzahl durch Fluglärm induzierte zusätzliche Aufwachreaktionen (*AWR*) ermittelt [3, 4]. Der Berechnungsablauf für den *ZFI* ist detailliert in [7] dokumentiert.

Für die Berechnung des *ZFI* des Jahres 2021 wird eine bestehende Belastungsrechnung verwendet, die im Rahmen des jährlichen Fluglärmnachweises für den Flughafen Zürich im Auftrag der Flughafen Zürich AG von der Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, durchgeführt wurde (vgl. Kap. 4.1). Die für die Berechnungen benötigten Bevölkerungsdaten des Jahres 2021 werden der Empa in elektronischer Form zur Verfügung gestellt (vgl. Kap. 3.2.5).

Zusätzlich zur obigen Berechnung werden die Gründe der Veränderungen des *ZFI* vom Berichtsjahr zum Vorjahr untersucht. Diese Untersuchungen werden im zweiten Teilbericht dokumentiert [52].

2.2. Inhaltliche Systemabgrenzung

Bei der Berechnung des *ZFI* wird strikt nach Tag und Nacht unterschieden. Dabei kommen die in der Lärmschutz-Verordnung LSV [55] aufgeführten Abgrenzungen zur Anwendung (vgl. Kap. 2.3). Für den Tag (06–22 h) wird nur die Belästigung im Wachzustand bestimmt und für die Nacht (22–06 h) nur die Schlafstörung. Eine allfällige Schlafstörung in der Zeit von 06–22 h sowie eine starke Belästigung im Wachzustand von 22–06 h bleiben unberücksichtigt. Schlafstörung und Belästigung werden mittels folgender Indizes beschrieben:

HA **Highly Annoyed:** Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag (06–22 h) stark belästigten Personen. Der Index *HA* wird nur für den Tag berechnet.

HSD **Highly Sleep Disturbed:** Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht (22–06 h) stark gestörten Personen. Der Index *HSD* wird nur für die Nacht berechnet.

ZFI **Zürcher Fluglärm-Index:** Anzahl der durch Fluglärm des Flughafens Zürich stark beeinträchtigten Personen resp. Anzahl Personen, die sich durch Fluglärm stark belästigt und/oder im Schlaf stark gestört fühlen. Der *ZFI* berechnet sich aus der Summe der Teilindizes *HA* und *HSD*. Es ist daher möglich, dass eine Person sowohl tagsüber als auch nachts in den *ZFI* eingeht.

Die *HA* und *HSD* ergeben sich durch Einsetzen der Fluglärmbelastungen in die jeweilige Belastungs-Wirkungsbeziehung (vgl. Kap. 3.1) und durch Multiplikation der daraus resultierenden prozentualen Anteile für starke Belästigung resp. starke Schlafstörung mit der Wohnbevölkerung. Die Daten der Wohnbevölkerung stehen in einer Auflösung von 100 m × 100 m (Hektarraster) zur Verfügung. Es werden die Daten des jeweiligen Berechnungsjahres verwendet. Für die Ermittlung der *HSD* muss in einem Zwischenschritt die Anzahl der durch Fluglärm induzierten zusätzlichen *AWR* während der Nacht (22–06 h) ermittelt und in den prozentualen Anteil für starke Schlafstörung umgerechnet werden.

Bei der Berechnung des *ZFI* werden nur die Bewegungen der Grossflugzeuge berücksichtigt. Als Grossflugzeuge gelten nach LSV Anhang 5 [55] Luftfahrzeuge mit einem höchstzulässigen Abfluggewicht von

mehr als 8'618 kg. Die Kleinluftfahrzeuge werden nicht berücksichtigt, da sie nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtbelastung beim Flughafen Zürich und damit auf den *ZFI* haben.

Bei den Fluglärmbelastungen sowie den daraus sich ergebenden *HA*, *HSD* und *ZFI* handelt es sich um Jahresmittelwerte.

2.3. Zeitliche Systemabgrenzung

In der vorliegenden Untersuchung werden die *HA*, die *HSD* und der *ZFI* für das Jahr 2021 ermittelt und zusammen mit den Werten des RZ und der Jahre 2005 bis 2020 ausgewiesen. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über die Zeitperioden, die für die vorliegende Untersuchung massgebend sind (vgl. Kap. 3.1 und 3.2).

Tabelle 2-1 Zeitperioden

Bezeichnung	Abkürzung	Zeitperiode	Beurteilungszeit
Tag ^a	T	06–22 h	16 h
Erste Tagesstunde	T1	06–07 h	1 h
Letzte Tagesstunde	T16	21–22 h	1 h
Übrige Tagesstunden	T2-T15	07–21 h	14 h
Nacht	N	22–06 h	8 h
Erste Nachtstunde ^a	N1	22–23 h	1 h
Zweite Nachtstunde ^a	N2	23–05 h	1 h
Letzte Nachtstunde ^a	N3	05–06 h	1 h

^a Definition nach Lärmschutz-Verordnung (LSV [55]).

2.4. Räumliche Systemabgrenzung

Tabelle 2-2 weist die Berechnungsausschnitte und die Maschenweite des Hektarrasters aus, welche für die Belastungsrechnungen und somit auch für den *ZFI* des RZ (Verwendung der sog. *Footprints* (Kap. 4.1) des Jahres 2004 [5]), der Jahre 2005 bis 2020 [8, 9, 13, 16, 19, 24, 26, 30, 32, 34, 36, 38, 41, 43, 47, 48] sowie des Jahres 2021 [51] verwendet wurden.

Der Berechnungsausschnitt des RZ und der Jahre 2005 bis 2010 ist identisch. Für die Jahre 2011 bis 2015 wurde der Ausschnitt deutlich vergrössert. Im Jahr 2016 wurde der Berechnungsausschnitt erneut vergrössert sowie die Maschenweite verfeinert (Details siehe [38]).

Tabelle 2-2 Berechnungsausschnitte

Jahr/Zustand	Schweizer Landeskoordinaten (LV03)		Ausdehnung	Maschenweite
	Ecke Südwest	Ecke Nordost		
RZ, 2005–2010	650'000 / 230'000	723'000 / 282'000	West-Ost: 73 km Nord-Süd: 52 km	250 m × 250 m
2011–2015	644'000 / 216'000	732'000 / 300'000	West-Ost: 88 km Nord-Süd: 84 km	250 m × 250 m
2016–2021	642'000 / 216'000	735'000 / 300'000	West-Ost: 93 km Nord-Süd: 84 km	150 m × 150 m

Um die Fluglärmbelastungsberechnung mit einer Maschenweite von $250\text{ m} \times 250\text{ m}$ bzw. $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ mit den Bevölkerungsdaten im Hektarraster (vgl. Kap. 3.2.5) zu verknüpfen, werden die Fluglärmbelastungswerte zwischen den Gitterpunkten linear auf das Hektarraster (Hektarpunkte) mit einer Maschenweite von $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ interpoliert.

Die *HA*, *HSD* und der *ZFI* werden nicht im gesamten Berechnungsausschnitt ausgewiesen, sondern nur innerhalb des jeweiligen Untersuchungsperimeters (UP). Dieser wird für die *HA* durch das Abbruchkriterium bei einer Tagesbelastung von 47 dB festgelegt, und für die *HSD* bei einer Nachtbelastung von 37 dB. Unterhalb dieser Belastungen werden somit deren Wirkungen auf die Bevölkerung (*HA*, *HSD*) auf Null gesetzt. Die Festlegung von Abbruchkriterien ist notwendig, damit der *ZFI* nicht zu träge auf Veränderungen reagiert.

3. Grundlagen und Methodik

3.1. Berechnungsvorschrift für den ZFI

Der Zürcher Fluglärm-Index *ZFI* berechnet sich durch Addition der *HA* und der *HSD*.

Formel 3-1 $ZFI = HA + HSD$

3.1.1. Bestimmung der *HA*-Komponente

Die *HA*-Komponente ergibt sich durch Überlagerung eines Belastungszustandes mit der Wohnbevölkerung unter Verwendung einer vorgegebenen Belastungs-Wirkungsbeziehung nach folgendem Prinzip: In den Hektarpunkten eines vorgegebenen Bodenrasters werden die akustischen Grössen sowie die Anzahl Personen bestimmt. Durch Einsetzen der akustischen Grössen in die Funktionsgleichung der Belastungs-Wirkungsbeziehung ergibt sich je Hektarpunkt *i* der Prozentsatz (oder die Wahrscheinlichkeit) für starke Belästigung (*%HA_i*). Wird dieser Prozentsatz mit der Anzahl Personen je Hektarpunkt (*N_{pop,i}*) multipliziert, so erhält man die räumliche Verteilung der *HA*, bezogen auf einen vorgegebenen Belastungszustand und eine vorgegebene Wohnbevölkerung. Werden alle Hektarpunktwerte aufsummiert, ergeben sich daraus die *HA*.

Formel 3-2 $HA = \sum_i N_{pop,i} \cdot \frac{\%HA_i}{100}$

HA Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen.

N_{pop,i} Einwohnerzahl der Hektare *i*.

%HA_i Prozentsatz der durch Fluglärm stark belästigten Personen am Hektarpunkt *i*.

Zur Bestimmung des Prozentsatzes für starke Belästigung *%HA* wird eine Belastungs-Wirkungsbeziehung von Miedema und Oudshoorn verwendet [56] (vgl. Abbildung 3-1(a)). Das für die Ermittlung der *%HA* ursprünglich verwendete Belastungsmass *Day-Night-Level* wird dabei mit einem tagesrandstundengewichteten 16h-Mittelungspegel (*Leq*₁₆*) ersetzt (Details vgl. [7]). Dieser wird ermittelt, indem die Belastungen der ersten (06–07 h) und letzten Tagesstunde (21–22 h) je mit einem Malus von 5 dB versehen werden (Kap. 3.2.1). Das Abbruchkriterium, bei dem die *%HA* auf Null gesetzt wird, wird bei einem *Leq*₁₆* von 47 dB festgelegt (UP für die *HA*, vgl. Kap. 2.4). Somit ergibt sich folgende Funktionsgleichung zur Berechnung der *%HA* am Hektarpunkt *i*:

Formel 3-3 $\%HA_i = -1.395 \cdot 10^{-4} \cdot (Leq^*_{16,i} - 42)^3 + 4.081 \cdot 10^{-2} \cdot (Leq^*_{16,i} - 42)^2 + 0.342 \cdot (Leq^*_{16,i} - 42) \leq 100\%$ für $Leq^*_{16,i} \geq 47 \text{ dB}$

$\%HA_i = 0$ für $Leq^*_{16,i} < 47 \text{ dB}$

%HA_i Prozentsatz der durch Fluglärm stark belästigten Personen am Hektarpunkt *i*.

*Leq*_{16,i}* Tagesrandstundengewichteter 16h-Mittelungspegel am Hektarpunkt *i*.

3.1.2. Bestimmung der *HSD*-Komponente

Die *HSD*-Komponente wird analog zu den *HA* durch Multiplikation des Prozentsatzes für starke Schlafstörung (*%HSD*) mit der Anzahl Personen je Hektarpunkt ($N_{pop,i}$) berechnet.

Formel 3-4
$$HSD = \sum_i N_{pop,i} \cdot \frac{\%HSD_i}{100}$$

HSD Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen.

$N_{pop,i}$ Einwohnerzahl der Hektare *i*.

%HSD_i Prozentsatz der durch Fluglärm im Schlaf stark gestörten Personen am Hektarpunkt *i*.

Der Prozentsatz *%HSD* wird mittels der Anzahl durch den Fluglärm induzierte zusätzliche *AWR* ermittelt. Eine *AWR* ist eine Schlaftiefenänderung, welche anhand der Hirnströme (EEG) festgestellt wird. Sie führt nur selten zum bewussten Erwachen. Pro Nacht treten ohne Lärmeinwirkung ca. 24 spontane *AWR* auf [4]. Zur Umrechnung der durch Fluglärm induzierten zusätzlichen *AWR* in die *%HSD* wird ein Gewichtungsfaktor für starke Schlafstörung (*GsS*) eingesetzt [54]. Gemäss Berechnungsvorschrift für den *ZFI* [7] wird *GsS* = 26 gesetzt. Das Abbruchkriterium, bei dem die *%HSD* auf Null gesetzt wird, wird durch den 8h-Mittelungspegel der Nacht (Leq_N) von 37 dB festgelegt (UP für die *HSD*, vgl. Kap. 2.4).

Formel 3-5
$$\%HSD_i = GsS \cdot AWR_i \leq 100\% \quad \text{für } Leq_{N,i} \geq 37\text{dB}$$

$$\%HSD_i = 0 \quad \text{für } Leq_{N,i} < 37\text{dB}$$

%HSD_i Prozentsatz der durch den Fluglärm in ihrem Schlaf stark gestörten Personen am Hektarpunkt *i*.

GsS Gewichtungsfaktor für starke Schlafstörung, wobei *GsS* = 26.

AWR_i Anzahl durch Fluglärm induzierte zusätzliche Aufwachreaktionen am Hektarpunkt *i* während der Nacht (22–06 h).

$Leq_{N,i}$ 8h-Mittelungspegel der Nacht (22–06 h) am Hektarpunkt *i*.

Die Anzahl *AWR* wird nach einer Formel aus der Schlafstudie des Instituts für Luft- und Raumfahrtmedizin am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) bestimmt [4], welche einen funktionalen Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit des Aufwachens² und dem maximalen Schallpegel am Ohr des Schlafers postuliert. Dieser Zusammenhang wurde sowohl im Labor als auch im Feld ermittelt. Für die Ermittlung der *AWR* in Formel 3-5 wird die Formel der Feldstudie verwendet. Die Funktionen gelten für Maximalpegelwerte am Ohr des Schlafers. Mit den Fluglärmrechnungen (Kap. 4.1) werden jedoch die Aussenpegel ermittelt. Der Übergang von aussen nach innen wird mit einer Einfügungsdämpfung *D* berücksichtigt (Differenz zwischen Aussen- und Innenpegel), wobei gemäss aktueller *ZFI-VO* von Dezember 2011 [59] der Effekt passiver Schallschutzmassnahmen³ (PM) auf die *HSD* berücksichtigt wird. Dazu werden in den Berechnungen folgende Einfügungsdämpfungen eingesetzt: Für Gebäude mit PM, die gemäss erhöhten resp. aufgrund von Art. 32 Abs. 2 der LSV verschärften Anforderungen der *SIA-Norm 181* [58]

² Der Wechsel vom Schlaf- zum Wachzustand sowie der Wechsel von den Schlafstadien 4, 3 und 2 ins Schlafstadium 1 wird als Aufwachen interpretiert.

³ Unter passiven Schallschutzmassnahmen versteht man Ersatzmassnahmen beim Empfänger, wie Schallschutzfenster, Komfort- und Schalldämmlüftungen oder Fensterschliessmechanismen. Als aktive Schallschutzmassnahmen hingegen gelten Massnahmen an der Quelle und auf dem Ausbreitungspfad (z.B. leisere Triebwerke, lärmarme An- und Abflugverfahren). Letztere werden rechnerisch in den Lärmrechnungen berücksichtigt, erstere durch (rechnerische) Erhöhung der Einfügungsdämpfung bei der Ermittlung der *HSD*. Bis und mit dem Berechnungsjahr 2017 beinhalteten die PM Komfort- und Schalldämmlüfter, seit 2018 zusätzlich Fensterschliessmechanismen.

erstellt wurden, werden entsprechende Einfügungsdämpfungen verwendet (Details siehe Kap. 3.2.4), und für die übrigen Gebäude mit PM wird ein (geringerer) Wert von -25 dB eingesetzt. Für alle anderen Bauten (ohne PM) wird eine Einfügungsdämpfung von -15 dB verwendet (Wert für gekipptes Fenster [3]). Die Berechnungsformel für die AWR lautet:

Formel 3-6
$$AWR_i = \int H_i(L_{AS,max} + D) \cdot P_{AWR}(L_{AS,max} + D) dL_{AS,max}$$

mit
$$P_{AWR}(L_{AS,max} + D) = 1.894 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{AS,max} + D)^2 + 4.008 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{AS,max} + D) - 3.3243 \cdot 10^{-2}$$

- AWR_i Anzahl durch Fluglärm induzierte zusätzliche Aufwachreaktionen am Hektarpunkt i .
- H_i Häufigkeitsverteilung der Maximalpegel am Hektarpunkt i .
- $L_{AS,max}$ A-bewerteter Maximalpegel (Zeitkonstante *slow*).
- D Einfügungsdämpfung für den Übergang vom Aussen- zum Innenpegel: Für gekippte Fenster -15 dB; für Bauten mit passiven Schallschutzmassnahmen (PM) -25 dB; bei Bauten, die mit erhöhten resp. aufgrund von Art. 32 Abs. 2 der LSV verschärften Anforderungen der SIA-Norm 181 erstellt wurden, gelten die entsprechenden Werte.
- P_{AWR} Wahrscheinlichkeit einer zusätzlichen Aufwachreaktion durch ein Fluggeräusch mit dem Maximalpegel $L_{AS,max}$.

Im Gegensatz zur Bestimmung der HA, wo direkt mit dem Leq^*_{16} in Formel 3-3 der Prozentsatz der vom Fluglärm stark belästigten Personen berechnet werden kann, muss bei der Ermittlung der HSD zuerst die Einzelwirkung, d.h. der Effekt eines einzelnen Flugereignisses auf den Schlaf, bestimmt werden (Formel 3-6). Anschliessend kann die Gesamtwirkung resp. die Wahrscheinlichkeit für starke Schlafstörung durch Addition der Einzelwirkungen ermittelt werden (Formel 3-5; Details vgl. [7]). Abbildung 3-1(b) zeigt die Belastungs-Wirkungsbeziehung zur Bestimmung des Prozentsatzes der Personen, die durch den Fluglärm im Schlaf stark gestört werden, für einen, fünf, zehn und zwanzig Überflüge.

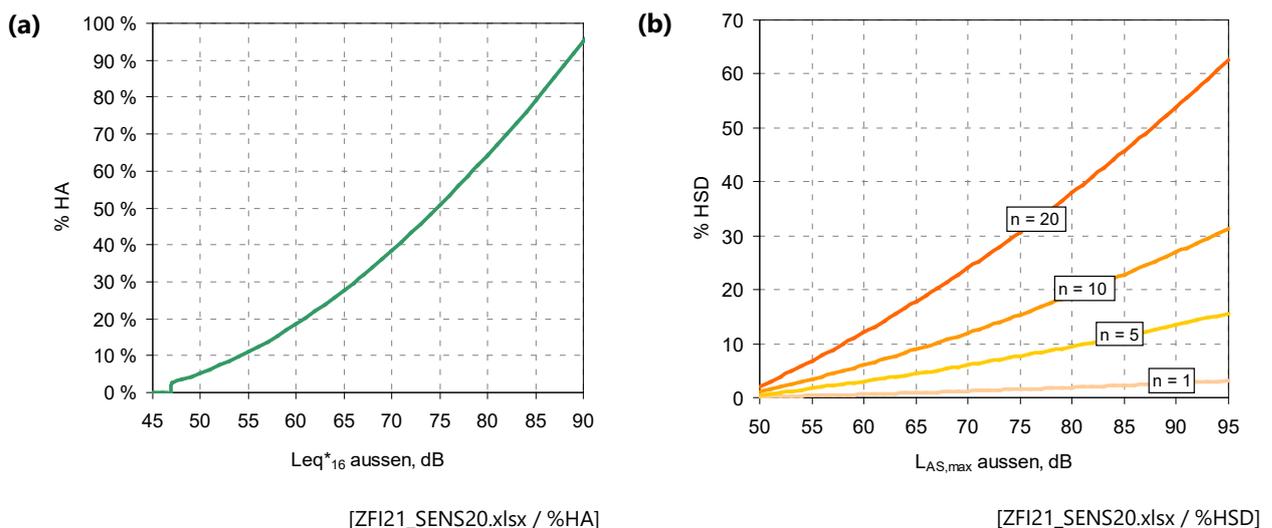


Abbildung 3-1 Belastungs-Wirkungsbeziehungen zur Bestimmung (a) des Prozentsatzes der durch Fluglärm am Tag (06–22 h) stark belästigten Personen (%HA), und (b) des Prozentsatzes der durch Fluglärm im Schlaf stark gestörten Personen (%HSD) für einen, fünf, zehn und zwanzig Überflüge.

3.2. Technische Umsetzung der ZFI-Berechnung

Im Folgenden wird die technische Umsetzung der ZFI-Berechnung für das Jahr 2021 erläutert (Details siehe [7]). Im Gegensatz zur Ermittlung des ZFI vom RZ und der Jahre 2005 bis 2010, wo für alle Gebäude eine Einfügungsdämpfung von –15 dB verwendet wurde, werden seit dem Berichtsjahr 2011 gemäss ZFI-VO vom Dezember 2011 [59] für Bauten mit PM höhere Einfügungsdämpfungen berücksichtigt (vgl. Kap. 3.1.2). Abgesehen von der berücksichtigten Einfügungsdämpfung sind die Berechnungen der Belastungsjahre 2011 bis 2021 jedoch identisch mit denjenigen für den RZ und die Jahre 2005 bis 2010.

3.2.1. Berechnen der Mittelungspegel

Eine kurze Erläuterung der zugrunde liegenden Fluglärm Berechnung findet sich in Kapitel 4.1. Der tagesrandstundengewichtete 16h-Mittelungspegel (Leq_{16}^*) wird gemäss Formel 3-7 aus den sechzehn 1h-Mittelungspegel des Tages (06–22 h) berechnet, welche für das Jahr 2021 bereits vorliegen [51]. Für die letzten Jahre inkl. 2021 wird der Leq_{T2-T15} (07–21 h) aus den *Footprints* (Definition: Kap. 4.1) für den Tag (06–22 h) und daraus zusammen mit Leq_{T1} und Leq_{T16} unter Berücksichtigung der Mali von 5 dB für T1 und T16 der Leq_{16}^* berechnet, was dasselbe Resultat liefert wie Formel 3-7.

Formel 3-7
$$Leq_{16}^* = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{16} \cdot \left(10^{0.1 \cdot (Leq_{T1} + 5)} + \sum_{i=T2}^{T15} 10^{0.1 \cdot Leq_i} + 10^{0.1 \cdot (Leq_{T16} + 5)} \right) \right)$$

Leq_{16}^* 16h-Mittelungspegel mit einem Malus von je 5 dB für die erste (T1) und letzte Tagesstunde (T16).

Leq_{T1} 1h-Mittelungspegel der ersten Tagesstunde (06–07 h).

Leq_i 1h-Mittelungspegel der Tagesstunde i .

T2 2. Tagesstunde (07–08 h).

T15 15. Tagesstunde (20–21 h).

Leq_{T16} 1h-Mittelungspegel der letzten Tagesstunde (21–22 h).

Zur Ermittlung des 8h-Mittelungspegel (Leq_N) für die Nacht (N) von 22–06 h werden gemäss Berechnungsvorschrift [7] die drei nach LSV ermittelten 1h-Mittelungspegel der Nacht energetisch addiert und über acht Stunden gemittelt (Formel 3-8). Für die Jahre 2007 bis 2021 wird aus den *Footprints* (Definition: Kap. 4.1) für die Nacht (22–06 h) direkt der Leq_N berechnet (vgl. Kap. 4.1), was dasselbe Resultat liefert wie Formel 3-8.

Formel 3-8
$$Leq_N = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{8} \cdot \left(\sum_{i=N1}^{N3} 10^{0.1 \cdot Leq_i} \right) \right)$$

Leq_N 8h-Mittelungspegel in der Nacht (22–06 h).

N Nacht (22–06 h).

N1 1. Nachtstunde (22–23 h).

N2 2. Nachtstunde (23–24 h).

N3 Letzte Nachtstunde (05–06 h).

Leq_i 1h-Mittelungspegel der Nachtstunde i .

3.2.2. Berechnen der Maximalpegelhäufigkeiten

In der Berechnung mit FLULA2 (Fluglärmrechnungsprogramm der Empa [21]; Kap. 4.1) wird standardmässig jeweils an vorgegebenen Gitterpunkten des Berechnungsausschnitts (vgl. Kap. 2.4) der energetisch gemittelte Maximalpegel pro Flugzeugtyp und Flugroute bestimmt. Dieser lässt sich als Erwartungswert einer Normalverteilung interpretieren, wobei die Standardabweichung der Verteilung gemäss [7] fix zu 2 dB angenommen wird. Mit den typen- und routenspezifischen Flugbewegungszahlen, welche sich aus den Bewegungslisten des Flughafens ergeben, erhält man auf diese Weise für jeden Gitterpunkt eine Vielzahl von (theoretischen) typen- und routenspezifischen Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen. Werden diese über sämtliche Flugzeugtypen und sämtliche Routen aufsummiert, erhält man die vollständige Maximalpegelhäufigkeitsverteilung H in Formel 3-6. Somit sind mit den bereits verfügbaren typen- und routenspezifischen Maximalpegeln die Maximalpegelverteilungen ohne zusätzliche Fluglärmrechnungen bestimmbar.

3.2.3. Berechnen der Anzahl Aufwachreaktionen

Die Anzahl AWR wird berechnet, indem pro Gitterpunkt des Berechnungsausschnitts die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen ermittelt und in Formel 3-6 eingesetzt werden. Formel 3-6 wird dabei so in FLULA2 implementiert, dass – anstatt die vollständigen Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen H_i einzusetzen – für sämtliche typen- und routenspezifischen Häufigkeitsverteilungen direkt die AWR berechnet und danach zu einer Gesamtzahl aufsummiert werden. Zur Bestimmung der AWR müssen sinnvolle Integrationsgrenzen gewählt werden, d.h. minimale und maximale zu berücksichtigende Maximalpegelwerte. Die untere Integrationsgrenze wird bei 32.6 dB, die obere bei 110.0 dB festgelegt (vgl. Formel 3-6: $P_{AWR} = 0$ für $L_{AS,max} + D = 32.6$ dB). Anschliessend müssen die AWR ins Hektarraster umgerechnet werden. Dazu wird zwischen den Gitterpunkten linear interpoliert.

3.2.4. Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen

Mit der ZFI-VO vom 7. Dezember 2011 [59] wird im ZFI seit der Berechnung zum ZFI 2011 [25] die Wirkung passiver Schallschutzmassnahmen (PM) mittels der Einfügungsdämpfung berücksichtigt (Formel 3-6). Hierbei beeinflussen solche Massnahmen nur die HSD , deren Ermittlung auf Innenpegel („am Ohr des Schlafers“) beruht, nicht aber die HA , welche mittels Aussenpegel ermittelt werden. Die ZFI-VO schreibt für gewöhnliche Bauten eine Einfügungsdämpfung von –15 dB, für „herkömmliche“ Bauten (s.u.) mit PM von –25 dB, und für Bauten, die mit erhöhten resp. aufgrund von Art. 32 Abs. 2 der LSV verschärften Anforderungen der SIA-Norm 181 [58] erstellt wurden, von entsprechender Höhe vor. Letztere können der sogenannten Standardschallpegeldifferenz D_e nach [58] für Wohnräume der Lärmempfindlichkeit „mittel“ gleichgesetzt werden [29]. In der Praxis sieht die Fachstelle Lärmschutz (FALS) des Kantons Zürich als Vollzugsbehörde hierbei je nach Beurteilungspegel L_r Standardschallpegeldifferenzen D_e zwischen 27 und 54 dB oder gar mehr vor [53]. Für die Berechnung des ZFI werden nur D_e -Werte bis 43 dB berücksichtigt, da die Anzahl Baugesuche mit D_e -Werten über 43 dB gering und die Schalldämmungen schwierig zu realisieren sind. Zudem wird so die Konsistenz zu den vergangenen ZFI -Berechnungen bewahrt, und die Rechnung stellt eine konservative Abschätzung dar. Die Grundannahme bei der Ermittlung der HSD ist somit, dass Personen in Bauten ohne passive Massnahmen bei offenem Fenster schlafen ($D = -15$ dB), in Bauten mit passiven Massnahmen jedoch bei geschlossenem Fenster ($D \leq -25$ dB).

Bis und mit Belastungsjahr 2011 konnten die Bauten nach SIA-Norm 181 nicht berücksichtigt werden, da die Angaben zu Gebäuden nach SIA-Norm 181 nicht verfügbar waren. Für das Berechnungsjahr 2012 hingegen konnten die entsprechenden Informationen für die Berechnungen aufbereitet werden. Das Amt für Mobilität (damals Amt für Verkehr) entschied sich, diese Daten nicht für die offizielle Berechnung des *ZFI* des Jahres 2012 zu verwenden, sondern zuerst eine zusätzliche Sensitivitätsanalyse durchzuführen [29]. Es zeigte sich, dass die Berücksichtigung der erhöhten Anforderungen der SIA-Norm ($D = -27$ dB ... -43 dB statt $D = -25$ dB) den rechnerisch ermittelten *ZFI*-Wert des Jahres 2012 um nur 76 Personen gesenkt hätte. Der Einfluss erhöhter Anforderungen auf den *ZFI* war also gering. (Auch für das Jahr 2021 ist der Einfluss sehr gering, mit einer Differenz von 164 Personen). Um die *ZFI*-VO [59] vollumfänglich umzusetzen, werden ab dem Berichtsjahr 2013 dennoch die Einfügungsdämpfungen gemäss erhöhter Anforderung nach SIA-Norm 181 für die offizielle Berechnung verwendet.

Die Zuordnung zu den Einfügungsdämpfungen erfolgt nach Gebäudeart und -alter (Details vgl. Kap. 3.2.5). Bis und mit dem Berechnungsjahr 2019 wurden dabei drei Altersklassen berücksichtigt, seit dem Berechnungsjahr 2020 vier Altersklassen (neu $D_{e,17}$, da seit dem 18.11.2016 eine neue Fluglärmbelastung (vBR12 [28]) für Baubewilligungen massgebend ist):

- Bauten ohne PM: $D = -15$ dB
- Bauten mit PM, bis und mit 31.12.2006 erstellt: $D = -25$ dB
- Bauten mit PM, zwischen 01.01.2007 und 31.12.2011 erstellt: $D = D_{e,07}$ (-27 dB ... -43 dB)
- Bauten mit PM, zwischen 01.01.2012 und 31.12.2016 erstellt: $D = D_{e,12}$ (-27 dB ... -43 dB)
- Bauten mit PM, ab dem 01.01.2017 erstellt: $D = D_{e,17}$ (-27 dB ... -43 dB)

(Man beachte, dass bis und mit dem Berechnungsjahr 2019 $D_{e,07}$ als $D_{e,alt}$ und $D_{e,12}$ als $D_{e,akt}$ bezeichnet wurden, und dass $D_{e,akt}$ alle Gebäude ab 01.01.2012 enthielt, auch die nach dem 01.01.2017 erstellten Gebäude, d.h. die aktuellen Gebäudeklassen $D_{e,12}$ und $D_{e,17}$.)

Bei der Ermittlung der *HSD* wird somit den Personen, abhängig von Gebäudeart und -alter, die entsprechende Einfügungsdämpfungen zugeordnet ($D = -15$ dB, $D = -25$ dB, $D = D_{e,07}$, $D = D_{e,12}$ oder $D = D_{e,17}$). In den Berechnungen werden nur die durch Fluglärm bestimmten Schallschutzanforderungen nach SIA-Norm 181 berücksichtigt, da diese die ganze Gebäudehülle betreffen. Die durch Strassen- und Eisenbahnlärm verursachten Anforderungen werden nicht berücksichtigt, da diese nur an betreffenden lärmexponierten Fassaden gelten, aber nicht an der gesamten Gebäudehülle, welche für den Fluglärm massgebend ist. In den Berechnungen werden die Anforderungen nach SIA-Norm 181 zudem nur für Gebäude im Kanton Zürich berücksichtigt, da der Empa für die anderen Kantone entsprechende Informationen zu den Gebäuden nicht vorliegen. Allerdings dürfte dies die Resultate nur geringfügig beeinflussen, da der Kanton Zürich den grössten Anteil am *ZFI* ausmacht (2021: 97.8% der *HSD*). Die Berechnungen für Personen ausserhalb des Kantons Zürich werden daher ausschliesslich mit $D = -15$ dB durchgeführt.

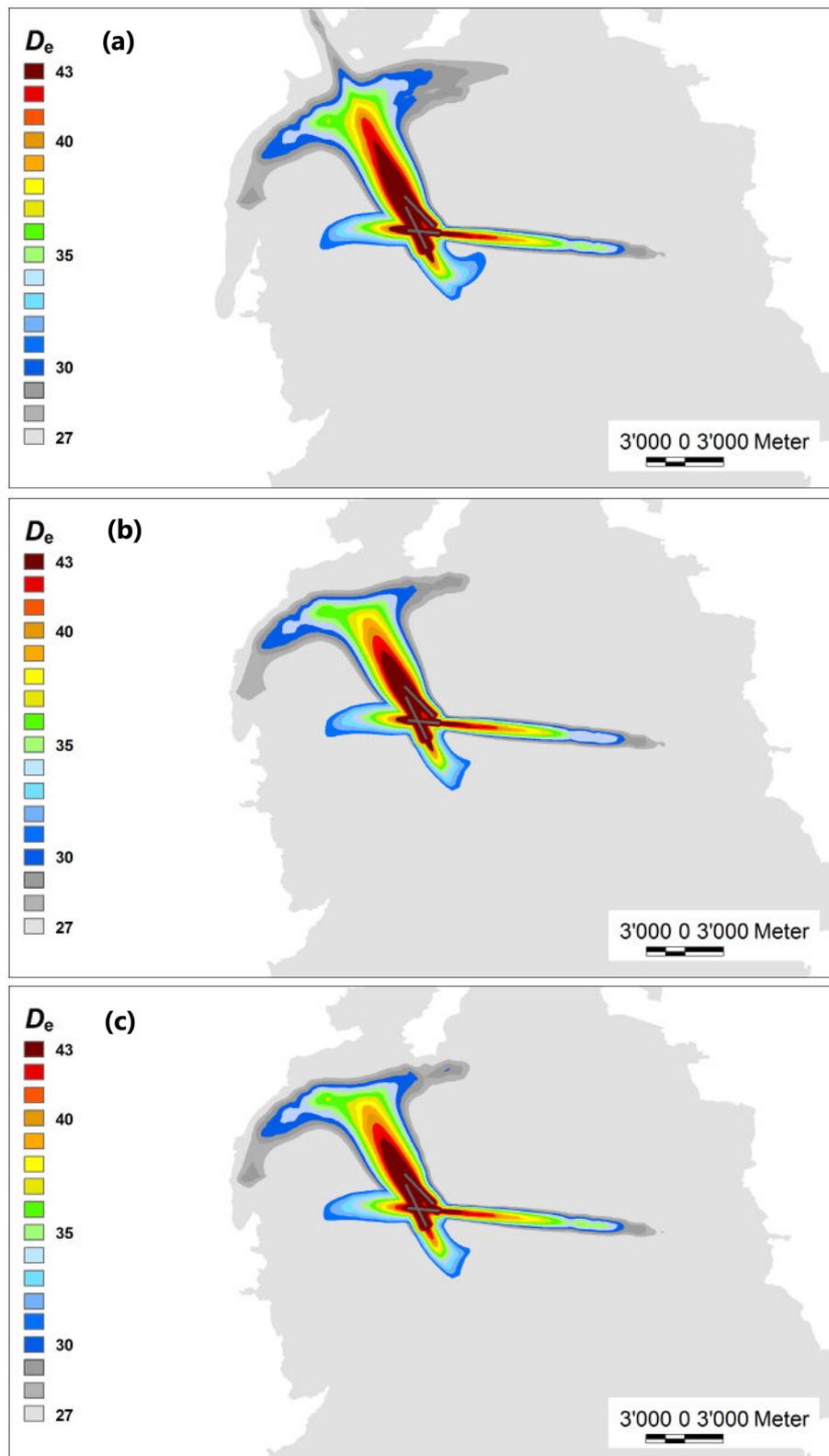
Die originalen $D_{e,alt}$ und $D_{e,akt}$ -Datensätze (bzw. neu $D_{e,07}$ und $D_{e,12}$) der FALS wurden von der Empa im Rahmen von [29] für die Berechnungen folgendermassen modifiziert (für Details siehe [29]):

- Die Belastung durch den Militärflugplatz Dübendorf wurde nicht berücksichtigt, da der dazumal gültige Kataster die heutige Fluglärmbelastung nicht adäquat repräsentierte.
- Als Obergrenze für D_e wird 43 dB verwendet (s.o.).

Abbildung 3-2(a) und (b) zeigen die entsprechenden massgebenden $D_{e,07}$ - und $D_{e,12}$ -Werte um den Flughafen Zürich (modifizierter Datensatz). Diese Daten wurden dem Statistischen Amt des Kantons Zürich im Rahmen der Berechnung des *ZFI* des Jahres 2013 [31] zur Verfügung gestellt, um die massgebenden D_e -Werte pro Hektare zu bestimmen. Als konservative Abschätzung wurde der jeweils kleinste zu einer Hektare gehörige Wert verwendet, unabhängig davon, ob dieser Wert für ein Gebäude innerhalb der Hektare massgeblich ist oder nicht⁴. Die vom Statistischen Amt so aufbereiteten D_e -Werte wurden der Empa zur Verfügung gestellt. Fehlende minimale D_e -Werte von Hektaren, welche auf der Kantonsgrenze liegen (d.h. Minimalwert der Hektare liegt ausserhalb des Kantons und ist leer), wurden von der Empa auf -27 dB gesetzt. Die Daten werden seither in den *ZFI*-Berechnungen verwendet.

Der neue originale $D_{e,17}$ -Datensatz des Amtes für Raumentwicklung (ARE) wurde von der Empa im Rahmen von [50] analog zu obigen $D_{e,07}$ - und $D_{e,12}$ -Datensätze modifiziert (Nichtberücksichtigung der Belastung durch den Militärflugplatz Dübendorf, Obergrenze 43 dB als konservative Abschätzung für den massgebenden $D_{e,17}$ -Wert pro Hektare). Abbildung 3-2(c) zeigt die entsprechenden massgebenden $D_{e,17}$ -Werte um den Flughafen Zürich.

⁴ Im Gegensatz hierzu wurden in der Sensitivitätsanalyse von [29] die minimalen D_e -Werte verwendet, welche zu tatsächlich existierenden Gebäuden gehörten. Die hier verwendeten D_e -Werte sind somit geringfügig tiefer, d.h. die Berechnung ist etwas konservativer.



[Abbildung_De_um_ZRH_ohneUP.mxd / Abbildung_De_um_ZRH_ohneUP_DE_AKT.png, Abbildung_De_um_ZRH_ohneUP_DE_ALT.png, Abbildung_De_um_ZRH_ohneUP_DE_NEU.png]

Abbildung 3-2 (a) $D_{e,07}$, (b) $D_{e,12}$ und (c) $D_{e,17}$ Standard-Schallpegeldifferenzen: Anforderungswerte gemäss SIA-Norm 181, konkretisiert von der FALS für die Fluglärmbelastung um den Flughafen Zürich. Graphiken (a) und (b) aus [29].

3.2.5. Hektardaten der Wohnbevölkerung

Gesamtbevölkerungsdaten: Zur Berechnung des *ZFI* werden Informationen über die Bevölkerungsstruktur und -anzahl um den Flughafen für das jeweilige Jahr benötigt, für das der *ZFI* bestimmt werden soll. Die Erfassungsmethodik für das Berichtsjahr 2021 wird im Folgenden erläutert.

Seit dem Jahr 2011 [25] werden die Bevölkerungsdaten der Kantone Aargau, Schaffhausen, Thurgau, St. Gallen, Zug und Schwyz vom Bundesamt für Statistik (BFS) als geokodierte Hektardaten bezogen. Diese Daten beruhen auf den STATPOP-Daten des BFS und liegen jeweils für das Vorjahresende vor, also zur Berechnung des *ZFI* 2021 für das Jahresende 2020. Auf eine Skalierung der Daten um die provisorischen Einwohnerzahlen auf Gemeindeebene wird seit der Berechnung des *ZFI* für das Jahr 2013 [31] verzichtet, da die tatsächlich betroffene Bevölkerung hauptsächlich im Kanton Zürich lebt (2021: 99.6% der *HA* und 97.8% der *HSD*). Die Nachführung der Einwohnerentwicklung in den genannten Kantonen erfolgt im Rahmen des *ZFI* somit um ein Jahr verzögert.

Die Bevölkerungsdaten des Kantons Zürich basieren hingegen auf der kantonalen Bevölkerungsstatistik. Sie umfasst die wirtschaftliche Bevölkerung zum Jahresendstand 2021. Auf Grundlage der kantonalen Bevölkerungsdaten sind somit für den bezüglich *ZFI* massgeblichen Kanton sowohl Bevölkerungsverteilung und -anzahl insgesamt als auch die Bevölkerung in Gebäuden mit PM konsistent und aktuell.

Die Bevölkerungsdaten für Süddeutschland sind ebenfalls geokodierte Hektardaten, sie beruhen auf den Angaben des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg und beziehen sich auf die wirtschaftliche Bevölkerung zum Jahresendstand 2021.

Das Statistische Amt des Kantons Zürich fügte die verschiedenen Datensätze zusammen, ordnete jeder Hektare eine Gemeinde und einen Kanton zu und leitete die Daten der Empa in elektronischer Form weiter [A].

Bevölkerung in Gebäuden mit PM: Für die Berechnung der passiven Massnahmen mit den erhöhten Anforderungen nach SIA-Norm 181 werden die Personen in Gebäuden mit PM benötigt. Diese Kategorie umfasst Minergie-Gebäude, Gebäude mit Komfort- und Schalldämm-Lüftungsanlagen, sowie Gebäude mit Fensterschliessmechanismen.

Letztere Gebäude werden seit dem Berechnungsjahr 2018 verwendet [44]. In den Berechnungsjahren 2019 und 2020 wurden zudem alle Gebäude mit Baujahr 2017 und jünger als Gebäude mit PM in den Berechnungen berücksichtigt, was im Kanton Zürich zwischen 2018 und 2019 insgesamt zu einer starken Zunahme der in den Berechnungen berücksichtigten Anzahl Personen in Gebäuden mit PM führte (Details vgl. [46]). Seit dem Berechnungsjahr 2021 werden hingegen nur noch diejenigen Gebäude mit Baujahr 2017 und jünger als Gebäude mit PM berücksichtigt, welche abhängig von der massgebenden Fluglärmbelastung gewisse Anforderungen an die PM erfüllen. Namentlich werden nur noch diejenigen Neubauten berücksichtigt, welche die entsprechenden Auflagen betreffend PM einhalten (Kriterien: Beurteilungspegel für den Tag $L_{rT} \geq 65$ dB und für die erste Nachtstunde $L_{rN1} \geq 55$ dB; massgebende Fluglärmbelastung vBR_{2012} [28]). (Die vorgängige Berücksichtigung aller seit 2017 erstellten Neubauten mittels PM in den Berechnungen des *ZFI* 2019 und 2020 dürfte zu einer Überschätzung der PM geführt haben.) Um den Einfluss dieser methodischen Änderung zu quantifizieren, führte die Empa eine Sensitivitätsanalyse für das (pre-COVID-19) Jahr 2019 durch (Details siehe [49]). Während die Anzahl der berücksichtigten Personen mit PM mit der angepassten Methodik deutlich (um mehrere 10'000 Personen) abnahm, bewirkte diese Abnahme eine leichte Zunahme von wenigen hundert Personen in den rechnerisch ermittelten *HSD* resp. im *ZFI* (Zunahme um

knapp 2% in den *HSD* bzw. 1% im *ZFI*). Hierbei gilt allerdings zu berücksichtigen, dass, während diese Veränderungen insgesamt gering sind, sie bezüglich der ermittelten Wirkung der passiven Massnahmen, d.h. bezogen auf die Wirkung der passiven Massnahmen (ΔHSD , s.u.), beträchtlich sind.

Die Gebäude mit PM werden in vier Altersklassen eingeteilt (vgl. Kap. 3.2.4). Hierzu bereitete das Statistische Amt des Kantons Zürich zusätzlich zu den Gesamtbevölkerungsdaten die Hektardaten der in Gebäuden mit PM lebenden Wohnbevölkerung in die vier Altersklassen auf. Die resultierenden Hektardaten der in Gebäuden mit PM lebenden Wohnbevölkerung wurden der Empa in derselben Datei wie die Gesamtbevölkerungsdaten zur Verfügung gestellt [A] und zur Berücksichtigung der in Kapitel 3.2.4 diskutierten Einfügdämpfung gemäss ZFI-VO verwendet.

3.2.6. Datenbank

Sämtliche Daten (Belastungen, Bevölkerung, *AWR*, *HA*, *HSD* und *ZFI*) werden nach Interpolation ins Hektarraster (knapp 400'000 Hektarpunkte) in einer Access-Datenbank verwaltet. Zu jedem Hektarpunkt können die Wohnbevölkerung, die Gemeinde- und Kantonszugehörigkeit, die Höhe der Belastungen, die *AWR*, die *HA*, *HSD* und der *ZFI* abgefragt werden. Die *HA*, *HSD* und der *ZFI* werden in Access unter Anwendung der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Verfahren berechnet. Die Auswertung und Darstellung der Resultate erfolgt in Excel mit Hilfe von Pivot-Tabellen-Abfragen. Die *HA*, *HSD* und der *ZFI* lassen sich dort in tabellarischer Form zusammenfassen und in Diagrammen grafisch darstellen. Die Datenstruktur ermöglicht zudem eine gemeinde- oder kantonsweise Auswertung.

In der Datenbank werden neben den neu berechneten *HA*, *HSD* und *ZFI* des Jahres 2021 auch die *HA*, *HSD* und der *ZFI* des RZ sowie der vorangegangenen Jahre 2005 bis 2020 verwaltet.

3.2.7. Räumliche Darstellung der Resultate

Um eine Vorstellung über die räumliche Ausdehnung und Verteilung der *HA*, *HSD* und des *ZFI* zu erhalten, werden die Daten aus Access in ArcGIS eingelesen und kartografisch dargestellt (vgl. Karten am Ende des Berichts). Pro Hektarpunkt werden die *HA*, die *HSD* und der *ZFI* ausgewiesen. Wo keine Hektarpunkte zu sehen sind, sind (rechnerisch) keine Personen durch den Fluglärm beeinträchtigt.

4. Eingabedaten für die Belastungsrechnungen

4.1. Belastungsrechnungen

Für die Ermittlung des *ZFI* und seiner Komponenten *HA* und *HSD* des Jahres 2021 wird eine bestehende Belastungsrechnung verwendet [51]. Die Belastungsrechnungen wurden mit dem an der Empa entwickelten Fluglärmrechnungsprogramm FLULA2 [21] durchgeführt. Sie erfolgten nach dem Prinzip der Einzelflugsimulation⁵ unter Verwendung von Radardaten. Details zu den Eingabedaten (Pisten- und Routenbelegung, Flugzeugflotte) finden sich in [51].

Die Fluglärmbelastungen der Jahre 2004 (verwendet im RZ) [5], 2005 [8] und 2006 [9] wurden mittels sogenannter Standardsimulation, diejenigen der Jahre 2007 bis 2015 [13, 16, 19, 24, 26, 30, 32, 34, 36] mittels *Full-Size-Simulation* ermittelt, wobei die Umstellung auf die *Full-Size-Simulation* aus methodischen Gründen auch ein neues Radardatenaufbereitungsprogramm bedingte. Für die Berechnungsjahre 2016 bis 2021 [38, 41, 43, 47, 48, 51] wird die Belastung am Tag wieder mittels der Standardsimulation gerechnet (Nacht: *Full-Size*), da sich der Berechnungsaufwand mit den Anpassungen an die Anforderungen des Leitfadens Fluglärm [2], insbesondere die Verfeinerung des Berechnungsgitters (Tabelle 2-2), erheblich erhöhte. Bei der Standardsimulation werden pro Typ und Route eine bestimmte Anzahl Flugbahnen (vor 2006: bis zu 100; 2016 und 2017 Tag: bis zu 500; 2018 bis 2021 Tag: bis zu 250) stochastisch ausgewählt (für das Jahr 2006 beispielsweise gesamthaft rund 27'000 Flugbahnen; 2016 tags rund 58'000 Flugbahnen), einzeln durchgerechnet, und daraus die typen- und routenspezifischen *Footprints*⁶ ermittelt. Bei der *Full-Size-Simulation* hingegen werden alle verfügbaren Flugbahnen durchgerechnet (z.B. für das Jahr 2015 rund 247'000 Flugbahnen). Für die Standardsimulation (RC, 2005 und 2006) wird pro Typ und Route je ein *Footprint* ermittelt, für die *Full-Size* bzw. kombinierte Standard- und *Full-Size-Simulation* (2007–2021) hingegen pro LSV-Verkehrszeit (T, N1, N2 und N3 [55]) je ein *Footprint*. Die Unterschiede zwischen der Standard- und *Full-Size-Simulation* sind für eine Jahresberechnung grösstenteils vernachlässigbar [39, 57].

Für die Fluglärmrechnungen des RZ (Belastungsrechnung 2004) wurde FLULA2 Version 002 verwendet, für diejenigen der Jahre 2005 bis 2007 FLULA2 Version 003, und für diejenigen der Jahre 2008 bis 2021 die aktuelle FLULA2 Version 004 (Details siehe [14]). Die oben aufgeführten Änderungen im Berechnungsverfahren wirken sich auch auf den *ZFI* aus. Die resultierenden Auswirkungen wurden exemplarisch für das Jahr 2006 untersucht [17, 18, 22]. Es zeigte sich, dass sich die Auswirkungen der Änderungen im Berechnungsverfahren teilweise kompensieren. Insgesamt (Wechsel von der Standard- zur *Full-Size-Simulation* und Wechsel von FLULA2 Version 003 auf Version 004) führten die Berechnungspassungen zu einer Abnahme in den *HA* um 1.1%, zu einer Zunahme in den *HSD* um 0.4% und zu einer Abnahme im *ZFI* um 0.7%. Zusätzlich ergaben sich mit dem mit Anfang 2014 verfügbaren Leitfaden Fluglärm (seit 2016 in der endgültigen Fassung [2]) weitere methodische Änderungen. Namentlich wurde im Berechnungsjahr 2013 das Beschleunigungsmodell auf der Piste angepasst [32], und im Jahr 2016 wurden das Gelände sowie das Berechnungsgitter gemäss den Vorgaben des Leitfadens verfeinert [39]. Auf die Resultate wirkt sich dabei insbesondere das Beschleunigungsmodell für Flugzeuge auf der Piste aus, welche die rechnerisch ermittelte

⁵ Als Simulation bezeichnet man die Berechnung der *Footprints*, indem die Schallquellen rechnerisch entlang der Flugbahnen bewegt werden und daraus die resultierende Fluglärmbelastung am Boden bestimmt wird.

⁶ Ein *Footprint* entspricht dem typen- und routenspezifischen energetischen Mittelwert der Ereignispegel der entsprechenden simulierten Einzelflüge, normiert auf eine Bewegung.

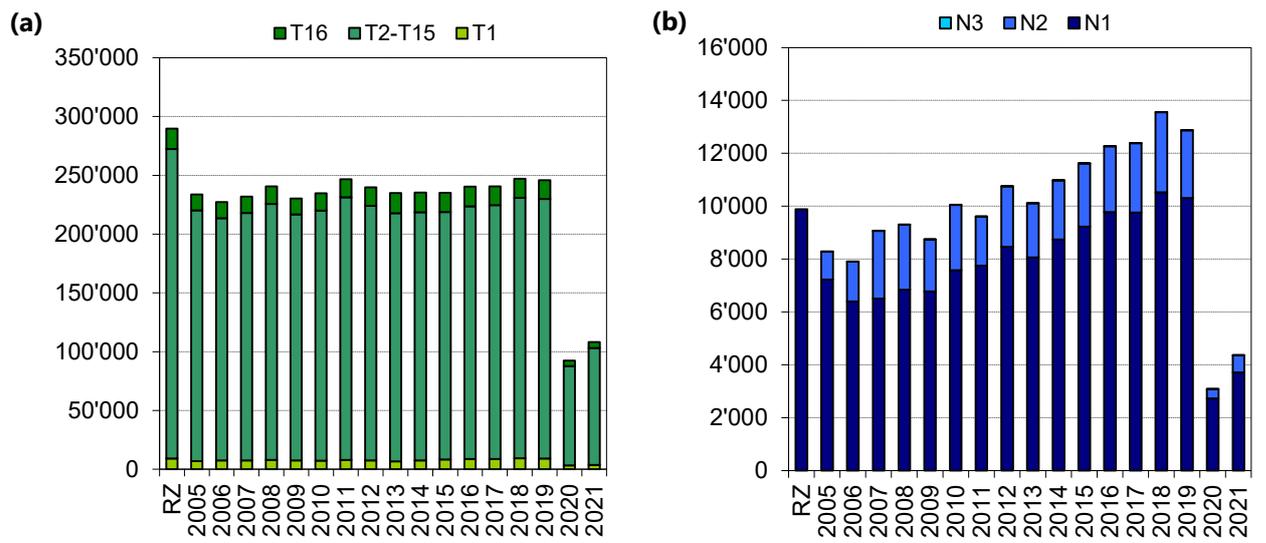
Lärmbelastung in unmittelbarer Pistennähe um mehrere dB erhöht. Der Einfluss dieser methodischen Änderung nimmt mit zunehmender Distanz von der Piste stark ab, bewirkt aber in Gemeinden nahe der Pistenschwellen eine rechnerische Zunahme der Belastung [32]. Der Einfluss der ab 2016 eingeführten Änderungen bezüglich Gelände- und Berechnungsgitterauflösung sind hingegen generell gering und für den Tag vernachlässigbar [39].

Schliesslich wurden zwischen den Berechnungsjahren 2017 und 2018 die Quelldaten von FLULA2 basierend auf Messkampagnen in den Jahren 2013 bis 2018 um dem Flughafen Zürich aktualisiert. Mit dem neuen Quelldatensatz werden einerseits die sich seit der letzten Vermessung (1991 und 1996) geänderten Flugverfahren als auch die grossen Veränderungen der am Flughafen Zürich verkehrenden Flugzeuge, insb. der Umflottung der Swiss während der Jahre 2016–2020 mit einer gewissen Verzögerung in Fluglärm-berechnungen und somit auch in der Ermittlung des *ZFI* berücksichtigt. Für das Jahr 2017 durchgeführte Vergleichsberechnungen zeigten, dass die Berechnung mit dem aktuellen Quelldatensatz im Bereich unmittelbar um den Flughafen eine leichte Pegelerhöhung von rund 0.1 dB, weiter entfernt hingegen tendenziell eine Pegelreduktion von bis zu 1 dB ergibt [45]. Der Einfluss dieser methodischen Änderung auf den *ZFI* wird in [44] dokumentiert. Es zeigt sich, dass die Aktualisierung des Quelldatensatzes den *ZFI* des Jahres 2017 deutlich um 11% verminderte (*HA*: Abnahme von 14%, *HSD*: Abnahme von 6%). Diese deutlichen Abnahmen sind auf die akustisch günstige Entwicklung der Flugzeuge resp. der Flugverfahren in den letzten Jahren zurückzuführen.

Die Methodenänderungen flossen implizit in die Veränderung der Fluglärmbelastung von 2006 auf 2007 (Wechsel Standard- zu *Full-Size-Simulation*) und von 2007 auf 2008 (Wechsel von FLULA2 Version 003 auf Version 004) ein. Zwischen 2008 und 2012 gab es keine methodischen Änderungen. Zwischen 2012 und 2013 wurde das neue Beschleunigungsmodell eingeführt, dessen Einfluss auf den *ZFI* nicht quantifiziert wurde. Diese Änderung dürfte die Anzahl *HA*, *HSD* und den *ZFI* jedoch nur geringfügig erhöhen, da sich der Einfluss auf pistennahe Gebiete beschränkt. Im Berechnungsjahr 2016 wurden die übrigen Änderungen gemäss Anforderungen des Leitfadens Fluglärm umgesetzt (feineres Gelände und Berechnungsgitter), sowie für die Berechnung der *Footprints* am Tag von der *Full-Size-* zur Standardmethode gewechselt. Der Einfluss dieser Änderungen auf den *ZFI* dürfte sehr gering sein. Die Aktualisierung des Quelldatensatzes von FLULA2 zwischen 2017 und 2018 verminderte den *ZFI* hingegen deutlich.

4.2. Bewegungszahlen und Pistenbelegung

Abbildung 4-1 zeigt die jährlichen Flugbewegungszahlen des RZ und der Jahre 2005 bis 2021, getrennt für den Tag und die Nacht. Für den Tag sind Flugbewegungen nach den Tagesrand- und übrigen Tagesstunden (T1, T2-T15, T16; vgl. Tabelle 2-1) und für die Nacht nach den drei Nachtstunden der LSV aufgeschlüsselt (N1 bis N3 [55]). Da im RZ sowie in den Jahren 2005 bis 2021 in der letzten Nachtstunde (N3) praktisch keine Flüge stattfanden, sind die entsprechenden Balken in Abbildung 4-1 nicht sichtbar. Die zugehörigen Daten sind im Anhang (Kap. 9.2) zusammengestellt. Ebenfalls im Anhang (Kap. 9.3) finden sich Grafiken zu den Pistenbelegungen am Tag und in der Nacht. Deutlich sichtbar ist der markante Einbruch der Bewegungszahlen zwischen 2019 und 2020 aufgrund der COVID-19 Situation, welche sich im Jahr 2021 etwas erholten. Am Tag nahmen die Bewegungen zwischen 2020 und 2021 insgesamt um 17% und in der Nacht um 42% zu.



[ZFI21_SENS20.xlsx/ Bewegungszahlen]

Abbildung 4-1 Jährliche Flugbewegungszahlen des RZ und der Jahre 2005 bis 2021 für (a) den Tag (06–22 h) und (b) die Nacht (22–06 h).

5. Ergebnisse

Die *HA*, *HSD* und *ZFI* werden in einer Access-Datenbank [ZFI21_SENS20.mdb] hektarpunktspezifisch berechnet und verwaltet. Die pro Gemeinde zusammengefassten Daten befinden sich in einer Excel-Datei [ZFI21_SENS20.xlsx].

5.1. Fluglärmbelastungen

5.1.1. Fluglärmbelastung am Tag

Für die Berechnung der *HA* muss der Leq^{*}_{16} nach Formel 3-7 ermittelt werden. Auf Karte 1 am Ende des Berichts wird der Leq^{*}_{16} des Jahres 2021 der LSV-konformen Belastung (ungewichteter 16h-Mittelungspegel Leq_{16}) gegenübergestellt. Die rote 47dB-Kurve markiert die Grenze des UP für die Berechnung der *HA* des Jahres 2021. Die sich aus dem Leq^{*}_{16} ergebenden UP für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021 befinden sich im Anhang (Kap. 9.1). Zusätzlich sind die Untersuchungsperimeter des RZ und der Jahre 2020 und 2021 auf Karte 5 am Ende des Berichts dargestellt.

5.1.2. Fluglärmbelastung in der Nacht

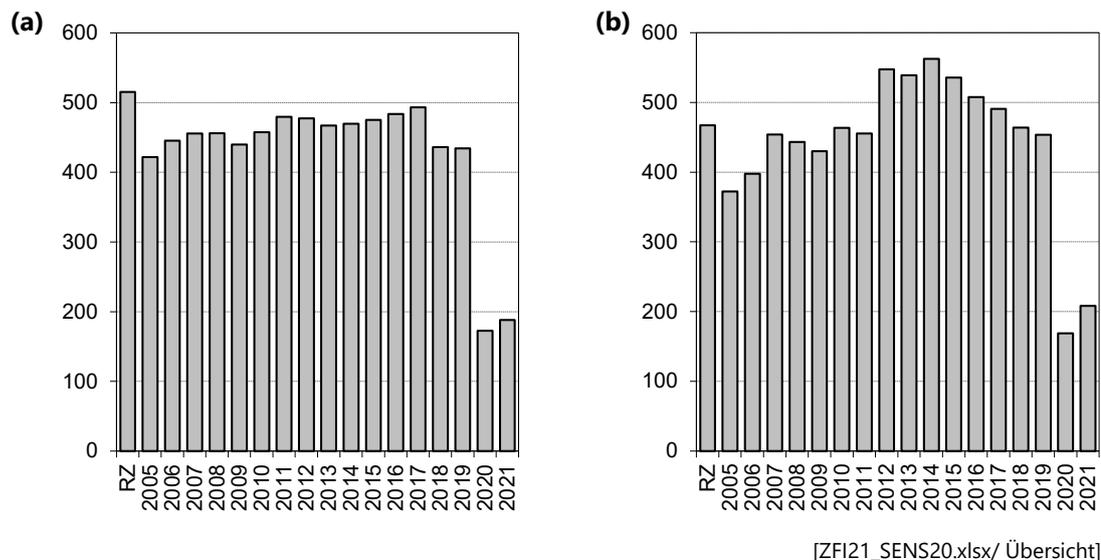
Für die Berechnung der *HSD* werden Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen benötigt, aus denen die *AWR* ermittelt werden (siehe Kap. 3.1.2). Die Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen lassen sich nicht auf Karten darstellen. Was sich in Form von Isolinien auf Karten darstellen lässt, sind die *AWR*. Da sich diese allerdings durch einen Umrechnungsfaktor (*GsS*) in %*HSD* resp. durch zusätzliche Multiplikation mit der Bevölkerungsdichte in *HSD* umwandeln lassen, wird auf eine kartografische Darstellung der *AWR* verzichtet.

Der 8h-Mittelungspegel Leq_N der Nacht (22–06 h) wird lediglich für die Festlegung des UP bei der Berechnung der *HSD* verwendet. Es wird daher auf eine kartografische Darstellung des Leq_N verzichtet. Hingegen befinden sich die aus dem Leq_N ergebenden UP für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021 im Anhang (Kap. 9.1). Zusätzlich sind die Untersuchungsperimeter des RZ und der Jahre 2020 und 2021 auf Karte 6 am Ende des Berichts dargestellt.

5.2. Quantifizierungen zum ZFI

5.2.1. Flächen der Untersuchungsperimeter

Abbildung 5-1 zeigt die Flächen der UP für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021, getrennt für den Tag und die Nacht. Die räumliche Lage der UP ist im Anhang (Kap. 9.1) und auf den Karten 5 und 6 am Ende des Berichts dargestellt. Wie die Flugbewegungszahlen nahmen auch die Flächen der Untersuchungsperimeter zwischen 2020 und 2021 wieder etwas zu, nämlich um 9% am Tag und 23% in der Nacht.

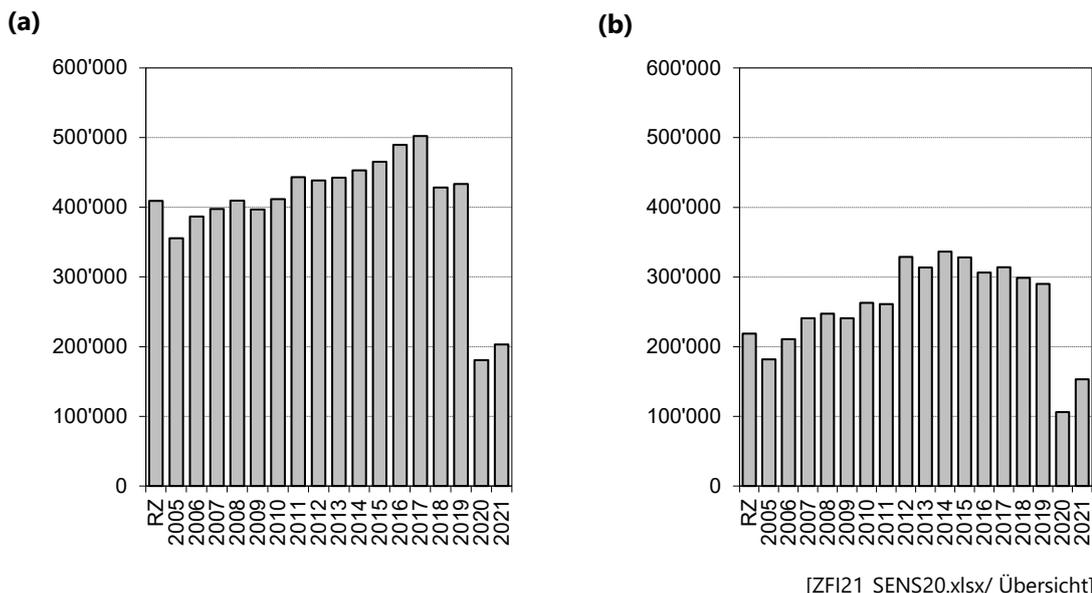


[ZFI21_SENS20.xlsx/ Übersicht]

Abbildung 5-1 Flächen [km²] der Untersuchungsperimeter (a) für den Tag ($Leq^{*}_{16} \geq 47$ dB) und (b) die Nacht ($Leq_N \geq 37$ dB). Zahlenwerte: Anhang, Kap. 9.1.

5.2.2. Personen innerhalb der Untersuchungsperimeter

Abbildung 5-2 zeigt die Einwohnerzahlen innerhalb der UP für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021, getrennt für den Tag und die Nacht. Mit den Flächen nahmen auch die Personen innerhalb der Untersuchungsperimeter zwischen 2020 und 2021 zu, nämlich um 12% am Tag und 44% in der Nacht.



[ZFI21_SENS20.xlsx/ Übersicht]

Abbildung 5-2 Personen innerhalb der Untersuchungsperimeter (a) für den Tag ($Leq^{*}_{16} \geq 47$ dB) und (b) die Nacht ($Leq_N \geq 37$ dB). Zahlenwerte: Anhang, Kap. 9.1.

5.2.3. *Highly Annoyed, HA*

Abbildung 5-3(a) zeigt die Summe der *HA* des RZ und der Jahre 2005 bis 2021 innerhalb der jeweiligen UP. Die *HA* des RZ und der letzten 10 Jahre, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Gemeinden und Kantonen, können dem Anhang (Kap. 9.5) entnommen werden. Die räumliche Verteilung der *HA* für das Jahr 2021 ist auf der Karte 3 am Ende des Berichts ausgewiesen. Zwischen 2020 und 2021 nahmen die *HA* um 17% zu.

5.2.4. *Highly Sleep Disturbed, HSD*

Abbildung 5-3(b) zeigt die Summe der *HSD* des RZ und der Jahre 2005 bis 2021 innerhalb der jeweiligen UP. Die Balken für die *HSD* werden seit 2011 in den offiziellen *HSD*-Wert und in die Differenz ΔHSD unterteilt. Der offizielle *HSD*-Wert wird nach ZFI-VO [59] seit 2011 unter Berücksichtigung der PM berechnet. Zum Vergleich zur früheren Berechnung ohne Berücksichtigung der PM wird die Darstellung um ΔHSD ergänzt und repräsentiert den nach neuer ZFI-VO nicht massgebenden *HSD*-Wert ohne der PM. Somit wird die Zeitreihe einerseits konsistent fortgeführt, andererseits ist direkt der Einfluss der PM (im Jahr 2021 von 635 Personen) auf den *HSD*-Wert sichtbar.

Die *HSD* des RZ und der letzten 10 Jahre, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Gemeinden und Kantonen, können dem Anhang (Kap. 9.6) entnommen werden. Die räumliche Verteilung der *HSD* für das Jahr 2021 ist auf der Karte 4 am Ende des Berichts ausgewiesen. Zwischen 2020 und 2021 nahmen die *HSD* um 77% zu.

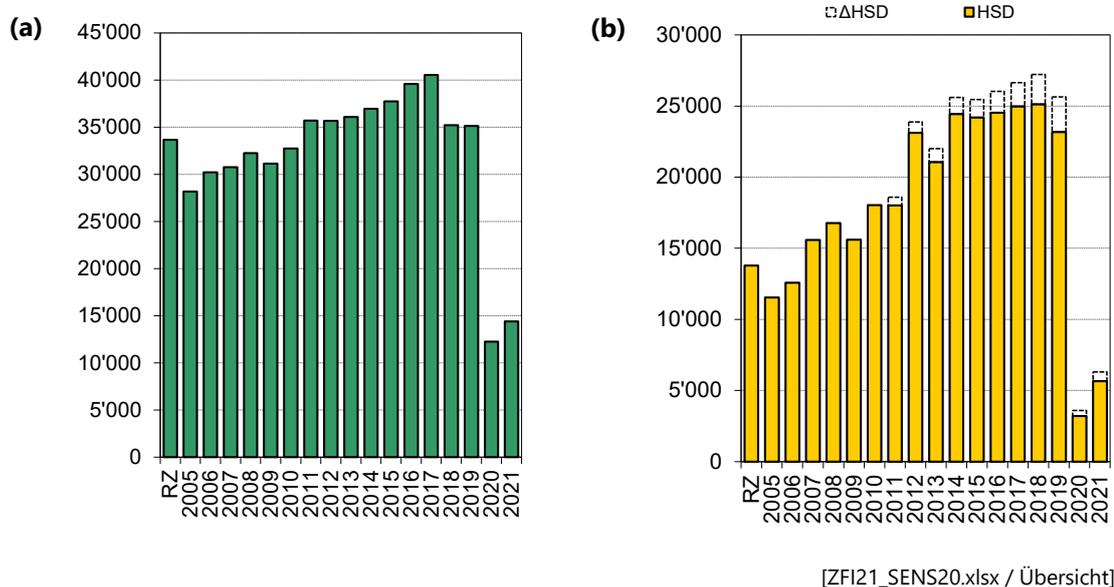
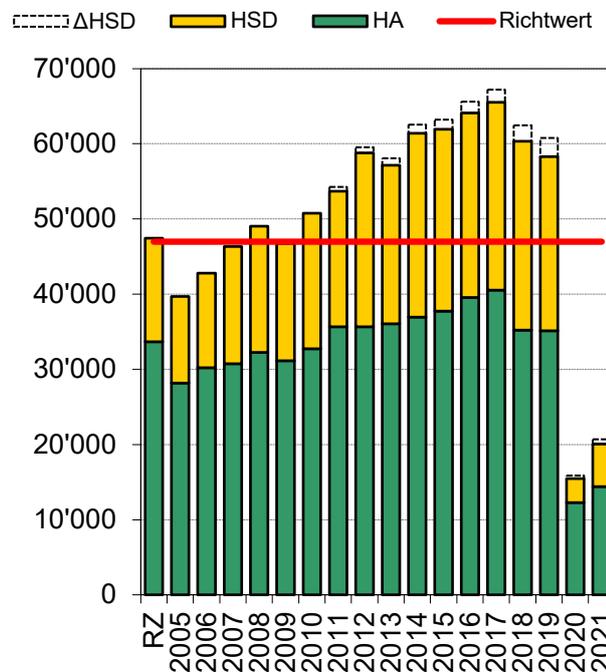


Abbildung 5-3 (a) Anzahl *Highly Annoyed* (HA) und (b) Anzahl *Highly Sleep Disturbed* (HSD); Fortführung der *HSD* ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen über ΔHSD . Zahlenwerte: Tabelle 5-1.

5.2.5. *Kombination von HA und HSD zum ZFI*

In Abbildung 5-4 werden die *HA* und *HSD* zum *ZFI* summiert und dem Richtwert von 47'000 Personen gegenübergestellt. Der Richtwert ist in der ZFI-VO [59] definiert, für den der RZ die Grundlage bildet und der daher mit aufgeführt wird. Tabelle 5-1 weist die dazugehörigen Zahlenwerte aus. Äquivalent zur *HSD*-Zeitreihe wird sowohl der offiziell gültige Monitoringwert gemäss ZFI-VO [59] unter Berücksichtigung

passiver Schallschutzmassnahmen ($HA+HSD$) als auch der ZFI -Wert nach alter Berechnungsvorschrift ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen ($HA+HSD+\Delta HSD$) dargestellt. Der ZFI des Jahres 2021 – unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen – beträgt 20'071 und unterschreitet den Richtwert von 47'000 somit sehr deutlich um 26'929 Personen (das zweite Mal seit 2009).



[ZFI21_SENS20.xlsx / Übersicht]

Abbildung 5-4 Kombination der HA (grüne Säulen) und HSD (orange Säulen) zum ZFI (Zahlenwerte: Tabelle 5-1) und die Differenz ΔHSD zum ZFI ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen. Richtwert (rote Linie): 47'000 Personen.

Der ZFI des RZ und der letzten 10 Jahre, aufgeschlüsselt nach den einzelnen Gemeinden und Kantonen kann dem Anhang (Kap. 9.4) entnommen werden. Die räumliche Verteilung des ZFI des Jahres 2021 ist auf Karte 2 am Ende des Berichts ausgewiesen. Zwischen dem Vorjahr 2020 und dem Betriebsjahr 2021 nahmen der HA -Wert um 17% und der HSD -Wert um 77% zu (s.o.), sodass der ZFI um insgesamt 30% zunahm. Gegenüber dem RZ sanken die HA um 57%, die HSD um 59% und der ZFI um 58%. Die Zunahmen der HA , der HSD und des ZFI zwischen Vorjahr 2020 und Berichtsjahr 2021 sind vor allem auf die Zunahme der Flugbewegungen zurückzuführen. Sie werden im Teilbericht 2 des ZFI [52] genauer analysiert und diskutiert.

Tabelle 5-1 Offizielle Werte HA, HSD und ZFI und deren jährliche Veränderungen (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Jahr		HA	HSD	ZFI
RZ		33'668	13'782	47'450
2011 *		35'685	18'019	53'704
2012 *		35'660	23'124	58'785
2013 *		36'068	21'055	57'123
2014 *		36'949	24'432	61'381
2015*		37'726	24'190	61'916
2016*		39'583	24'528	64'110
2017*		40'539	24'968	65'507
2018*		35'223	25'124	60'347
2019*		35'132	23'168	58'300
2020*		12'272	3'195	15'468
2021*		14'410	5'661	20'071
Veränderung	absolut	+2'138	+2'465	+4'603
2021 – 2020	prozentual	+17%	+77%	+30%
Veränderung	absolut	-19'258	-8'121	-27'379
2021 – RZ	prozentual	-57%	-59%	-58%

Tabelle 5-2 Fortführung von Tabelle 5-1 ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen

Jahr	ΔHSD	in % zum ZFI	HSD	ZFI
2011	564	1%	18'584	54'269
2012	753	1%	23'878	59'538
2013	952	2%	22'007	58'075
2014	1'170	2%	25'602	62'551
2015	1'275	2%	25'465	63'190
2016	1'500	2%	26'027	65'610
2017	1'669	3%	26'638	67'177
2018	2'102	3%	27'226	62'449
2019	2'466	4%	25'634	60'766
2020	399	3%	3'594	15'866
2021	635	3%	6'296	20'706

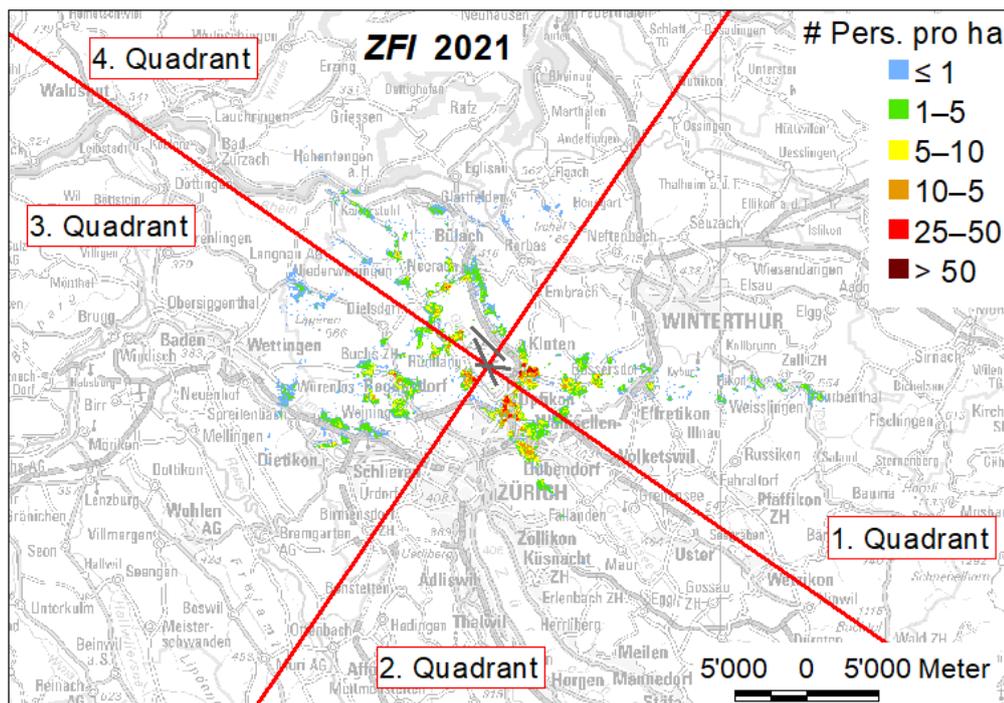
5.2.6. HA, HSD und ZFI nach Stadtzürcher Quartieren und nach Himmelsrichtung (Quadranten)

Im Februar 2013 veröffentlichte das Amt für Mobilität (damals Amt für Verkehr) einen Kurzbericht mit Zusatzauswertungen zum ZFI der Jahre 2000 und 2005 bis 2011 [1], welche u.a. die HA, die HSD und den ZFI nach Zürcher Stadtquartiere sowie nach Himmelsrichtung um den Flughafen Zürich darstellte. Diese Auswertung wird seit dem Berichtsjahr 2012 weitergeführt.

Zürcher Stadtquartiere: Die Unterteilung der Stadt Zürich in Quartiere (nicht zu verwechseln mit den Stadtkreisen 1 bis 12) richtet sich nach den Vorgaben des Statistischen Amt des Kantons Zürich [A]. Die Unterteilung erlaubt im Nahbereich um den Flughafen eine kleinräumige Darstellung der Resultate. Die Tabellen sind im Anhang (Kap. 9.7) dargestellt. In diesen sind die Berechnungsergebnisse des RZ und der letzten 10 Jahre aufgeführt.

Himmelsrichtung (Quadranten): Die Aufschlüsselung in die Himmelsrichtungen erlaubt es, die HA, HSD und den ZFI nicht nur innerhalb der jeweiligen Untersuchungsperimeter zu analysieren, sondern auch nach

Himmelsrichtung. Dazu wurde das Untersuchungsgebiet in Quadranten mit Mittelpunkt im Pistenkreuz (Flughafenbezugspunkt) unterteilt. Da es aufgrund der Ausrichtung des Pistensystems nicht angezeigt war, die Trennlinien der Quadranten genau in Nord-Süd- resp. Ost-West-Ausrichtung verlaufen zu lassen, wurde das "Fadenkreuz" so gedreht, dass die Trennlinien mittig zu den sich aus dem Pistenkreuz ergebenden Winkeln liegen. Mit dieser Darstellungsart wird erreicht, dass die in den jeweiligen Quadranten ausgewiesenen *ZFI*-Werte den darin vorherrschenden An- und Abflugrichtungen entsprechen. Abbildung 5-5 zeigt für den *ZFI* des Jahres 2021 die Unterteilung des Gebietes um den Flughafen Zürich in die vier Quadranten. Die Tabellen sind im Anhang (Kap. 9.8) dargestellt. In diesen sind die Berechnungen des RZ und der letzten 10 Jahre aufgeführt.



[Abbildung_ZFI21_4Quadranten.mxd/png]

Abbildung 5-5 *ZFI* des Jahres 2021, unterteilt in die vier Quadranten. Übersichtskarte PK200: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.

Abbildung 5-6 zeigt die prozentualen Anteile der vier Quadranten an den *HA*-, *HSD*- und *ZFI*-Werten. Die Summe von 100% entspricht den Absolutwerten in Abbildung 5-4 resp. Tabelle 5-1. Die meisten *HA* am Tag befinden sich im zweiten und dritten Quadranten. Hier widerspiegeln sich die Haupt-Startrichtungen nach Westen und Süden. Die Hauptlanderichtung von Norden (4. Quadrant) wirkt sich auf die *HA* hingegen eher wenig aus. Bei den *HSD* in der Nacht befinden sich hingegen die meisten Personen im ersten und vierten Quadranten, was auf die Starts Richtung Norden und die Landungen von Osten zurückzuführen ist. Zum *ZFI*, welcher sich aus den *HA* des Tages und den *HSD* der Nacht zusammensetzt, tragen die vier Quadranten zu ähnlichen Teilen bei. Im Jahr 2021 waren die *HA* im 3. Quadranten etwas stärker vertreten als im Vorjahr, was auf mehr Starts Richtung Westen zurückzuführen ist (vgl. Anhang, Kap. 9.3). In der Nacht waren die *HSD* insbesondere im 2. Quadranten stärker vertreten, was auf mehr Landungen von Süden zurückzuführen ist (Anhang, Kap. 9.3).

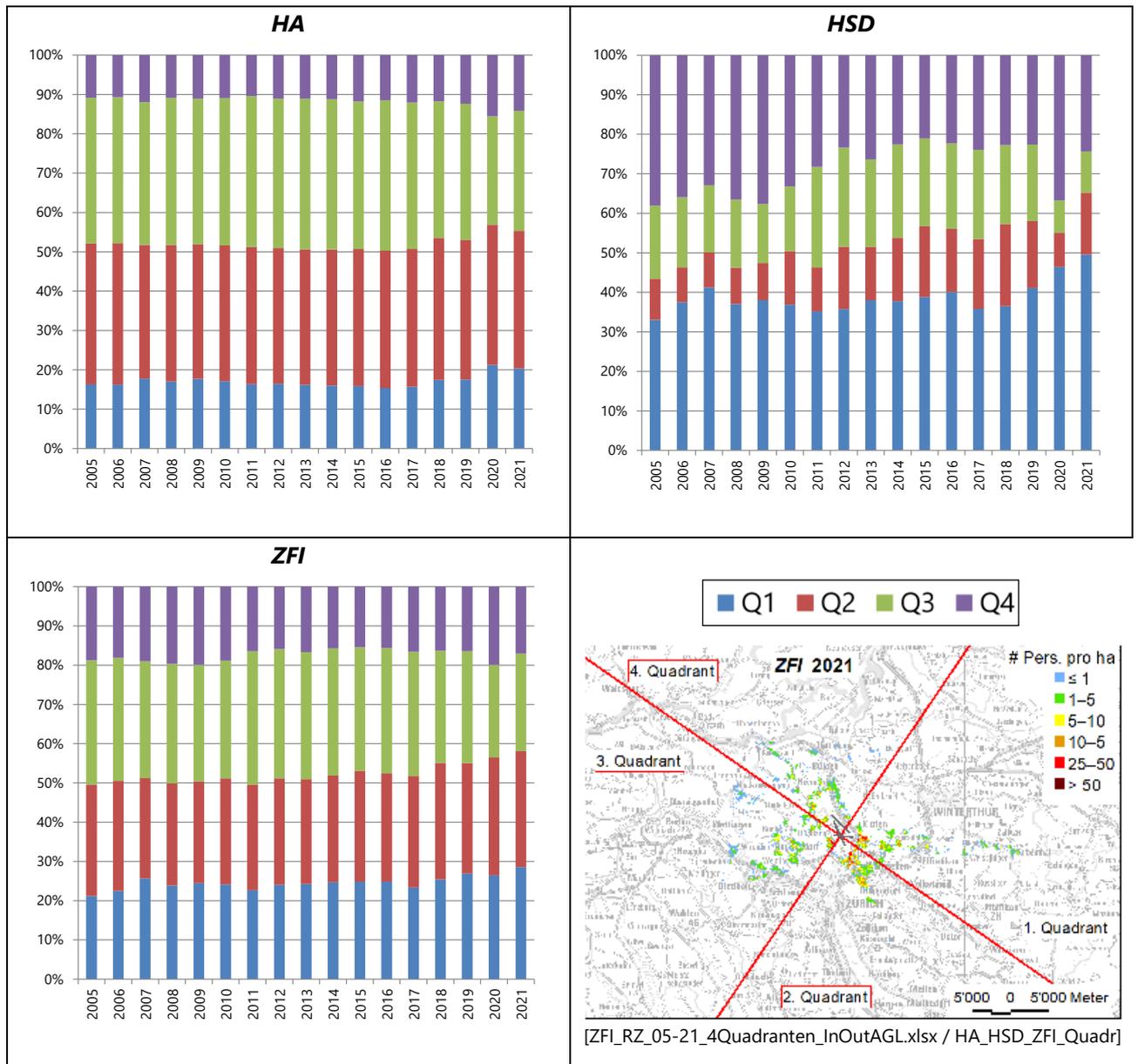


Abbildung 5-6 Prozentuale Anteile der *HA*, *HSD* und des *ZFI* in den vier Quadranten (Q1–Q4) an den Gesamtzahlen gemäss Tabelle 5-1. Zahlenwerte: Kap. 9.8. Unten rechts der *ZFI* 2021, unterteilt in die 4 Quadranten (grösser dargestellt in Abbildung 5-5). Übersichtskarte PK200: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.

6. Unsicherheit der Berechnungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Funktionsgleichungen aufgeführt, mit deren Hilfe die *HA* und *HSD* berechnet werden können. Da der wahre Wert der *HA* resp. *HSD* jedoch aus verschiedenen Gründen unbestimmbar bleibt, sind die (rechnerisch) ermittelten Werte bloss Schätzungen für diese. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Schätzungen mit dem „wahren“ Sachverhalt übereinstimmen, wird vorliegend mittels der (einfachen) Standardunsicherheit beschrieben, was bei einer Normalverteilung einem 68%-Vertrauensintervall entspricht. Die Unsicherheit der *HA* resp. *HSD* wird durch verschiedene Teilunsicherheiten bestimmt, welche in die Ermittlung der Gesamtunsicherheit einzubeziehen sind:

- Unsicherheit in den Belastungsrechnungen und in der Bestimmung der Maximalpegelhäufigkeitsverteilungen
- Unsicherheit in den Fitparametern der Funktionsgleichungen zur Berechnung der *HA* und *HSD*
- Unsicherheit wegen der Wahl des Abbruchkriteriums und damit wegen der Festlegung des UP

Geht man von der Annahme aus, dass die Unsicherheit der *HA*-Komponente von der Unsicherheit der Belastungsrechnung dominiert wird und diese über den gesamten massgebenden Pegelbereich 1 dB beträgt, so kann man von einer Unsicherheit der *HA* von 10–35% ausgehen [6]. Die Unsicherheit der *HSD* beträgt rund 40% [6]. Demnach dürfte die Unsicherheit des *ZFI* zwischen 10 und 30% liegen.

Da der *ZFI* aber vor allem als Vergleichsgrösse zwischen verschiedenen Betriebsszenarien dienen soll, welche weitgehend mit denselben Methoden ermittelt werden, ist für die Beurteilung der Ergebnisse nicht die oben gegebene Gesamtunsicherheit massgebend. Verschiedene Einflussfaktoren sind bei den zu vergleichenden Berechnungen identisch und heben sich daher bei einem direkten Vergleich gegenseitig auf (z.B. Unsicherheiten bei der Berechnung der Schallausbreitung in der Atmosphäre, Fluggeometrien, Leistungsetzung der einzelnen Flugzeugtypen, leichte Überbewertung in den *AWR* durch Verwendung der energetischen Maximalpegelmittelwerte etc.). Dadurch reduziert sich die massgebende Unsicherheit beträchtlich und dürfte rund 10% betragen [6]. Dieser Wert wird dann relevant, wenn es darum geht, zu entscheiden, ob zwei Belastungszustände sich im *ZFI* signifikant unterscheiden oder nicht.

7. Abkürzungen, Datengrundlagen, Literatur

7.1. Verwendete Abkürzungen

<i>AWR</i>	Durch Fluglärm induzierte zusätzliche Aufwachreaktionen
BFS	Bundesamt für Statistik
BFS-Nr.	Vom BFS im Amtlichen Gemeindeverzeichnis der Schweiz den politischen Gemeinden zur eindeutigen Gemeindeidentifikation zugeordnete Zahl (= Gemeinde-Nr.)
<i>D</i>	Einfügungsdämpfung für den Übergang vom Aussen- zum Innenpegel zur Berechnung der <i>AWR</i> , für gekipptes Fenster rund -15 dB, bei passiven Schallschutzmassnahmen mit geschlossenem Fenster rund -25 dB resp. -27 dB ... -43 dB
dB	Dezibel
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FLULA2	Fluglärberechnungsprogramm der Empa
<i>GsS</i>	Gewichtsfaktor zur Umrechnung der <i>AWR</i> in den prozentualen Anteil der starken Schlafstörung (<i>%HSD</i>)
<i>H</i>	Gesamthäufigkeitsverteilung der Maximalpegel
<i>HA</i>	<i>Highly Annoyed</i> ; Anzahl der durch Fluglärm während des Wachzustands am Tag stark belästigten Personen
<i>HSD</i>	<i>Highly Sleep Disturbed</i> ; Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen
<i>L_{AS,max}</i>	A-bewerteter Maximalpegel, Zeitkonstante <i>slow</i>
<i>Leq</i>	Mittelungspegel
<i>Leq*₁₆</i>	Tagesrandstundengewichteter 16h-Mittelungspegel (06–22 h)
<i>Leq₁₆</i>	Ungewichteter 16h-Mittelungspegel am Tag (06–22 h) nach LSV
<i>Leq_N</i>	8h-Mittelungspegel in der Nacht (22–06 h)
LSV	Lärmschutz-Verordnung
N	Nacht (22–06 h)
N1	Erste Nachtstunde nach LSV (22–23 h)
N2	Zweite Nachtstunde nach LSV (23–05 h)
N3	Letzte Nachtstunde nach LSV (05–06 h)
<i>N_{pop}</i>	Einwohnerzahl (Population)
PM	Passive Schallschutzmassnahmen, d.h. Komfort- und Schalldämmlüftungen sowie Fensterschliessmechanismen
<i>P_{AWR}</i>	Wahrscheinlichkeit einer durch Fluglärm zusätzlich induzierten Aufwachreaktion
RZ	Referenzzustand
T	Tag (06–22 h)
T1	Erste Tagesstunde (06–07 h)
T16	Letzte Tagesstunde (21–22 h)
T2-T15	Übrige Tagesstunden (07–21 h)
UP	Untersuchungsperimeter
<i>ZFI</i>	Zürcher Fluglärm-Index
ZRH	Zürich
ΔHSD	Differenz der <i>HSD</i> -Werte mit und ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen

7.2. Datengrundlagen

- [A] Statistisches Amt des Kantons Zürich, 2022: *Bevölkerungsdaten ZFI 2021*.
ZFI_4_EW_HA_KSL_EMPA_MV_2021.txt. Datenlieferung per E-Mail am 23.03.2022.

7.3. Literatur

- [1] AFV, 2013. *Zürcher Fluglärm-Index (ZFI), Zusatzauswertungen zum Berichtsjahr 2011, Februar 2013*. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich, Amt für Verkehr (AFV), Zürich.
- [2] BAFU, BAZL, and GS VBS, 2021. *Leitfaden Fluglärm, Vorgaben für die Lärmermittlung. Umwelt-Vollzug, Lärm Nr. 1625 (Ersetzt Fassung des Leitfadens Fluglärm von 2016)*. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), Generalsekretariat des Eidg. Departementes für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS (GS VBS), Bern.
URL: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/laerm/publikationen-studien/publikationen/leitfaden-fluglaerm.html>.
- [3] Basner, M., U. Isermann, and A. Samel, 2005. *Die Umsetzung der DLR-Studie in einer lärmmedizinischen Beurteilung für ein Nachtschutzkonzept*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung **52**, 109-123.
- [4] Basner, M., H. Buess, D. Elmenhorst, A. Gerlich, N. Luks, H. Maaß, L. Mawet, E.-W. Müller, U. Müller, G. Plath, J. Quehl, A. Samel, M. Schulze, M. Vejvoda, and J. Wenzel, 2004. *Nachtfluglärmwirkungen, Band 1, Zusammenfassung. Forschungsbericht 2004-07/D*. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln, Deutschland.
- [5] Empa, 2005. *Flughafen Zürich Kloten, Fluglärmbelastung im Jahre 2004*. Bericht Nr. 437'000. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [6] Empa, 2006. *Zürcher Fluglärmindex ZFI, Technische Umsetzung der Machbarkeitsstudie. Version 2*. Bericht Nr. 441'255 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [7] Empa, 2006. *Zürcher Fluglärmindex ZFI, Berechnungsvorschrift. Version 2*. Bericht Nr. 441'255 - 4. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [8] Empa, 2007. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2005*. Bericht Nr. 441'549. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [9] Empa, 2007. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2006*. Bericht Nr. 446'085. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [10] Empa, 2008. *Flughafen Zürich, Veränderungen im Zürcher Fluglärm-Index ZFI vom Referenzzustand zum Jahr 2007*. Bericht Nr. 450'617. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [11] Empa, 2008. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2007*. Bericht Nr. 448'144. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [12] Empa, 2008. *Flughafen Zürich, Sensitivitäten Zürcher Fluglärm-Index, Entwicklung einer Methode zur isolierten Betrachtung des Einflusses von Veränderungen in der Wohnbevölkerung und im Flugbetrieb auf den Zürcher Fluglärm-Index ZFI. Version 2*. Bericht Nr. 448'451. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [13] Empa, 2008. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2007, Belastungsrechnung mit dem neuen Radarprogramm SELFA2 nach der Full-Size-Methode der Empa (Full Single Flight Simulation)*. Bericht Nr. 448'339. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [14] Empa, 2009. *Anpassungen in FLULA2 im Zusammenhang mit den Empfehlungen des BAFU für Fluglärmerechnungsverfahren. Bericht 2: Technische Umsetzung*. Bericht Nr. 841'384 - 2. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [15] Empa, 2009. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2008*. Bericht Nr. 452'380 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [16] Empa, 2009. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2008*. Bericht Nr. 452'555. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [17] Empa, 2009. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2006, Wirkung methodischer Berechnungsansätze auf Fluglärmbelastungen*. Bericht Nr. 841'425. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.

- [18] Empa, 2009. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2006, Vergleich der Full-Size-Methode (Full Single Flight Simulation, SELFA2) mit der Standardmethode der Empa (Single Flight Simulation, SELFA2)*. Bericht Nr. 445'518 - 3. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [19] Empa, 2010. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2009*. Bericht Nr. 454'915. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [20] Empa, 2010. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2009*. Bericht Nr. 455'224 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [21] Empa, 2010. *FLULA2, Ein Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Fluglärmbelastung. Technische Programm-Dokumentation. Version 4*. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf. URL: <http://www.empa.ch/web/s509/flula2>.
- [22] Empa, 2010. *Anpassungen in FLULA2 im Zusammenhang mit den Empfehlungen des BAFU für Fluglärmerechnungsverfahren. Bericht 3: Auswirkungen auf die Fluglärmerechnung*. Bericht Nr. 841'384 - 3. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [23] Empa, 2011. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2010*. Bericht Nr. 458'512 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [24] Empa, 2011. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2010*. Bericht Nr. 457'090. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [25] Empa, 2012. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2011*. Bericht Nr. 460'539 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [26] Empa, 2012. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2011*. Bericht Nr. 459'899. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [27] Empa, 2013. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2012*. Bericht Nr. 5'214'001'738 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [28] Empa, 2013. *Flughafen Zürich, Vorläufiges Betriebsreglement, Berechnung des genehmigten Lärms gemäss Bundesgerichtsentscheid*. Bericht Nr. 461'852. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [29] Empa, 2013. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2012, Einfluss der erhöhten bzw. verschärften Schallschutzanforderungen der SIA-Norm 181 auf den ZFI*. Bericht-Nr. 5'214'001'738 - 3. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [30] Empa, 2013. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2012*. Bericht Nr. 5'214'000'982. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [31] Empa, 2014. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2013*. Bericht Nr. 5214.005883 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [32] Empa, 2014. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2013*. Bericht Nr. 5214.004983. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [33] Empa, 2015. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2014*. Bericht Nr. 5214.008333 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [34] Empa, 2015. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2014*. Bericht Nr. 5214.008708. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [35] Empa, 2016. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2015*. Bericht Nr. 5214.012095 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [36] Empa, 2016. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2015*. Bericht Nr. 5214.011975. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [37] Empa, 2017. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2016*. Bericht Nr. 5214.014941 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [38] Empa, 2017. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2016*. Bericht Nr. 5214.014942. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [39] Empa, 2017. *Modifications of aircraft noise calculations with FLULA2 responding to the specifications of the Aircraft Noise Guidelines. Effects on calculation results*. Bericht Nr. 5213.00094. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [40] Empa, 2018. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2017*. Bericht Nr. 5214.018366 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.

- [41] Empa, 2018. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2017*. Bericht Nr. 5214.018332. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [42] Empa, 2019. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2018*. Bericht Nr. 5214.021166 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [43] Empa, 2019. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2018*. Bericht Nr. 5214.021462. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [44] Empa, 2019. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2018, Einfluss der Fensterschliessmechanismen und des aktualisierten Quellendatensatzes von FLULA2 auf den ZFI*. Bericht Nr. 5214.021166 - 3. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [45] Empa, 2019. *FLULA2 — Auswirkungen neuer, aus sonAIR abgeleiteter Quelldaten auf Fluglärm-Belastungsrechnungen*. Bericht Nr. 5214.019893. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [46] Empa, 2020. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2019*. Bericht Nr. 5214.024180 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [47] Empa, 2020. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2019*. Bericht Nr. 5214.024057. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [48] Empa, 2021. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2020*. Bericht Nr. 5214.026525. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [49] Empa, 2021. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2019, Einfluss der Methodik zur Erhebung der passiven Massnahmen auf die HSD*. Bericht Nr. 5214.027861. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [50] Empa, 2021. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2020*. Bericht Nr. 5214.026437 - 1. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [51] Empa, 2022. *Flughafen Zürich, Fluglärmbelastung im Jahre 2021*. Bericht Nr. 5214.028919. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [52] Empa, 2022. *Flughafen Zürich, Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2021, Sensitivitätsbetrachtungen 2020*. Bericht Nr. 5214.028868 - 2. Empa, Abteilung Akustik / Lärminderung, Dübendorf.
- [53] FALS, 2021. *Webpage: Schallschutz - Gebäudeaussenhülle, Vollzugspraxis Art. 32 LSV, De-Werte Wohnräume Lärmempfindlichkeit mittel (PDF: Anforderungswerte De Wohnräume Lärmempfindlichkeit mittel)*. Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich (FALS), Zürich, Schweiz.
URL: <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/laerm-schall/planen-bauen-laerm/laerm-schutz-bauvorhaben.html>.
- [54] Hofmann, R., 2006. *ZFI, ein Zürcher Fluglärmindex? Machbarkeitsstudie im Auftrag des Amtes für Verkehr des Kt. Zürich*. Wallisellen, Schweiz.
- [55] LSV, 1986. *Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986 (Stand am 1. Juli 2021)*. URL: https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1987/338_338_338/de.
- [56] Miedema, H.M.E. and C.G.M. Oudshoorn, 2001. *Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals*. *Environmental Health Perspectives* **109**, 409-416.
- [57] Schäffer, B., R. Bütikofer, S. Plüss, and G. Thomann, 2011. *Aircraft noise: accounting for changes in air traffic with time of day*. *Journal of the Acoustical Society of America* **129**, 185-199.
- [58] SIA, 2020. *Norm SIA 181:2020 Bauwesen, SN 520 181, Schallschutz im Hochbau*. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich.
- [59] ZFI-Verordnung, 2011. *Verordnung zum Zürcher Fluglärm-Index (ZFI-VO) vom 7. Dezember 2011. LS 748.15*. URL: <http://www.zhlex.zh.ch/Erlass.html?Open&Ordnr=748.15>.

8. Verzeichnisse

8.1. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1	Belastungs-Wirkungsbeziehungen zur Bestimmung (a) des Prozentsatzes der durch Fluglärm am Tag (06–22 h) stark belästigten Personen (%HA), und (b) des Prozentsatzes der durch Fluglärm im Schlaf stark gestörten Personen (%HSD) für einen, fünf, zehn und zwanzig Überflüge.	10
Abbildung 3-2	(a) $D_{e,07}$. (b) $D_{e,12}$ und (c) $D_{e,17}$ Standard-Schallpegeldifferenzen: Anforderungswerte gemäss SIA-Norm 181, konkretisiert von der FALS für die Fluglärmbelastung um den Flughafen Zürich. Graphiken (a) und (b) aus [29].	15
Abbildung 4-1	Jährliche Flugbewegungszahlen des RZ und der Jahre 2005 bis 2021 für (a) den Tag (06–22 h) und (b) die Nacht (22–06 h).	20
Abbildung 5-1	Flächen [km ²] der Untersuchungsperimeter (a) für den Tag ($Leq^{*}_{16} \geq 47$ dB) und (b) die Nacht ($Leq_N \geq 37$ dB). Zahlenwerte: Anhang, Kap. 9.1.	22
Abbildung 5-2	Personen innerhalb der Untersuchungsperimeter (a) für den Tag ($Leq^{*}_{16} \geq 47$ dB) und (b) die Nacht ($Leq_N \geq 37$ dB). Zahlenwerte: Anhang, Kap. 9.1.	22
Abbildung 5-3	(a) Anzahl <i>Highly Annoyed</i> (HA) und (b) Anzahl <i>Highly Sleep Disturbed</i> (HSD); Fortführung der HSD ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen über ΔHSD . Zahlenwerte: Tabelle 5-1.	23
Abbildung 5-4	Kombination der HA (grüne Säulen) und HSD (orange Säulen) zum ZFI (Zahlenwerte: Tabelle 5-1) und die Differenz ΔHSD zum ZFI ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen. Richtwert (rote Linie): 47'000 Personen.	24
Abbildung 5-5	ZFI des Jahres 2021, unterteilt in die vier Quadranten. Übersichtskarte PK200: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	26
Abbildung 5-6	Prozentuale Anteile der HA, HSD und des ZFI in den vier Quadranten (Q1–Q4) an den Gesamtzahlen gemäss Tabelle 5-1. Zahlenwerte: Kap. 9.8. Unten rechts der ZFI 2021, unterteilt in die 4 Quadranten (grösser dargestellt in Abbildung 5-5). Übersichtskarte PK200: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	27
Abbildung 9-1	Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2019 bis 2021. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	36
Abbildung 9-2	Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2016 bis 2018. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	37
Abbildung 9-3	Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2013 bis 2015. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	38
Abbildung 9-4	Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2010 bis 2012. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	39
Abbildung 9-5	Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2007 bis 2009. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	40
Abbildung 9-6	Untersuchungsperimeter HA und HSD des Jahres 2005, 2006 und des RZ. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.	41
Abbildung 9-7	Prozentuale Pistenbelegung der (a) Starts und (b) Landungen am Tag für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021.	44
Abbildung 9-8	Prozentuale Pistenbelegung der (a) Starts und (b) Landungen in der Nacht für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021.	45

8.2. Tabellenverzeichnis

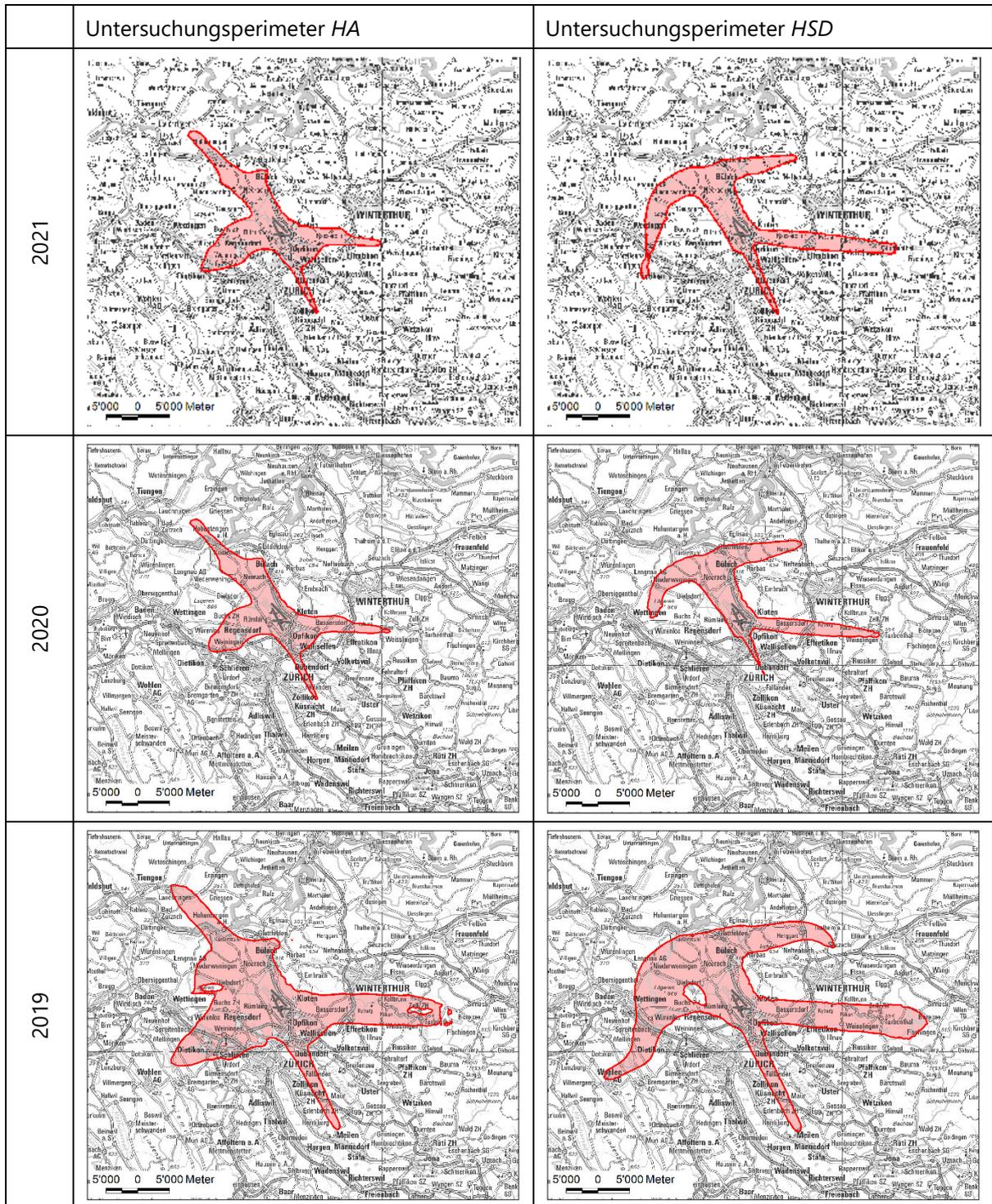
Tabelle 2-1	Zeitperioden	6
Tabelle 2-2	Berechnungsausschnitte	6
Tabelle 5-1	Offizielle Werte <i>HA</i> , <i>HSD</i> und <i>ZFI</i> und deren jährliche Veränderungen (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	25
Tabelle 5-2	Fortführung von Tabelle 5-1 ohne Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen..	25
Tabelle 9-1	Flächen und Anzahl Personen (AP) im Untersuchungsperimeter (UP) für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021	42
Tabelle 9-2	Jährliche Flugbewegungszahlen der Grossflugzeuge für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021	43
Tabelle 9-3	<i>ZFI</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	46
Tabelle 9-4	<i>ZFI</i> der einzelnen Gemeinden von Deutschland sowie der Kantone Schaffhausen und Thurgau (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	47
Tabelle 9-5	<i>ZFI</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 1 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])	48
Tabelle 9-6	<i>ZFI</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])	49
Tabelle 9-7	<i>ZFI</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])	50
Tabelle 9-8	<i>HA</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau sowie von Deutschland	51
Tabelle 9-9	<i>HA</i> der einzelnen Gemeinden der Kantone Schaffhausen und Zürich – Teil 1	52
Tabelle 9-10	<i>HA</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2.....	53
Tabelle 9-11	<i>HA</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3.....	54
Tabelle 9-12	<i>HSD</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	55
Tabelle 9-13	<i>HSD</i> der einzelnen Gemeinden der Kantone Schaffhausen und Thurgau (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	56
Tabelle 9-14	<i>HSD</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 1 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])	57
Tabelle 9-15	<i>HSD</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])	58
Tabelle 9-16	<i>HSD</i> der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	59
Tabelle 9-17	<i>ZFI</i> der einzelnen Stadtzürcher Quartiere (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	60
Tabelle 9-18	<i>HA</i> der einzelnen Stadtzürcher Quartiere.....	61
Tabelle 9-19	<i>HSD</i> der einzelnen Stadtzürcher Quartiere (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59]).....	62
Tabelle 9-20	Absolutwerte der <i>HA</i> , <i>HSD</i> und <i>ZFI</i> der vier Quadranten. Die Summe entspricht den offiziellen Werten der Berechnungsjahre (Tabelle 5-1).....	63
Tabelle 9-21	Prozentuale Anteile der <i>HA</i> , <i>HSD</i> und <i>ZFI</i> der vier Quadranten.....	64

8.3. Kartenverzeichnis

Karte 1	Vergleich des tagesrandstundengewichteten 16h-Mittelungspegels (Leq^*_{16}) mit dem ungewichteten 16h-Mittelungspegel (Leq_{16}), 2021, Grossflugzeuge Tag (06 bis 22 Uhr)
Karte 2	<i>ZFI</i> , 2021
Karte 3	Anzahl der durch Fluglärm am Tag stark belästigten Personen <i>HA</i> , 2021
Karte 4	Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen <i>HSD</i> , 2021
Karte 5	Untersuchungsperimeter <i>HA</i> der Jahre 2021, 2020 sowie des Referenzzustands
Karte 6	Untersuchungsperimeter <i>HSD</i> der Jahre 2021, 2020 sowie des Referenzzustands

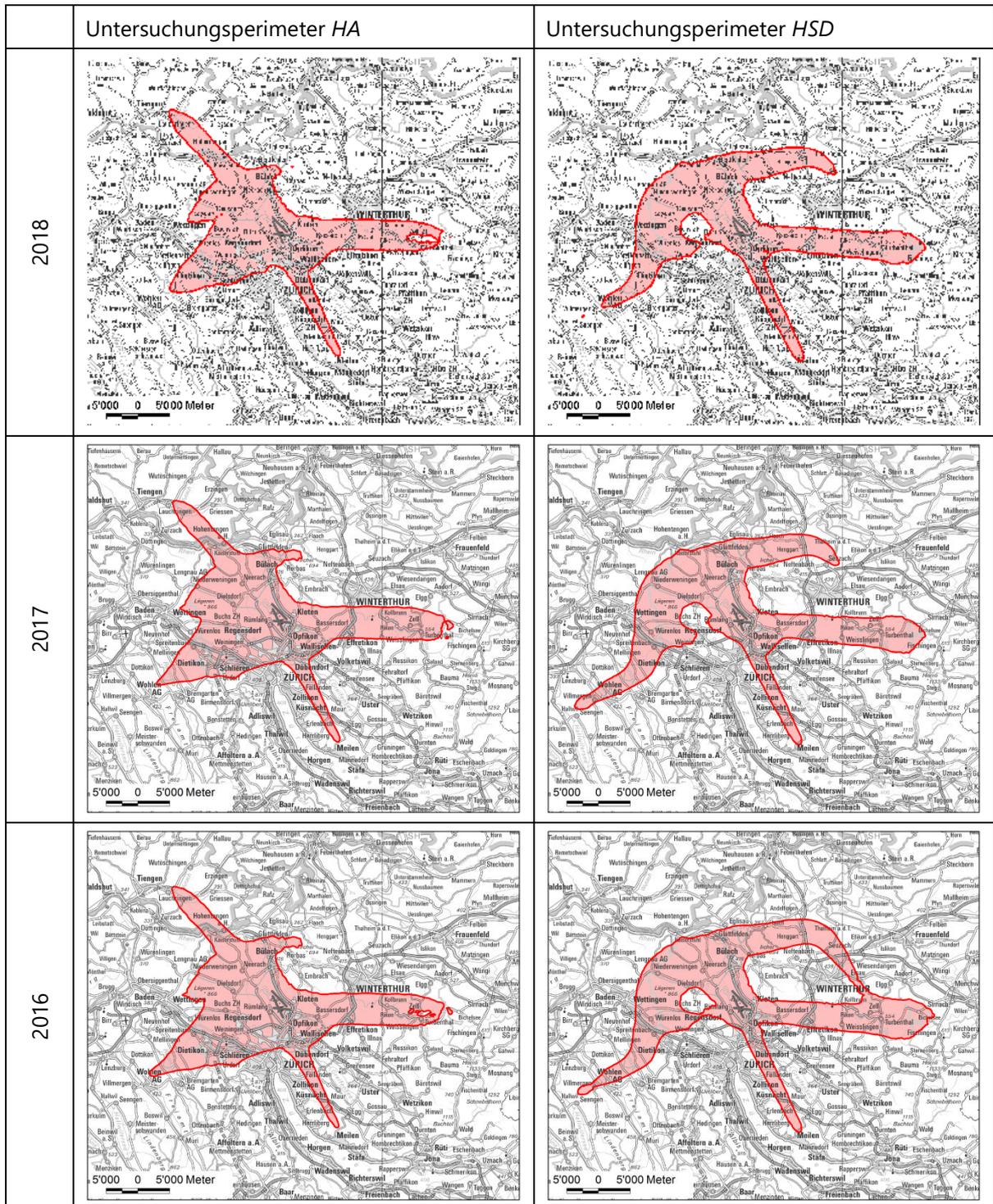
9. Anhang

9.1. Untersuchungsperimeter für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021



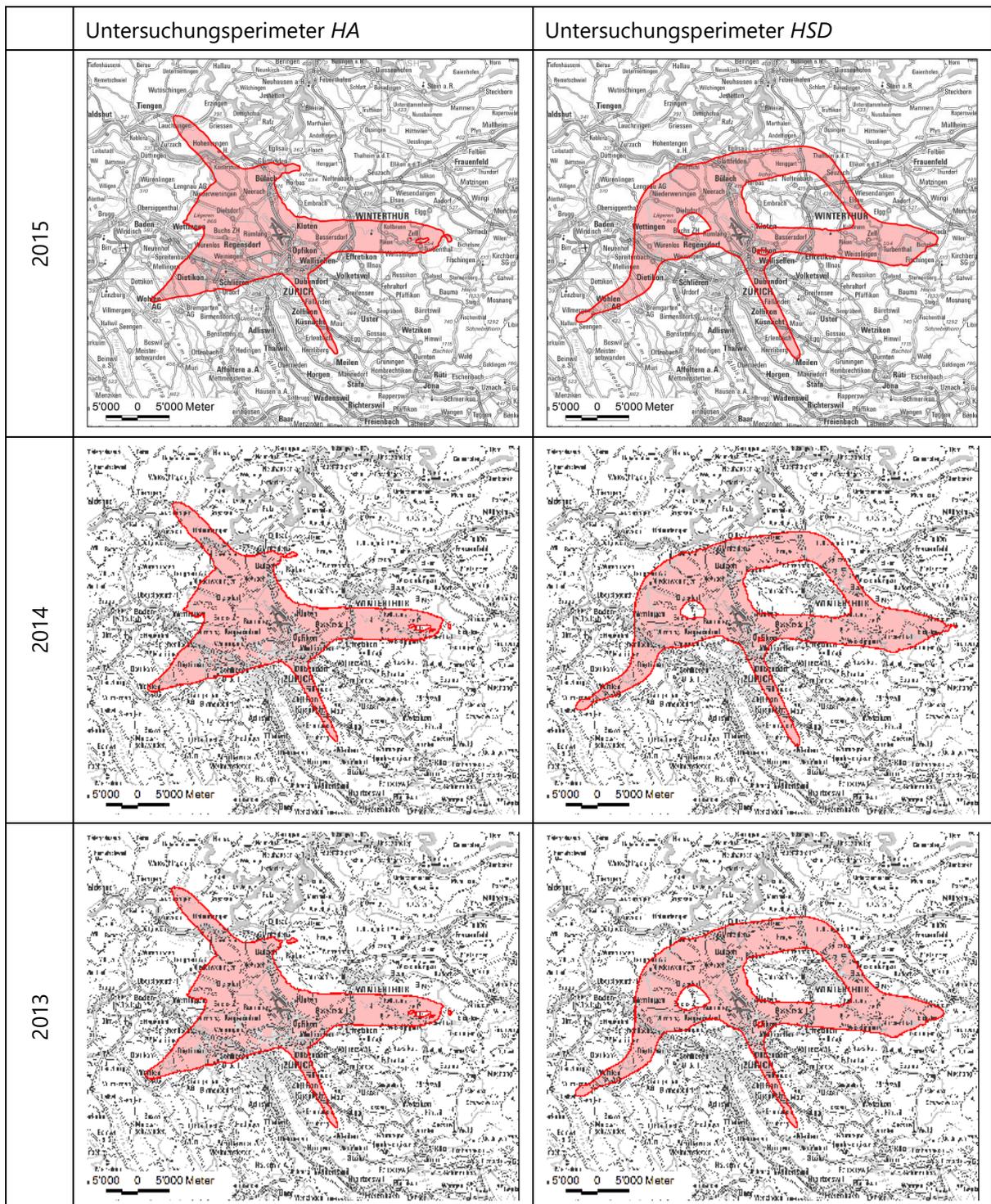
[Untersuchungsperimeter_RZ_05bis21.mxd]

Abbildung 9-1 Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2019 bis 2021. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.



[Untersuchungsperimeter_RZ_05bis21.mxd]

Abbildung 9-2 Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2016 bis 2018. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.



[Untersuchungsperimeter_RZ_05bis21.mxd]

Abbildung 9-3 Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2013 bis 2015. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.

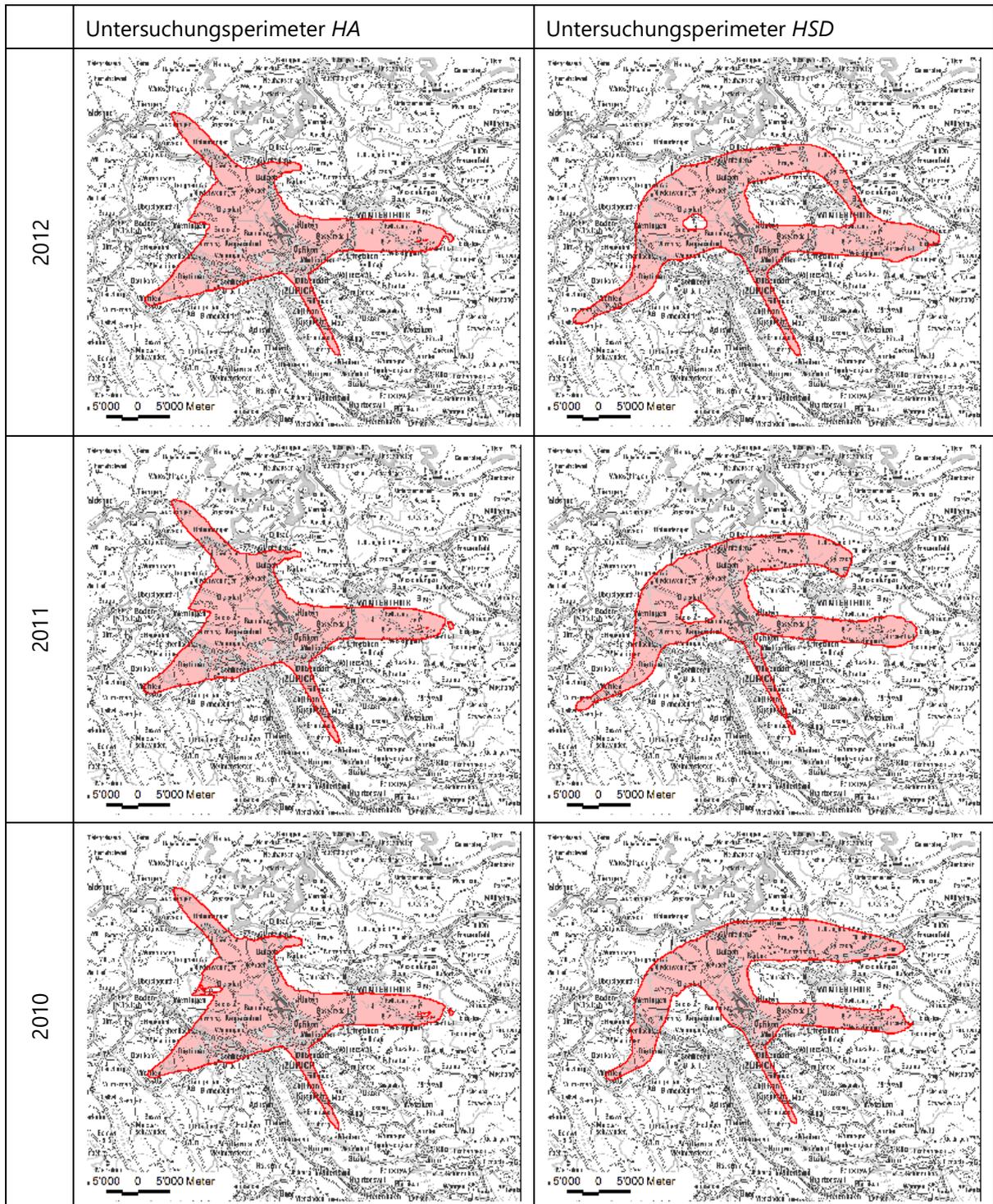
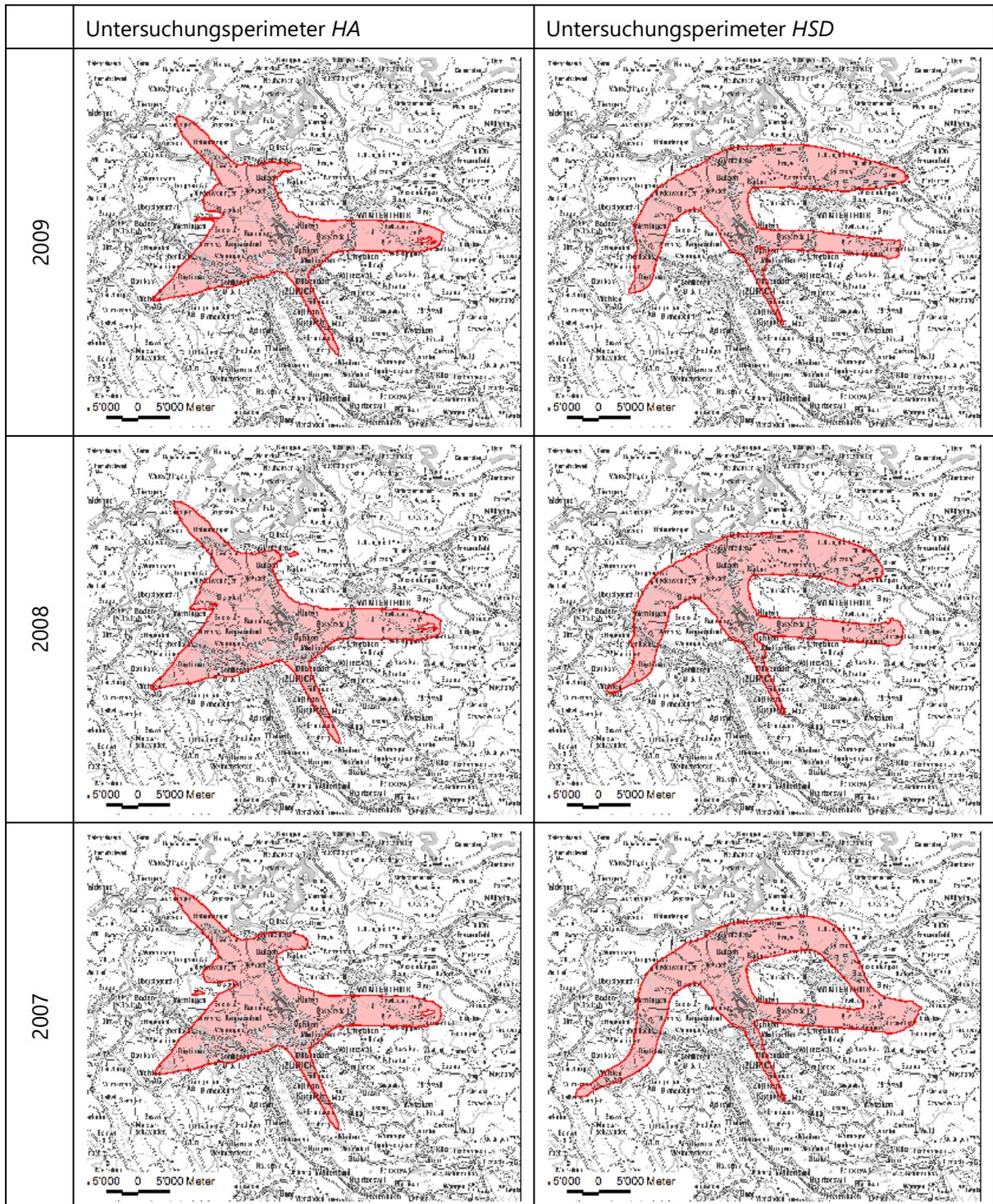
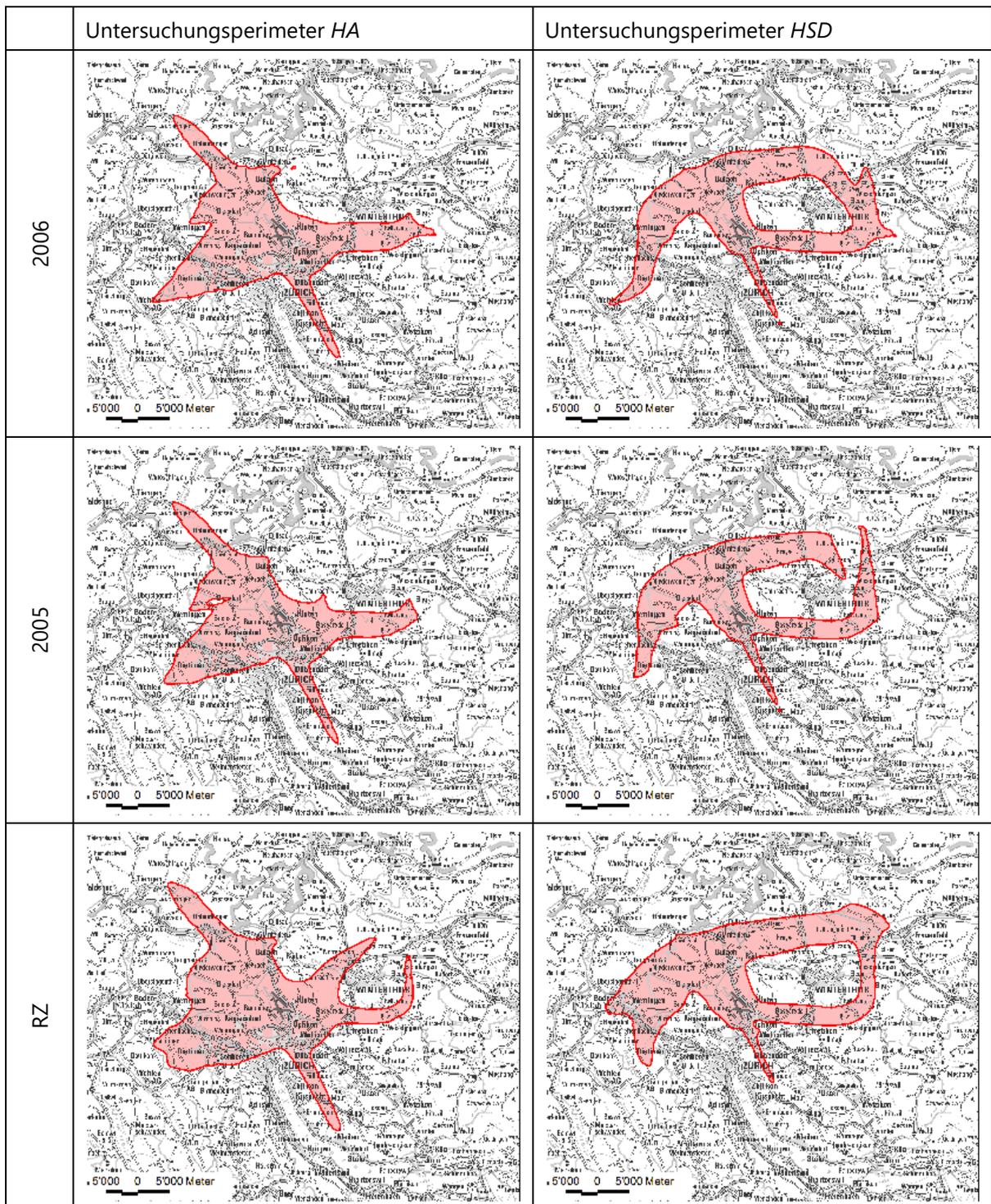


Abbildung 9-4 Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2010 bis 2012. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.



[Untersuchungsperimeter_RZ_05bis21.mxd]

Abbildung 9-5 Untersuchungsperimeter HA und HSD der Jahre 2007 bis 2009. Übersichtskarte PK500: Quelle: Bundesamt für Landestopografie.



[Untersuchungsperimeter_RZ_05bis21.mxd]

Abbildung 9-6 Untersuchungsperimeter HA und HSD des Jahres 2005, 2006 und des RZ. Übersichtskarte PK500:
 Quelle: Bundesamt für Landestopografie.

Tabelle 9-1 Flächen und Anzahl Personen (AP) im Untersuchungsperimeter (UP) für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021

Szenario	Jahr	Tag (06–22 h)		Nacht (22–06 h)	
		Fläche UP	AP im UP	Fläche UP	AP im UP
ZRH21	2021	188.1	203'121	208.1	153'081
ZRH20	2020	172.6	180'561	168.6	106'180
ZRH19	2019	434.3	433'517	453.5	290'228
ZRH18	2018	436.2	428'427	463.8	298'715
ZRH17	2017	493.4	502'330	490.8	314'146
ZRH16	2016	483.6	489'442	507.6	306'403
ZRH15	2015	475.1	465'119	535.6	328'296
ZRH14	2014	469.7	452'968	562.4	336'566
ZRH13	2013	467.1	442'490	539.1	313'687
ZRH12	2012	477.5	438'624	547.4	328'687
ZRH11	2011	479.7	443'362	455.6	261'282
ZRH10	2010	457.4	411'710	463.5	262'942
ZRH09	2009	439.9	396'920	430.1	240'726
ZRH08	2008	456.0	409'586	443.5	247'505
ZRH07	2007	455.7	397'500	453.8	240'966
ZRH06	2006	445.4	386'780	397.8	210'752
ZRH05	2005	421.8	355'656	372.2	181'697
ZRHRZ	RZ	515.2	409'104	467.4	218'813

[ZF121_SENS20.xlsx/ Übersicht]

Fläche UP
 AP im UP

Fläche des Untersuchungsperimeters in [km²]
 Anzahl Personen im Untersuchungsperimeter

9.2. Jährliche Flugbewegungszahlen der Grossflugzeuge

Tabelle 9-2 Jährliche Flugbewegungszahlen der Grossflugzeuge für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021

Jahr	T1 (06–07 h)	T2-T15 (07–21 h)	T16 (21–22 h)	Tag (06–22 h)	N1 (22–23 h)	N2 (23–05 h)	N3 (05–06 h)	Nacht (22–06 h)	Total
2021	3'716	99'371	5'039	108'126	3'709	654	1	4'364	112'490
2020	3'207	84'527	4'792	92'526	2'727	353	2	3'082	95'608
2019	9'194	220'791	15'913	245'898	10'306	2'565	1	12'872	258'770
2018	9'329	221'594	16'108	247'031	10'528	3'027	3	13'558	260'589
2017	8'784	215'967	15'832	240'583	9'761	2'623	6	12'390	252'973
2016	8'723	214'904	16'768	240'395	9'781	2'486	6	12'273	252'668
2015	8'414	210'401	16'442	235'257	9'230	2'385	7	11'622	246'879
2014	7'537	211'124	16'782	235'443	8'740	2'237	5	10'982	246'425
2013	6'812	210'997	17'259	235'068	8'068	2'046	3	10'117	245'185
2012	7'529	216'495	15'821	239'845	8'457	2'289	3	10'749	250'594
2011	7'874	223'475	15'420	246'769	7'747	1'862	3	9'612	256'381
2010	7'327	212'673	14'795	234'795	7'580	2'464	12	10'056	244'851
2009	7'602	209'195	13'607	230'404	6'775	1'968	6	8'749	239'153
2008	7'922	217'808	14'943	240'673	6'839	2'456	8	9'303	249'976
2007	7'594	210'486	13'830	231'910	6'501	2'560	5	9'066	240'976
2006	7'442	206'177	13'583	227'202	6'394	1'508	2	7'904	235'106
2005	6'991	213'293	13'492	233'776	7'229	1'052	4	8'285	242'061
RZ	9'153	263'230	17'348	289'731	9'883	0	0	9'883	299'614

[ZFI21_SENS20.xlsx / Bewegungszahlen]

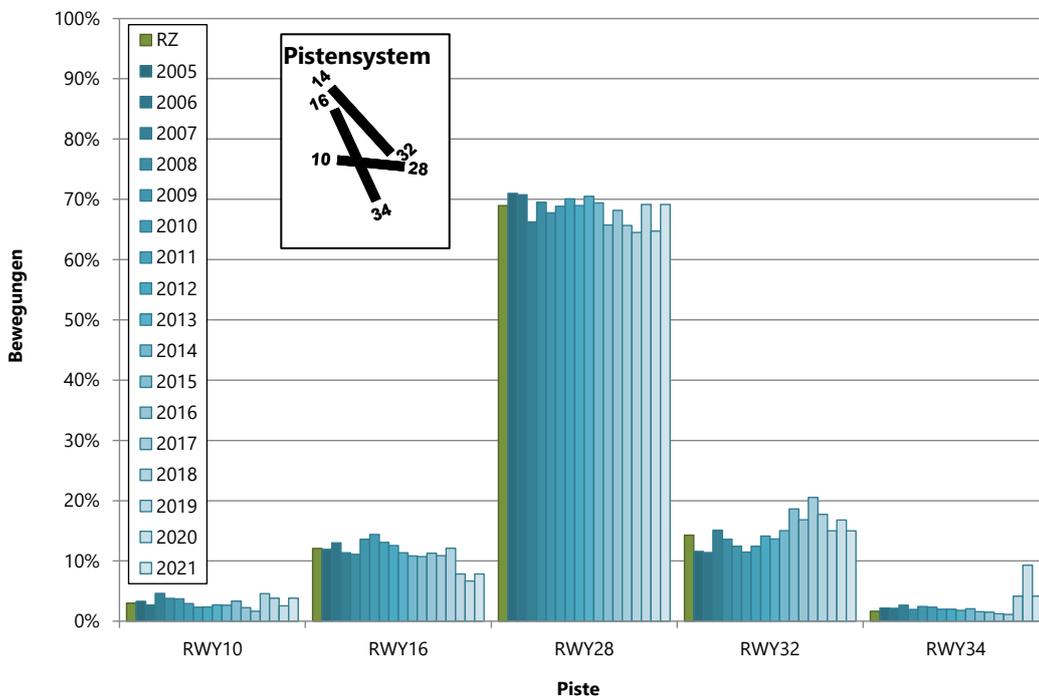
T1 Erste Tagesstunde
 N1 Erste Nachtstunde

T2-T15 Übrige Tagesstunden
 N2 Zweite Nachtstunde

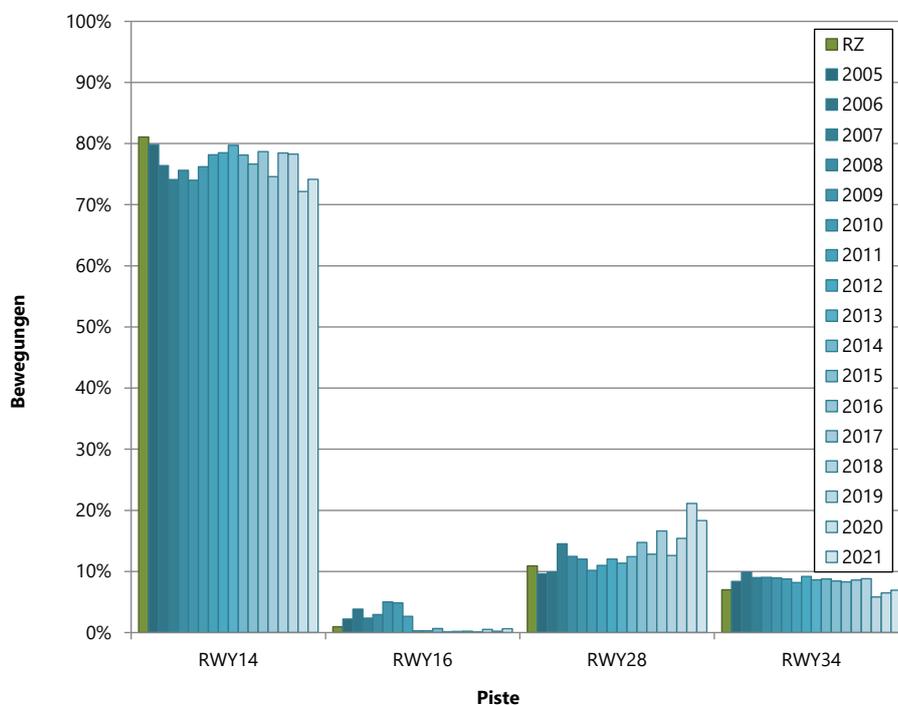
T16 Letzte Tagesstunde
 N3 Letzte Nachtstunde

9.3. Pistenbelegung am Tag und in der Nacht

(a) Starts (Tag)



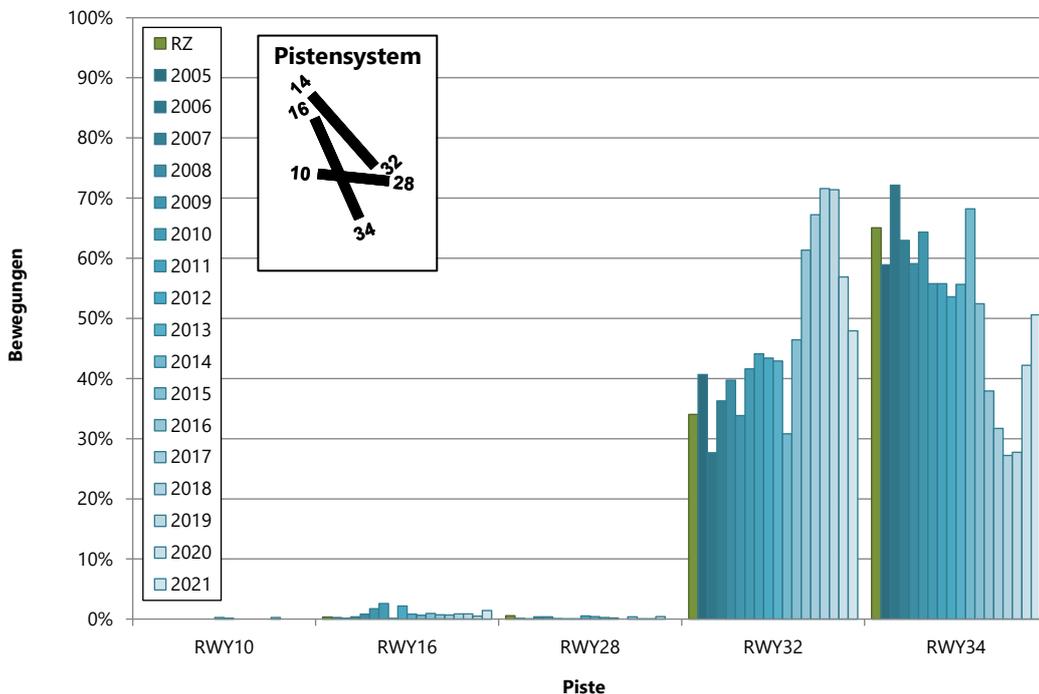
(b) Landungen (Tag)



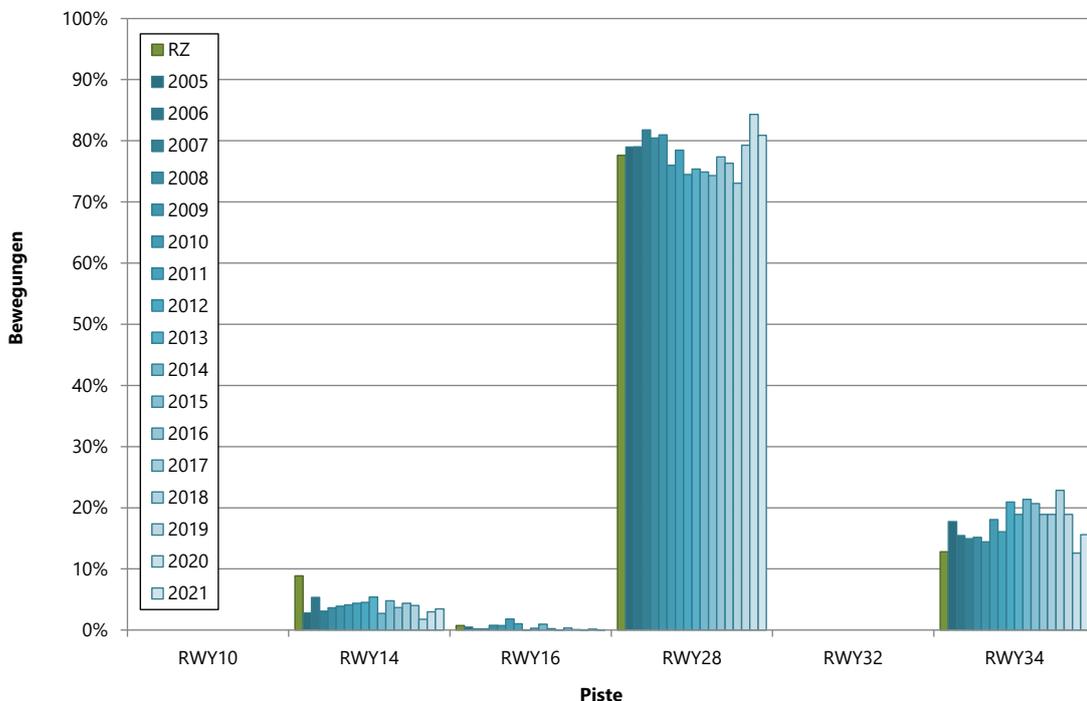
[ZRRZund05bis21_PistenBelegung.xlsx / PistenRoutenbelegung]

Abbildung 9-7 Prozentuale Pistenbelegung der (a) Starts und (b) Landungen am Tag für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021.

(a) Starts (Nacht)



(b) Landungen (Nacht)



[ZRRZund05bis21_PistenBelegung.xlsx / PistenRoutenbelegung]

Abbildung 9-8 Prozentuale Pistenbelegung der (a) Starts und (b) Landungen in der Nacht für den RZ und die Jahre 2005 bis 2021.

9.4. ZFI aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen

Tabelle 9-3 ZFI der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Aargau	Baden	4021	345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bellikon	4022	100	193	176	175	170	181	160	142	134	0	1
	Bergdietikon	4023	109	138	135	141	143	149	141	121	117	0	0
	Eggenwil	4066	0	14	8	7	5	5	2	0	0	0	0
	Ehrendingen	4049	157	190	157	215	214	221	251	230	250	0	0
	Ennetbaden	4026	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fischbach-Göslikon	4067	0	103	92	98	95	105	82	43	38	0	0
	Fisibach	4306	25	23	24	24	24	27	29	32	34	3	10
	Freienwil	4028	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hägglingen	4068	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Kaiserstuhl	4308	47	36	37	37	37	38	39	43	43	19	22
	Killwangen	4030	107	108	96	108	111	120	120	115	101	0	3
	Künten	4031	52	150	138	146	145	152	136	120	109	0	0
	Lengnau (AG)	4312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mellingen	4033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neuenhof	4034	212	40	33	45	64	73	136	68	26	0	0
	Niederrohrdorf	4035	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Niederwil (AG)	4072	0	130	117	119	112	130	97	58	51	0	0
	Oberrohrdorf	4037	123	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Obersiggenthal	4038	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Remetschwil	4039	82	78	72	76	71	82	70	53	46	0	1
	Rudolfstetten-Friedlisberg	4075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schneisingen	4318	80	57	63	77	72	75	85	80	99	1	8
	Seengen	4208	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Siglistorf	4319	5	1	1	1	1	1	1	1	10	0	0
	Spreitenbach	4040	889	1'127	1'025	1'067	1'076	1'185	1'163	990	858	0	9
	Stetten (AG)	4041	31	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Villmergen	4080	0	125	89	86	89	81	116	0	0	0	0
	Wettingen	4045	601	224	194	264	239	263	328	263	225	0	0
	Widen	4081	11	14	13	12	10	12	8	2	2	0	0
Wohlen (AG)	4082	0	208	124	126	134	139	172	42	19	0	0	
Würenlos	4048	372	404	354	398	401	443	469	423	368	0	102	
Aargau Total			3'567	3'365	2'948	3'223	3'215	3'483	3'609	2'828	2'529	23	157

**Tabelle 9-4 ZFI der einzelnen Gemeinden von Deutschland sowie der Kantone Schaffhausen und Thurgau
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])**

Kanton / Land	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Deutschland	Hohentengen am Hochrhein		79	58	87	86	87	94	93	100	103	14	23
	Klettgau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Küssaberg		43	31	13	12	11	12	12	16	14	0	1
	Lauchringen		35	1	3	1	1	2	1	27	7	0	0
Deutschland Total			157	89	103	100	99	108	106	143	124	14	24
Schaffhausen	Buchberg	2933	34	28	35	30	25	24	25	22	19	1	0
	Rüdlingen	2938	15	8	17	12	4	2	1	0	0	0	0
Schaffhausen Total			49	36	52	42	29	26	26	22	19	1	0
Thurgau	Aadorf	4551	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Bichelsee-Balterswil	4721	0	162	158	186	183	167	16	9	23	0	0
	Eschlikon	4724	0	30	50	66	37	0	0	0	0	0	0
	Fischingen	4726	0	2	4	18	5	3	2	1	4	0	0
	Frauenfeld	4566	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gachnang	4571	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neunforn	4601	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sirnach	4761	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
	Uesslingen-Buch	4616	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Thurgau Total			102	194	213	280	224	170	18	11	27	0	0

[ZFI21_SENS20.xlsx / ZFI]

Tabelle 9-5 ZFI der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 1
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Adlikon	21	19	13	18	16	14	11	1	1	0	0	0
	Altikon	211	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Andelfingen	30	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bachenbülach	51	487	567	563	582	564	580	646	575	577	102	121
	Bachs	81	101	101	98	105	104	114	116	105	99	14	16
	Bassersdorf	52	1'421	2'374	2'201	2'428	2'532	2'615	2'556	2'567	2'600	646	910
	Berg am Irchel	23	32	26	32	27	22	22	22	20	18	6	4
	Boppelsen	82	83	84	92	101	101	106	116	72	77	0	0
	Brütten	213	20	117	108	110	111	103	97	98	89	0	1
	Buch am Irchel	24	33	35	45	37	32	34	33	31	28	8	5
	Buchs (ZH)	83	516	911	821	922	854	777	705	634	833	271	353
	Bülach	53	1'733	2'058	2'070	2'215	2'208	2'263	2'510	1'994	2'006	373	422
	Dägerlen	214	33	36	47	39	34	33	30	26	23	0	0
	Dällikon	84	502	729	704	763	746	786	750	701	546	285	343
	Dänikon	85	150	224	209	226	212	220	215	195	166	0	5
	Dättlikon	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dielsdorf	86	349	352	382	377	377	397	418	314	307	3	34
	Dietikon	243	1'339	1'763	1'780	1'829	1'832	1'939	1'831	1'579	1'594	0	173
	Dietlikon	54	646	733	626	688	711	675	758	669	662	122	207
	Dinhard	216	43	15	36	19	13	14	6	1	0	0	0
	Dorf	26	29	26	33	28	23	23	24	21	18	4	0
	Dübendorf	191	520	512	488	550	620	636	684	731	648	139	191
	Egg	192	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0
	Eglisau	55	112	63	126	93	49	48	66	47	38	4	2
	Elgg	294	13	16	20	20	16	14	0	5	4	0	0
	Ellikon an der Thur	218	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elsau	219	51	51	106	90	52	38	0	0	0	0	0
	Embrach	56	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fällanden	193	80	113	106	128	132	132	139	170	143	7	11
	Flaach	28	45	41	52	43	35	33	33	26	20	0	0
	Freienstein-Teufen	57	52	41	40	31	33	40	40	22	18	8	7
	Geroldswil	244	462	527	486	517	498	519	538	469	429	140	226
	Glattfelden	58	367	354	383	378	378	384	420	301	313	87	90

Tabelle 9-6 ZFI der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRRHZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Henggart	31	71	88	114	95	78	81	75	67	62	6	0
	Herrliberg	152	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Hettlingen	221	50	55	90	70	36	37	6	1	1	0	0
	Hochfelden	59	457	534	509	534	511	508	521	465	460	191	204
	Höri	60	1'011	1'033	1'042	1'042	1'016	1'081	1'123	1'107	1'047	508	548
	Humlikon	32	18	19	24	20	17	17	16	14	13	0	0
	Hüttikon	87	50	66	61	69	74	81	83	69	45	0	0
	Illnau-Effretikon	296	79	308	265	361	405	469	500	455	491	21	46
	Kloten	62	4'850	6'092	5'827	6'332	6'569	7'000	6'958	7'247	7'331	2'578	3'445
	Küsnacht (ZH)	154	23	32	27	37	43	40	44	58	49	0	0
	Lindau	176	345	701	652	763	814	874	893	867	920	259	315
	Lufingen	63	74	40	37	37	38	36	38	37	39	0	0
	Maur	195	113	147	128	166	183	172	183	247	201	0	0
	Meilen	156	0	0	0	1	2	2	2	5	2	0	0
	Neerach	88	370	522	513	508	521	567	612	554	510	144	158
	Neftenbach	223	159	6	9	7	6	6	7	6	3	0	0
	Niederglatt	89	969	1'142	1'155	1'149	1'161	1'266	1'366	1'295	1'256	463	494
	Niederhasli	90	1'368	1'500	1'519	1'570	1'498	1'588	1'682	1'500	1'505	515	627
	Niederweningen	91	249	229	213	275	266	285	349	279	307	43	66
	Nürensdorf	64	918	1'481	1'377	1'566	1'658	1'741	1'703	1'726	1'774	561	734
	Oberembrach	65	61	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Oberengstringen	245	335	351	353	358	356	372	381	291	298	0	0
	Oberglatt	92	1'636	1'721	1'765	1'820	1'781	1'864	1'986	1'917	1'868	848	967
	Oberweningen	93	126	219	197	225	225	235	258	224	168	0	11
	Oetwil an der Limmat	246	211	281	242	268	270	294	311	284	172	13	55
	Opfikon	66	3'581	5'062	4'828	5'260	5'595	5'718	5'810	6'315	5'961	2'592	3'125
	Ossingen	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otelfingen	94	147	167	143	180	168	203	248	172	147	0	1
	Pfungen	224	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Regensberg	95	38	30	22	22	21	23	32	18	16	0	0
	Regensdorf	96	2'010	2'782	2'560	2'871	2'735	2'532	2'479	2'161	2'159	1'079	1'271
	Rickenbach (ZH)	225	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 9-7 ZFI der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRRHZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Rorbas	68	59	15	39	11	3	8	5	3	1	0	0
	Rümlang	97	1'433	1'918	1'929	2'084	2'044	2'172	2'185	2'137	2'127	940	1'174
	Schlatt (ZH)	226	48	51	52	54	48	41	18	17	16	0	0
	Schleinikon	98	67	91	82	94	93	100	111	97	81	3	16
	Schlieren	247	605	736	743	757	781	860	859	654	682	0	0
	Schöfflisdorf	99	104	169	148	161	167	178	195	159	117	0	0
	Seuzach	227	35	129	203	168	112	102	1	0	0	0	0
	Stadel	100	513	571	560	608	617	649	694	682	633	274	302
	Stammheim	292	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steinmaur	101	202	248	201	229	232	265	316	219	160	0	0
	Thalheim an der Thur	39	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Turbenthal	228	0	517	488	562	612	647	667	613	689	0	164
	Unteregstringen	249	213	251	258	267	268	281	287	234	240	0	23
	Urdorf	250	260	230	213	211	229	318	285	114	133	0	0
	Volken	43	13	12	14	13	11	11	11	10	9	0	0
	Wallisellen	69	1'634	2'144	2'072	2'346	2'484	2'282	2'359	2'445	2'300	593	859
	Wangen-Brüttisellen	200	282	322	272	276	289	285	296	260	268	0	0
	Weiach	102	185	159	169	183	209	223	273	277	305	118	139
	Weiningen (ZH)	251	339	414	415	410	415	450	439	378	376	63	159
	Weisslingen	180	37	234	215	281	309	328	350	339	346	19	45
	Wiesendangen	298	67	61	139	108	45	28	0	0	0	0	0
	Wila	181	0	40	42	69	85	102	103	94	79	0	0
	Wildberg	182	0	38	36	43	47	49	49	49	48	1	1
	Winkel	72	601	682	697	685	684	736	833	800	761	201	238
	Winterthur	230	167	556	733	696	538	396	185	181	180	0	0
	Zell (ZH)	231	254	722	697	776	811	821	813	779	826	51	146
	Zollikon	161	19	27	23	29	30	29	31	36	33	0	0
Zumikon	160	131	157	116	171	211	205	224	298	248	0	0	
Zürich	261	7'512	8'109	7'905	8'468	8'625	9'110	9'740	7'711	6'879	1'127	1'437	
Zürich Total			43'574	55'101	53'807	57'736	58'348	60'323	61'749	57'343	55'601	15'430	19'890
Total			47'450	58'785	57'123	61'381	61'916	64'110	65'507	60'347	58'300	15'468	20'071

9.5. HA aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen

Tabelle 9-8 HA der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau sowie von Deutschland

Kanton / Land	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12	ZRH13	ZRH14	ZRH15	ZRH16	ZRH17	ZRH18	ZRH19	ZRH20	ZRH21
Aargau	Bellikon	4022	67	107	103	99	94	97	90	78	75	0	0
	Bergdietikon	4023	109	138	135	141	143	149	141	121	117	0	0
	Eggenwil	4066	0	10	8	7	4	5	1	0	0	0	0
	Ehrendingen	4049	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fischbach-Göslikon	4067	0	45	43	43	38	42	30	0	0	0	0
	Fisibach	4306	24	23	23	23	23	26	28	30	32	3	10
	Hägglingen	4068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Kaiserstuhl	4308	47	36	37	37	37	38	39	43	43	19	22
	Killwangen	4030	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Künten	4031	52	77	73	75	72	74	69	57	52	0	0
	Mellingen	4033	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neuenhof	4034	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Niederrohrdorf	4035	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Niederwil (AG)	4072	0	59	56	52	41	51	28	0	0	0	0
	Oberrohrdorf	4037	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Remetschwil	4039	74	24	22	22	17	24	15	4	3	0	0
	Rudolfstetten-Friedlisberg	4075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Schneisingen	4318	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Siglistorf	4319	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Spreitenbach	4040	619	476	466	468	468	522	494	374	324	0	0
Stetten (AG)	4041	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wettingen	4045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Widen	4081	11	14	13	12	10	12	8	2	2	0	0	
Wohlen (AG)	4082	0	10	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
Würenlos	4048	195	0	0	1	1	9	12	0	0	0	0	
Aargau Total			1'470	1'018	980	980	948	1'049	955	710	649	22	32
Deutschland	Hohentengen am Hochrhein		79	58	87	86	87	94	93	100	103	14	23
	Klettgau		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Küssaberg		43	31	13	12	11	12	12	16	14	0	1
	Lauchringen		35	1	3	1	1	2	1	27	7	0	0
Deutschland Total			157	89	103	100	99	108	106	143	124	14	24

Tabelle 9-9 HA der einzelnen Gemeinden der Kantone Schaffhausen und Zürich – Teil 1

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12	ZRH13	ZRH14	ZRH15	ZRH16	ZRH17	ZRH18	ZRH19	ZRH20	ZRH21
Schaffhausen	Buchberg	2933	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Schaffhausen Total			0	1	0								
Zürich	Bachenbülach	51	182	214	215	224	238	233	259	196	212	23	21
	Bachs	81	47	38	41	43	44	46	48	38	41	3	0
	Bassersdorf	52	935	1'234	1'222	1'239	1'236	1'248	1'258	1'214	1'203	474	561
	Berg am Irchel	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Boppelsen	82	41	21	40	42	42	44	48	9	7	0	0
	Brütten	213	19	106	106	108	109	101	96	97	87	0	1
	Buchs (ZH)	83	516	663	685	672	672	713	699	612	600	271	353
	Bülach	53	508	673	667	741	861	856	976	601	697	127	136
	Dägerlen	214	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dällikon	84	502	561	563	580	581	623	614	551	546	285	343
	Dänikon	85	150	118	118	117	112	121	119	100	92	0	5
	Dielsdorf	86	334	352	382	377	377	396	410	314	307	3	34
	Dietikon	243	1'339	1'762	1'780	1'829	1'832	1'939	1'831	1'579	1'594	0	173
	Dietlikon	54	646	619	621	675	688	675	665	664	662	122	207
	Dinhard	216	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dübendorf	191	481	376	379	375	406	449	482	453	459	135	141
	Egg	192	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eglisau	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elgg	294	1	4	4	4	4	4	0	4	3	0	0
	Elsau	219	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Embrach	56	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fällanden	193	78	69	68	71	69	73	81	88	83	7	0
	Freienstein-Teufen	57	0	12	0	1	10	13	13	0	0	0	0
	Geroldswil	244	462	491	486	491	487	514	493	437	429	140	226
	Glattfelden	58	84	62	48	51	84	70	80	5	18	1	3
	Herrliberg	152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hettlingen	221	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hochfelden	59	181	220	214	227	235	230	236	196	209	123	126
	Höri	60	480	509	516	527	533	555	575	557	573	384	406
	Hüttikon	87	32	24	24	25	31	35	35	23	10	0	0
	Illnau-Effretikon	296	20	69	64	67	67	68	100	49	67	7	6

Tabelle 9-10 HA der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12	ZRH13	ZRH14	ZRH15	ZRH16	ZRH17	ZRH18	ZRH19	ZRH20	ZRH21
Zürich	Kloten	62	2'701	2'770	2'801	2'765	2'791	2'874	2'960	3'063	2'985	1'718	1'947
	Küsnacht (ZH)	154	23	17	15	16	15	16	20	23	23	0	0
	Lindau	176	142	241	238	244	246	252	283	242	260	117	95
	Lufingen	63	74	36	37	36	38	36	38	35	33	0	0
	Maur	195	113	87	81	87	87	89	101	112	112	0	0
	Meilen	156	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	Neerach	88	183	257	264	267	282	295	313	271	264	94	98
	Neftenbach	223	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Niederglatt	89	444	519	531	540	563	587	620	536	560	287	290
	Niederhasli	90	929	1'017	1'080	1'092	1'082	1'135	1'153	989	998	502	601
	Niederweningen	91	95	4	6	34	37	37	78	11	61	0	0
	Nürensdorf	64	484	614	609	623	636	654	681	651	642	333	345
	Oberembrach	65	61	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
	Oberengstringen	245	335	351	353	358	356	372	381	291	298	0	0
	Oberglatt	92	867	930	996	1'019	1'045	1'077	1'117	1'045	1'065	647	711
	Oberweningen	93	53	79	85	98	99	97	109	80	61	0	0
	Oetwil an der Limmat	246	211	186	182	181	185	207	197	178	169	13	55
	Opfikon	66	3'124	3'774	3'759	3'874	4'086	4'261	4'288	4'532	4'540	2'413	2'710
	Otelfingen	94	73	5	8	25	17	42	79	3	2	0	0
	Pfungen	224	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Regensberg	95	22	21	22	22	21	21	24	16	15	0	0
	Regensdorf	96	2'010	2'292	2'316	2'342	2'360	2'455	2'476	2'145	2'135	1'079	1'271
	Rorbas	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rümlang	97	1'039	1'181	1'227	1'253	1'256	1'340	1'345	1'312	1'310	783	886
	Schlatt (ZH)	226	15	18	17	18	18	18	17	16	15	0	0
	Schleinikon	98	27	28	30	35	35	36	41	30	24	0	0
	Schlieren	247	605	736	743	757	781	860	859	654	682	0	0
	Schöfflisdorf	99	44	66	70	77	81	81	90	62	48	0	0
	Seuzach	227	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Stadel	100	269	295	299	327	336	345	361	353	359	209	222
	Steinmaur	101	104	133	143	147	156	162	182	121	117	0	0
	Turbenthal	228	0	107	92	95	107	105	145	84	138	0	0
Unterengstringen	249	213	251	258	267	268	281	287	234	240	0	23	

Tabelle 9-11 HA der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12	ZRH13	ZRH14	ZRH15	ZRH16	ZRH17	ZRH18	ZRH19	ZRH20	ZRH21
Zürich	Urdorf	250	260	230	213	211	229	318	285	114	133	0	0
	Wallisellen	69	1'586	1'632	1'701	1'835	1'935	1'887	1'771	1'844	1'858	579	795
	Wangen-Brüttisellen	200	282	272	272	276	289	285	289	260	268	0	0
	Weiach	102	128	121	123	132	152	169	198	213	225	118	138
	Weiningen (ZH)	251	339	414	415	410	414	449	438	377	376	63	159
	Weisslingen	180	6	31	31	32	33	31	55	30	41	4	0
	Wiesendangen	298	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wildberg	182	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	Winkel	72	277	298	317	314	333	337	375	341	351	114	119
	Winterthur	230	159	182	173	178	182	181	178	180	177	0	0
	Zell (ZH)	231	62	222	213	215	221	218	246	212	235	0	0
	Zollikon	161	19	16	14	15	14	15	17	17	17	0	0
	Zumikon	160	131	89	72	75	75	83	103	123	122	0	0
Zürich	261	7'154	6'830	6'933	7'088	7'095	7'713	8'158	5'780	5'500	1'058	1'142	
Zürich Total			32'041	34'553	34'985	35'869	36'679	38'425	39'477	34'370	34'359	12'237	14'354
Total			33'668	35'660	36'068	36'949	37'726	39'583	40'539	35'223	35'132	12'272	14'410

[ZF121_SENS20.xlsx / HA]

9.6. HSD aufgeschlüsselt nach Gemeinden und Kantonen

Tabelle 9-12 HSD der einzelnen Gemeinden des Kantons Aargau

(* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRRHZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Aargau	Baden	4021	345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bellikon	4022	33	86	73	76	76	84	70	65	59	0	1
	Bergdietikon	4023	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eggenwil	4066	0	4	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Ehrendingen	4049	157	190	157	215	214	221	251	230	250	0	0
	Ennetbaden	4026	111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fischbach-Gössikon	4067	0	58	50	55	58	63	53	43	38	0	0
	Fisibach	4306	2	0	1	1	1	1	1	1	2	0	0
	Freienwil	4028	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hägglingen	4068	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Killwangen	4030	44	108	96	108	111	120	120	115	101	0	3
	Künten	4031	0	74	64	71	73	78	67	63	57	0	0
	Lengnau (AG)	4312	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neuenhof	4034	212	40	33	45	64	73	136	68	26	0	0
	Niederwil (AG)	4072	0	70	61	67	72	79	69	58	51	0	0
	Oberrohrdorf	4037	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
	Obersiggenthal	4038	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Remetschwil	4039	8	55	50	54	54	59	55	49	43	0	1
	Schneisingen	4318	65	57	63	77	72	75	85	80	99	1	8
	Seengen	4208	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Siglistorf	4319	5	1	1	1	1	1	1	1	10	0	0	
Spreitenbach	4040	270	652	559	599	608	663	669	616	535	0	9	
Stetten (AG)	4041	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Villmergen	4080	0	125	89	86	89	81	116	0	0	0	0	
Wettingen	4045	601	224	194	264	239	263	327	263	225	0	0	
Wohlen (AG)	4082	0	198	122	126	134	139	172	42	19	0	0	
Würenlos	4048	177	403	353	397	400	435	457	423	368	0	102	
Aargau Total			2'097	2'346	1'968	2'243	2'267	2'434	2'653	2'118	1'880	1	125

[ZFI21_SENS20.xlsx / HSD]

Tabelle 9-13 HSD der einzelnen Gemeinden der Kantone Schaffhausen und Thurgau
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRRHZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Schaffhausen	Buchberg	2933	34	28	35	30	24	24	25	22	19	1	0
	Rüdlingen	2938	15	8	17	12	4	2	1	0	0	0	0
Schaffhausen Total			49	35	52	42	28	26	25	22	19	1	0
Thurgau	Aadorf	4551	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Bichelsee-Balterswil	4721	0	162	158	186	183	167	16	9	23	0	0
	Eschlikon	4724	0	30	50	66	37	0	0	0	0	0	0
	Fischingen	4726	0	2	4	18	5	3	2	1	4	0	0
	Frauenfeld	4566	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gachnang	4571	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Neunforn	4601	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sirnach	4761	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0
Uesslingen-Buch	4616	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Thurgau Total			102	194	213	280	224	170	18	11	27	0	0

[ZFI21_SENS20.xlsx / HSD]

Tabelle 9-14 HSD der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 1
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Adlikon	21	19	13	18	16	14	11	1	1	0	0	0
	Altikon	211	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Andelfingen	30	8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Bachenbülach	51	305	353	348	358	325	347	387	379	365	78	100
	Bachs	81	54	63	57	62	60	68	69	67	58	11	15
	Bassersdorf	52	486	1'140	979	1'188	1'296	1'367	1'298	1'354	1'397	172	349
	Berg am Irchel	23	32	26	32	27	22	22	22	20	18	6	4
	Boppelsen	82	42	63	53	60	58	62	68	64	71	0	0
	Brütten	213	0	11	1	2	2	1	1	1	2	0	0
	Buch am Irchel	24	33	35	45	37	32	34	33	31	28	8	5
	Buchs (ZH)	83	0	248	137	250	182	64	6	22	233	0	0
	Bülach	53	1'226	1'385	1'403	1'474	1'347	1'407	1'534	1'393	1'309	246	286
	Dägerlen	214	29	36	47	39	34	33	30	26	23	0	0
	Dällikon	84	0	168	141	183	165	163	136	150	0	0	0
	Dänikon	85	1	106	91	110	100	99	96	96	74	0	0
	Dättlikon	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dielsdorf	86	15	0	0	0	0	0	7	0	1	0	0
	Dietikon	243	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dietlikon	54	0	114	5	14	23	0	93	5	0	0	0
	Dinhard	216	39	15	36	19	13	14	6	1	0	0	0
	Dorf	26	29	26	33	28	23	23	24	21	18	4	0
	Dübendorf	191	38	136	109	175	214	188	202	278	190	5	50
	Egg	192	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Eglisau	55	112	63	126	93	49	48	65	47	38	4	2
	Elgg	294	12	12	16	16	13	10	0	1	1	0	0
	Ellikon an der Thur	218	47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Elsau	219	47	51	106	90	52	38	0	0	0	0	0
	Embrach	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fällanden	193	2	45	38	57	63	59	58	82	60	0	4
	Flaach	28	45	41	52	43	35	33	33	26	20	0	0
	Freienstein-Teufen	57	52	30	40	29	22	27	26	22	18	8	7
	Geroldswil	244	0	37	0	26	11	5	45	32	0	0	0
	Glattfelden	58	284	291	335	327	294	314	340	295	295	86	86

Tabelle 9-15 HSD der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 2
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRRHZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Henggart	31	71	88	114	95	78	81	75	67	62	6	0
	Herrliberg	152	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Hettlingen	221	6	55	90	70	36	37	6	1	1	0	0
	Hochfelden	59	276	314	295	308	276	278	285	269	251	68	77
	Höri	60	531	524	526	515	482	526	548	550	474	125	143
	Humlikon	32	18	19	24	20	17	17	16	14	13	0	0
	Hüttikon	87	18	42	37	44	43	46	48	45	35	0	0
	Illnau-Effretikon	296	59	240	201	294	338	401	399	405	424	14	40
	Kloten	62	2'149	3'322	3'026	3'567	3'779	4'125	3'998	4'185	4'347	860	1'498
	Küsnacht (ZH)	154	0	15	11	21	28	24	25	35	26	0	0
	Lindau	176	203	460	414	519	568	622	611	625	660	142	221
	Lufingen	63	0	4	0	0	0	0	0	2	6	0	0
	Maur	195	0	60	47	78	95	83	82	135	89	0	0
	Meilen	156	0	0	0	1	2	2	2	4	2	0	0
	Neerach	88	187	265	249	241	239	272	298	283	246	49	61
	Neftenbach	223	8	6	9	7	6	6	7	6	3	0	0
	Niederglatt	89	526	623	625	609	598	679	745	759	696	176	204
	Niederhasli	90	439	484	440	478	416	453	529	511	508	13	26
	Niederweningen	91	154	224	207	241	230	248	271	267	247	43	66
	Nürens Dorf	64	434	866	768	943	1'021	1'087	1'022	1'075	1'132	228	389
	Oberglatt	92	769	791	770	801	737	787	869	873	802	201	255
	Oberweningen	93	73	140	111	127	125	138	149	145	106	0	11
	Oetwil an der Limmat	246	0	95	60	87	85	87	114	106	3	0	0
	Opfikon	66	457	1'289	1'069	1'386	1'509	1'457	1'522	1'783	1'421	179	415
	Ossingen	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Otelfingen	94	75	161	134	156	151	161	169	168	144	0	1
	Regensberg	95	16	9	0	0	0	1	9	1	1	0	0
	Regensdorf	96	0	490	244	529	375	77	3	16	25	0	0
	Rickenbach (ZH)	225	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Rorbas	68	59	15	39	11	3	8	5	3	1	0	0
	Rümlang	97	395	737	702	831	787	832	840	824	818	157	288
Schlatt (ZH)	226	33	33	35	36	30	23	1	1	0	0	0	

Tabelle 9-16 HSD der einzelnen Gemeinden des Kantons Zürich – Teil 3
 (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Kanton	Gemeinden	BFS	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
Zürich	Schleinikon	98	40	63	51	58	58	65	70	67	57	3	16
	Schöfflisdorf	99	60	102	78	84	86	98	105	98	68	0	0
	Seuzach	227	0	129	203	168	112	102	1	0	0	0	0
	Stadel	100	244	277	260	281	281	304	333	329	274	65	79
	Stammheim	292	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Steinmaur	101	98	115	58	82	77	103	134	99	43	0	0
	Thalheim an der Thur	39	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Turbenthal	228	0	411	396	467	505	542	522	529	551	0	164
	Volken	43	13	12	14	13	11	11	11	10	9	0	0
	Wallisellen	69	48	512	371	511	550	395	589	601	443	14	63
	Wangen-Brüttisellen	200	0	50	0	0	0	0	6	0	0	0	0
	Weiach	102	57	38	46	52	57	54	75	64	80	0	1
	Weiningen (ZH)	251	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Weisslingen	180	31	203	183	249	276	297	295	309	305	15	45
	Wiesendangen	298	64	61	139	108	45	28	0	0	0	0	0
	Wila	181	0	40	42	69	85	102	103	94	79	0	0
	Wildberg	182	0	37	35	42	47	49	48	48	47	1	1
	Winkel	72	324	384	379	370	351	399	459	459	411	87	118
	Winterthur	230	8	375	560	519	356	215	7	1	3	0	0
	Zell (ZH)	231	192	500	484	561	590	603	568	567	591	51	146
Zollikon	161	0	11	9	14	16	14	15	15	19	15	0	0
Zumikon	160	0	68	44	95	137	122	122	175	126	0	0	
Zürich	261	358	1'279	972	1'380	1'530	1'397	1'582	1'931	1'378	69	295	
Zürich Total			11'533	20'548	18'822	21'868	21'670	21'898	22'272	22'973	21'242	3'193	5'536
Total			13'782	23'124	21'055	24'432	24'190	24'528	24'968	25'124	23'168	3'195	5'661

[ZFI21_SENS20.xlsx / HSD]

9.7. HA, HSD und ZFI nach Stadtzürcher Quartieren

Tabelle 9-17 ZFI der einzelnen Stadtzürcher Quartiere (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Quartiernummer	Quartier	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
111	Affoltern	929	1'210	1'269	1'312	1'244	1'293	1'333	950	825	0	0
91	Albisrieden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	Altstetten	477	236	214	216	264	438	449	0	0	0	0
31	Alt-Wiedikon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	City	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Enge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227	Escher-Wyss	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
71	Fluntern	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Friesenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	Gewerbeschule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Hard	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Hirslanden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Hirzenbach	1'602	1'834	1'661	1'871	1'941	1'976	2'083	2'243	2'059	700	852
12	Hochschulen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	Höngg	941	844	848	868	884	997	1'043	553	540	0	0
72	Hottingen	11	18	12	15	16	16	16	18	15	0	0
42	Langstrasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Leimbach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Lindenhof	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Mühlebach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	Oberstrass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Oerlikon	535	579	604	615	597	689	768	110	62	0	0
11	Rathaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	Saatlen	519	591	532	589	677	635	685	702	617	62	87
233	Schwamendingen Mitte	1'096	1'254	1'155	1'269	1'306	1'281	1'338	1'402	1'234	289	351
119	Seebach	1'232	1'442	1'511	1'593	1'571	1'590	1'771	1'667	1'489	75	146
81	Seefeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Sihlfeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	Unterstrass	87	79	88	94	87	151	182	0	0	0	0
83	Weinegg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Werd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	Wipkingen	34	5	5	6	5	16	37	0	0	0	0
74	Witikon	42	18	5	20	34	29	34	67	37	0	0
21	Wollishofen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		7'512	8'109	7'905	8'468	8'625	9'110	9'740	7'711	6'879	1'127	1'437

[ZFI_RZ_05-21_QuartiereZürich.xlsx / ZFI]

Tabelle 9-18 HA der einzelnen Stadtzürcher Quartiere

Quartiernummer	Quartier	ZRHRZ	ZRH12	ZRH13	ZRH14	ZRH15	ZRH16	ZRH17	ZRH18	ZRH19	ZRH20	ZRH21
111	Affoltern	929	1'210	1'269	1'312	1'244	1'293	1'333	950	825	0	0
91	Albisrieden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	Altstetten	477	236	214	216	264	438	449	0	0	0	0
31	Alt-Wiedikon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	City	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Enge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227	Escher-Wyss	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
71	Fluntern	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Friesenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	Gewerbeschule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Hard	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Hirslanden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Hirzenbach	1'374	1'243	1'180	1'229	1'241	1'309	1'390	1'403	1'403	652	653
12	Hochschulen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	Höngg	941	844	848	868	884	997	1'043	553	540	0	0
72	Hottingen	10	11	8	8	8	9	9	9	9	0	0
42	Langstrasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Leimbach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Lindenhof	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Mühlebach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	Oberstrass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Oerlikon	535	579	604	615	597	689	768	110	62	0	0
11	Rathaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	Saatlen	498	439	438	449	500	496	512	483	484	62	71
233	Schwamendingen Mitte	989	861	846	849	842	848	886	846	826	268	271
119	Seebach	1'231	1'313	1'428	1'436	1'419	1'461	1'533	1'408	1'336	75	146
81	Seefeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Sihlfeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	Unterstrass	87	79	88	94	87	151	182	0	0	0	0
83	Weinegg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Werd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	Wipkingen	34	5	5	6	5	16	37	0	0	0	0
74	Witikon	42	11	4	4	4	8	14	18	17	0	0
21	Wollishofen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		7'154	6'830	6'933	7'088	7'095	7'713	8'158	5'780	5'500	1'058	1'142

Tabelle 9-19 HSD der einzelnen Stadtzürcher Quartiere (* : seit 2011 unter Berücksichtigung passiver Schallschutzmassnahmen nach ZFI-VO [59])

Quartiernummer	Quartier	ZRHRZ	ZRH12*	ZRH13*	ZRH14*	ZRH15*	ZRH16*	ZRH17*	ZRH18*	ZRH19*	ZRH20*	ZRH21*
111	Affoltern	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	Albisrieden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
92	Altstetten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Alt-Wiedikon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	City	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Enge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227	Escher-Wyss	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	Fluntern	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Friesenberg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	Gewerbeschule	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Hard	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	Hirslanden	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Hirzenbach	228	591	481	641	700	668	693	840	657	48	199
12	Hochschulen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	Höngg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
72	Hottingen	0	7	5	6	7	7	7	9	6	0	0
42	Langstrasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Leimbach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	Lindenhof	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
82	Mühlebach	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	Oberstrass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Oerlikon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	Rathaus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
121	Saatlen	21	152	94	140	176	140	173	219	133	0	16
233	Schwamendingen Mitte	107	393	309	420	464	433	452	556	408	21	80
119	Seebach	1	129	84	157	152	128	238	258	153	0	0
81	Seefeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Sihlfeld	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61	Unterstrass	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	Weinegg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Werd	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	Wipkingen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	Witikon	0	7	1	16	30	21	20	49	20	0	0
21	Wollishofen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		358	1'279	972	1'380	1'530	1'397	1'582	1'931	1'378	69	295

[ZFI_RZ_05-21_QuartiereZürich.xlsx / HSD]

9.8. HA, HSD und ZFI nach Himmelsrichtung (Quadranten)

Tabelle 9-20 Absolutwerte der HA, HSD und ZFI der vier Quadranten. Die Summe entspricht den offiziellen Werten der Berechnungsjahre (Tabelle 5-1).

Highly Annoyed (HA)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	5'168	5'875	5'848	5'911	5'990	6'089	6'367	6'151	6'158	2'607	2'934
Q2	12'366	12'287	12'412	12'791	13'148	13'819	14'201	12'712	12'492	4'374	5'038
Q3	12'604	13'555	13'821	14'099	14'138	15'140	15'085	12'222	12'144	3'385	4'398
Q4	3'529	3'943	3'988	4'147	4'450	4'534	4'885	4'137	4'337	1'907	2'040
Summe	33'668	35'660	36'068	36'949	37'726	39'583	40'539	35'223	35'132	12'272	14'410

Highly Sleep Disturbed (HSD)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	3'984	8'268	8'002	9'230	9'389	9'835	8'939	9'174	9'530	1'484	2'804
Q2	1'063	3'651	2'831	3'912	4'335	3'915	4'416	5'222	3'917	278	887
Q3	3'707	5'800	4'676	5'771	5'372	5'301	5'639	5'013	4'480	260	590
Q4	5'029	5'406	5'545	5'519	5'094	5'477	5'974	5'716	5'241	1'174	1'380
Summe	13'782	23'124	21'055	24'432	24'190	24'528	24'968	25'124	23'168	3'195	5'661

Zürcher Fluglärm Index (ZFI)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	9'152	14'142	13'850	15'141	15'379	15'924	15'306	15'325	15'688	4'091	5'738
Q2	13'428	15'938	15'243	16'704	17'483	17'735	18'617	17'934	16'409	4'652	5'925
Q3	16'311	19'355	18'497	19'871	19'510	20'441	20'725	17'235	16'624	3'644	4'988
Q4	8'558	9'349	9'533	9'666	9'544	10'011	10'859	9'853	9'578	3'081	3'419
Summe	47'450	58'785	57'123	61'381	61'916	64'110	65'507	60'347	58'300	15'468	20'071

[ZFI_RZ_05-21_4Quadranten_InOutAGL.xlsx / HA_HSD_ZFI_Quadr]

Tabelle 9-21 Prozentuale Anteile der *HA*, *HSD* und *ZFI* der vier Quadranten.

Highly Annoyed (HA)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	15%	16%	16%	16%	16%	15%	16%	17%	18%	21%	20%
Q2	37%	34%	34%	35%	35%	35%	35%	36%	36%	36%	35%
Q3	37%	38%	38%	38%	37%	38%	37%	35%	35%	28%	31%
Q4	10%	11%	11%	11%	12%	11%	12%	12%	12%	16%	14%
Summe	100%										

Highly Sleep Disturbed (HSD)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	29%	36%	38%	38%	39%	40%	36%	37%	41%	46%	50%
Q2	8%	16%	13%	16%	18%	16%	18%	21%	17%	9%	16%
Q3	27%	25%	22%	24%	22%	22%	23%	20%	19%	8%	10%
Q4	36%	23%	26%	23%	21%	22%	24%	23%	23%	37%	24%
Summe	100%										

Zürcher Fluglärm Index (ZFI)											
Quadrant	RZ	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Q1	19%	24%	24%	25%	25%	25%	23%	25%	27%	26%	29%
Q2	28%	27%	27%	27%	28%	28%	28%	30%	28%	30%	30%
Q3	34%	33%	32%	32%	32%	32%	32%	29%	29%	24%	25%
Q4	18%	16%	17%	16%	15%	16%	17%	16%	16%	20%	17%
Summe	100%										

Flughafen Zürich**Zürcher Fluglärm-Index ZFI
im Jahre 2021****Karte 1****Vergleich des tagesrand-
stundengewichteten
16h-Mittelungspegels (Leq^{*}_{16})
mit dem ungewichteten
16h-Mittelungspegel (Leq_{16})
2021****Grossflugzeuge
Tag (06 bis 22 Uhr)**

Kennzahlen Flugbetrieb Grossflugzeuge:

Tag (06 bis 22 Uhr):

T = 16h

 $N_{g,t} = 108'126$, $n^*_{g,t} = 296$ **Legende****Kennzahlen Flugbetrieb**N = jährliche Flugbewegungszahlen
 n^* = tägliche Flugbewegungszahlen
im Jahresmittel**Fluglärmbelastung (47 bis 70 dB)** Leq^{*}_{16}  Leq_{16}

Massstab: 1:300'000

3'000 0 3'000 Meter

**Impressum**

Übersichtskarte

PK200:

Quelle: Bundesamt
für Landestopografie

Auftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH

Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom

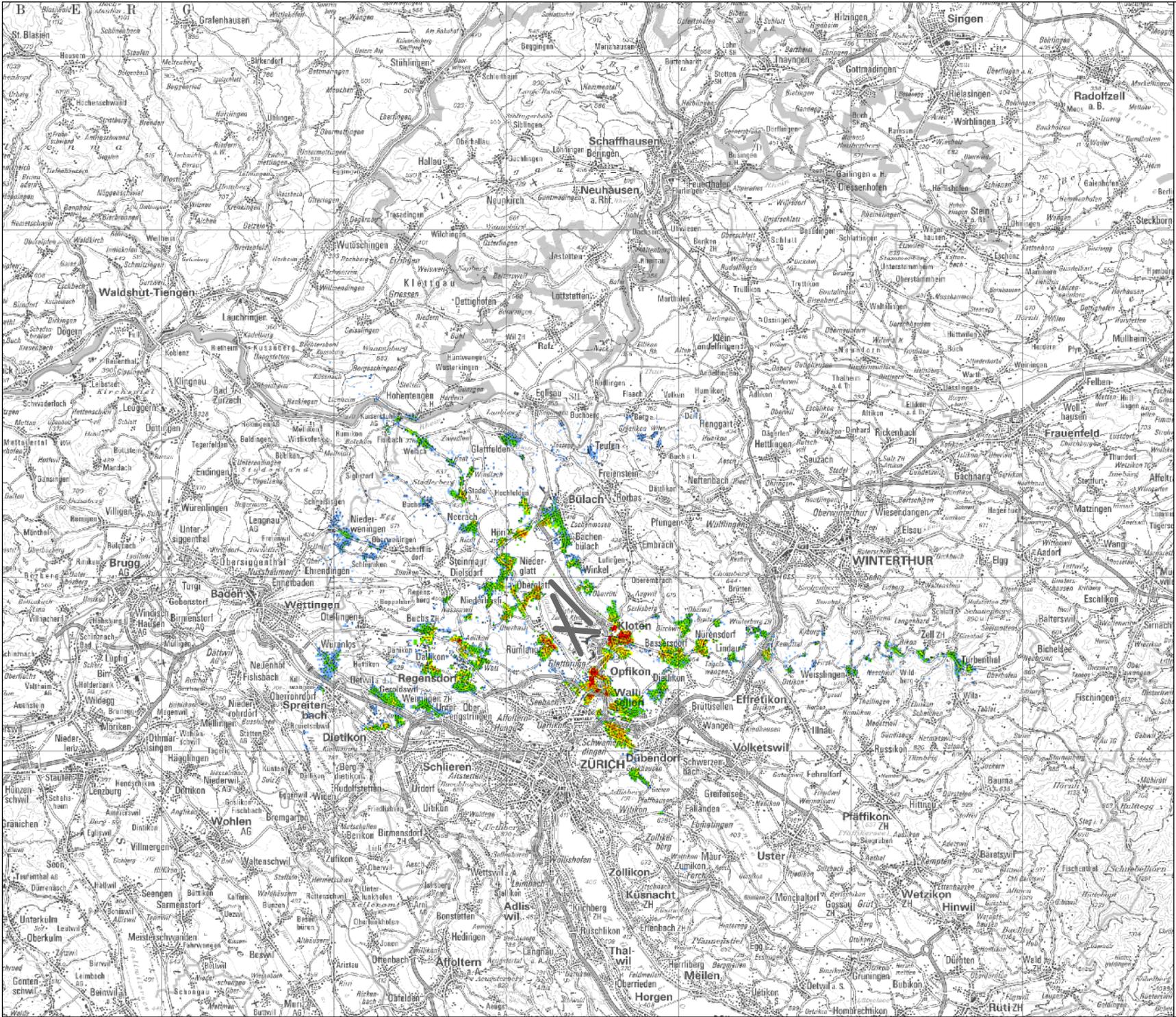
Ersteller:

[01_ZRH_ZFI21_Leq16_TRSG_V1.mxd]

[SL16ZRH21_G8T_TRSG_06_22.shp]

[SL16ZRH21_G8T_06_22.shp]





Materials Science and Technology

Abteilung Akustik / Lärminderung
 Bericht-Nr.: 5214.028868

Flughafen Zürich

Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2021

Karte 2

**ZFI
 2021**

Kennzahlen Flugbetrieb Grossflugzeuge:

Tag (06 bis 22 Uhr):
 T = 16h
 $N_{gt} = 108'126$, $n^*_{gt} = 296$
 Nacht (22 bis 06 Uhr):
 T = 8h
 $N_{g,n} = 4'364$, $n^*_{g,n} = 12$

Legende

Kennzahlen Flugbetrieb

N = jährliche Flugbewegungszahlen
 n* = tägliche Flugbewegungszahlen
 im Jahresmittel

ZFI (in Anzahl Personen pro Hektare)

- ≤ 1
- 1 - 5
- 5 - 10
- 10 - 25
- 25 - 50
- > 50

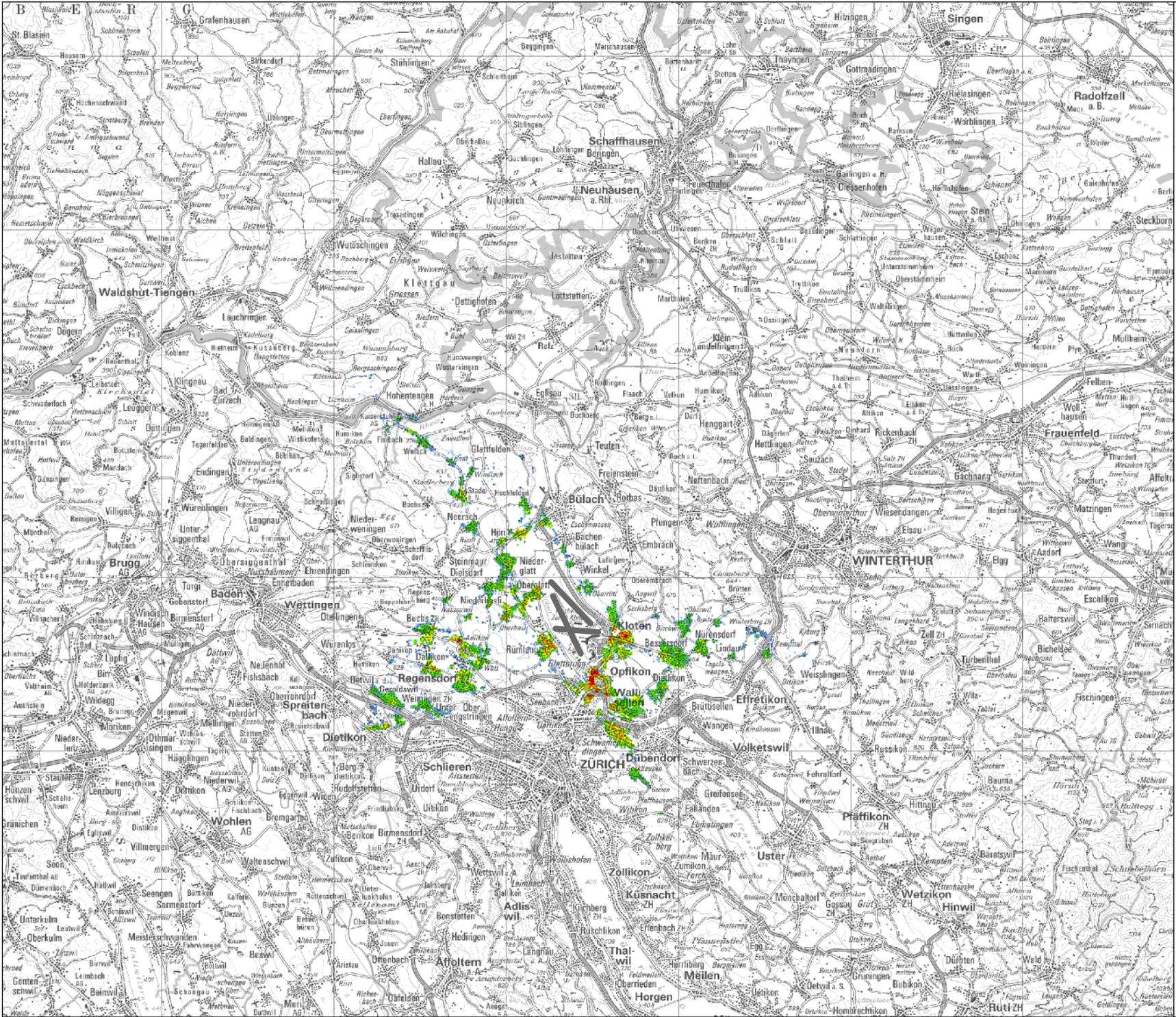
Massstab: 1:300'000
 3'000 0 3'000 Meter

Impressum

Übersichtskarte Quelle: Bundesamt für Landestopografie
 PK200:

Auftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH
 Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom
 Ersteller:

[02_ZRH_ZFI21_ZFI21_V1.mxd]
 [zfi21_sia181]



Materials Science and Technology

Abteilung Akustik / Lärminderung
 Bericht-Nr.: 5214.028868

Flughafen Zürich

Zürcher Fluglärm-Index ZFI
 im Jahre 2021

Karte 3

Anzahl der durch Fluglärm am
 Tag stark belästigten Personen
 HA
 2021

Kennzahlen Flugbetrieb Grossflugzeuge:
 Tag (06 bis 22 Uhr):
 T = 16h
 $N_{g,t} = 108'126, n^*_{g,t} = 296$

Legende

Kennzahlen Flugbetrieb
 N = jährliche Flugbewegungszahlen
 n* = tägliche Flugbewegungszahlen
 im Jahresmittel

HA (in Anzahl Personen pro Hektare)

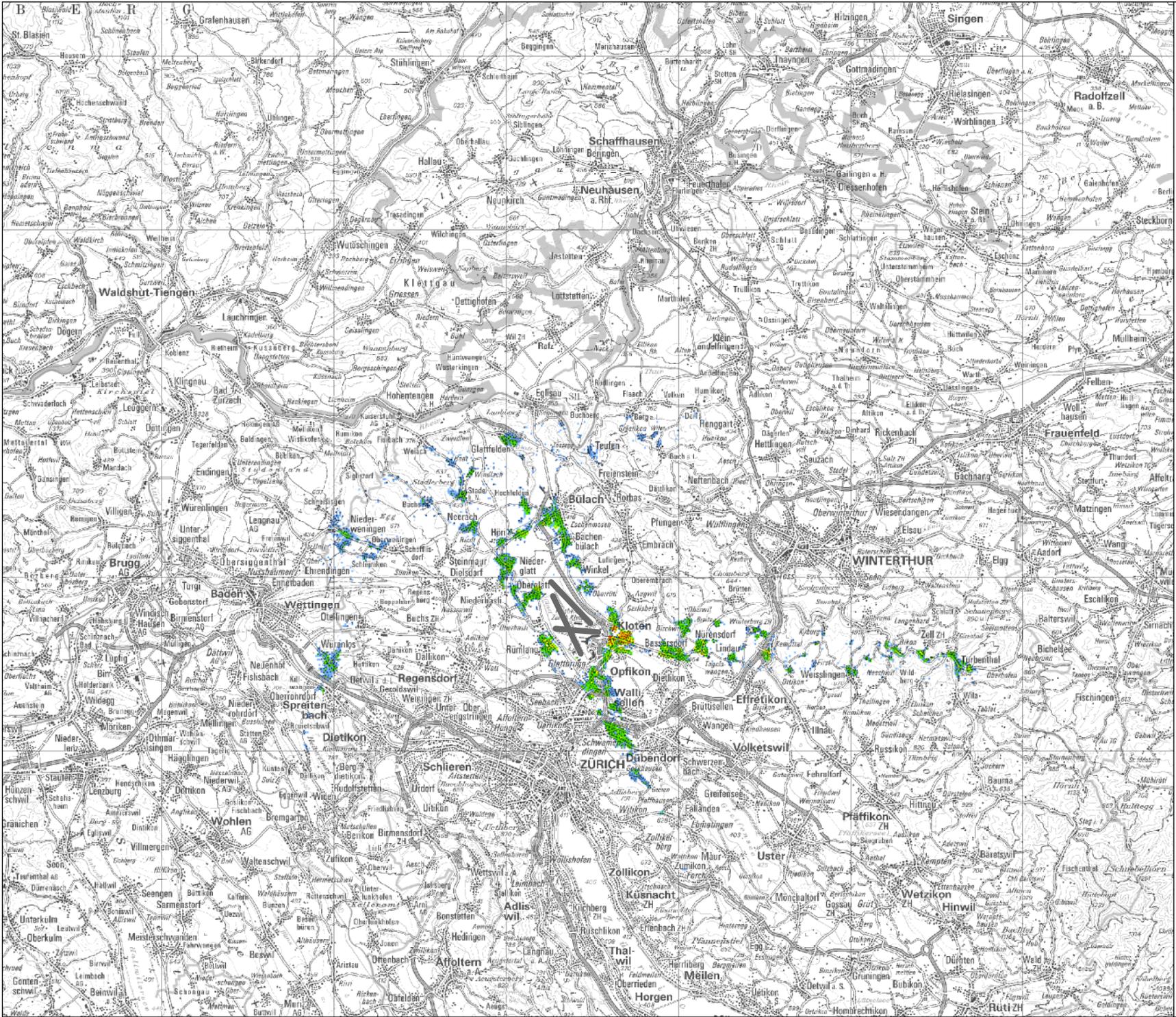
- ≤ 1
- 1 - 5
- 5 - 10
- 10 - 25
- 25 - 50
- > 50

Massstab: 1:300'000
 3'000 0 3'000 Meter

Impressum
 Übersichtskarte Quelle: Bundesamt
 PK200: für Landestopografie

Auftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH
 Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom
 Ersteller:

[03_ZRH_ZFI21_HA21_V1.mxd]
 [ha21]



Flughafen Zürich

Zürcher Fluglärm-Index ZFI im Jahre 2021

Karte 4

Anzahl der durch Fluglärm im Schlaf während der Nacht stark gestörten Personen

**HSD
 2021**

Kennzahlen Flugbetrieb Grossflugzeuge:
 Nacht (22 bis 06 Uhr):
 T = 8h
 $N_{g,n} = 4'364$, $n^*_{g,n} = 12$

Legende

Kennzahlen Flugbetrieb
 N = jährliche Flugbewegungszahlen
 n* = tägliche Flugbewegungszahlen
 im Jahresmittel

HSD (in Anzahl Personen pro Hektare)

- ≤ 1
- 1 - 5
- 5 - 10
- 10 - 25
- 25 - 50
- > 50

Massstab: 1:300'000
 3'000 0 3'000 Meter

Impressum
 Übersichtskarte Quelle: Bundesamt
 PK200: für Landestopografie

Auftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH
 Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom
 Ersteller:

[04_ZRH_ZFI21_HSD21_V1.mxd]
 [hsd21_sia181]



Materials Science and Technology

Abteilung Akustik / Lärminderung
 Bericht-Nr.: 5214.028868

Flughafen Zürich

Zürcher Fluglärm-Index ZFI
 im Jahre 2021

Karte 5

Untersuchungsperimeter HA
 der Jahre 2020, 2021 sowie
 des Referenzzustands

Legende

- Untersuchungsperimeter HA
- Berichtsjahr 2021
 - Vorjahr 2020
 - Referenzzustand RZ

Massstab: 1:300'000
 3'000 0 3'000 Meter

Impressum
 Übersichtskarte Quelle: Bundesamt
 PK200: für Landestopografie

Auftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH
 Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom
 Ersteller:

[05_ZRH_ZFI21_UP_HA_V1.mxd]
 [up_ha_zrh21.shp] [up_ha_zrh20.shp]
 [up_ha_zrh_zfi_rz2.shp]

Flughafen Zürich**Zürcher Fluglärm-Index ZFI
im Jahre 2021****Karte 6****Untersuchungsperimeter HSD
der Jahre 2020, 2021 sowie
des Referenzzustands****Legende****Untersuchungsperimeter HSD**

-  Berichtsjahr 2021
-  Vorjahr 2020
-  Referenzzustand RZ

Massstab: 1:300'000

3'000 0 3'000 Meter

**Impressum**Übersichtskarte Quelle: Bundesamt
PK200: für LandestopografieAuftraggeber: Amt für Mobilität Kt. ZH
Version / Datum / 1 / 2022-06-08 / ajom
Ersteller:[06_ZRH_ZFI21_UP_HSD_V1.mxd]
[up_hsd_zrh21.shp] [up_hsd_zrh20.shp]
[up_hsd_zrh_zfi_r2.shp]