

# **Betriebsreglementsänderung 2014/2017**

**Ergänztes Gesuch**

**Fachbericht Lufthygiene zum UVB**

Zürich-Flughafen, 26. September 2025



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Grundlagen</b>	<b>3</b>
1.1. Rechtliche Grundlagen	3
1.2. Fachberichte	3
1.3. Schadstoffe	3
1.4. Systemabgrenzung	3
1.5. Untersuchte Zustände	4
1.6. Beschreibung der vorliegenden Betriebsvariante	5
<b>2. Emissionen</b>	<b>6</b>
2.1. Methodik	6
2.2. Emissionen	8
2.3. Massnahmen zur Reduktion von Emissionen	9
2.4. Beurteilung	9
<b>3. Immissionen</b>	<b>10</b>
3.1. Methodik	10
3.2. Immissionsbelastung Flughafenregion	10
3.3. Genauigkeit der Resultate	14
<b>4. Massnahmenplanung</b>	<b>15</b>
4.1. Flugzeuggrenzwerte	15
4.2. Vollzug und Controlling	15
<b>5. Fazit</b>	<b>15</b>
<b>Anhang</b>	<b>16</b>
A. Übersicht über die Grundlagen	16
B. Flughafenkarte und Flugbetrieb	18
C. Mengengerüst Flugzeuge/Triebwerke	19
D. Kurzbeschreibung von LASPORT	20
E. Abkürzungen	21
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>22</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>22</b>
<b>Impressum</b>	<b>22</b>

# 1. Grundlagen

## 1.1. Rechtliche Grundlagen

- Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 7. Oktober 1983 (Stand vom 1. Januar 2022).
- Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPV) vom 19. Oktober 1988 (Stand vom 1. August 2022)
- Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand vom 1. Januar 2023)

## 1.2. Fachberichte

- Flughafen Zürich AG: Umweltkennzahlen für das Jahr 2023. Nachweis spezifischer Umweltkennzahlen zu Händen der Behörden.
- Flughafen Zürich AG: ADAECAM Case Study Zurich Airport 2006. Zurich, September 2007

## 1.3. Schadstoffe

Stickoxide: Als Leitsubstanz bei den Emissionen und Immissionen werden die Stickoxide (NOx) betrachtet. Für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) legt die LRV einen Immissionsgrenzwert (Jahresmittelwert) von 30 µg/m<sup>3</sup> fest.

Partikel / Feinstaub: Beim Feinstaub (Particulate Matter < 10 µm – PM<sub>10</sub>) handelt es sich um feindisperse Schwebestoffe mit einem Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer. Für PM<sub>10</sub> legt die LRV einen Immissionsgrenzwert (Jahresmittelwert) von 20 µg/m<sup>3</sup> fest, für PM2.5 einen solchen von 10 µg/m<sup>3</sup>.

Weitere Luftschadstoffe wie CO oder SO<sub>2</sub> haben schon seit Mitte der 90er-Jahre keine Auffälligkeiten mehr gezeigt und die Konzentrationswerte liegen gesamtheitlich deutlich unter den Immissionsgrenzwerten der Luftreinhalteverordnung.

## 1.4. Systemabgrenzung

Untersucht werden die Systeme Flugbetrieb, Abfertigung, Infrastruktur sowie der landseitige Strassenverkehr.

Der Flugbetrieb wird im LTO-Zyklus (Landing and Take-off) beschrieben, der alle Flugbewegungen unterhalb der planetaren Grenzschicht (ca. 915 m ü. G.) umfasst. Dies entspricht rechnerisch einem Gebiet von ca. 18 km aus Lande- und 3.5 km in Startrichtung und entspricht dem erweiterten Perimeter. Der LTO-Zyklus setzt sich zusammen aus den Phasen Rollen (zur Piste), Start, Steigflug, Anflug und Rollen (zum Standplatz), unterteilt in weitere Teilesegmente (s. Kapitel 2.1.1). Der direkt immissionswirksame Emissions-Perimeter umfasst hingegen lediglich Flugbewegungen bis zu einer Höhe von rund 300 m ü. G. und entspricht einem Gebiet von etwa 4 km aus Lande- und 1.5 km in Startrichtung.

Die Aktivitäten Abfertigung und Infrastruktur beziehen sich auf den Perimeter des Flughafens Zürich mit den Service- und Umfahrungsstrassen, den Abstellflächen und den stationären Anlagen.

Der landseitige Verkehr erstreckt sich auf die flughafennahen Zubringerstrassen und alle Parkinganlagen im Perimeter von Kloten (ungefähr Bereich Wilder Mann) bis zum Werkhof des Flughafens im Westen.

## 1.5. Untersuchte Zustände

Für den UVB wurden die folgenden drei Zustände untersucht:

Zustand	Grundlagen
Ist-Zustand ( $z_0$ ) Jahr 2023	<ul style="list-style-type: none"> <li>Effektiver Zustand im Jahr 2023</li> <li>247'456 Bewegungen</li> <li>Effektiver Flugzeugtypen-/Triebwerksmix</li> <li>Standplatz- und Pistenbelegungen sowie Flugrouten des Jahres 2023</li> </ul>
Ausgangszustand ( $z_t$ ) Jahr 2035	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bewegungsprognose 2030 mit 335'030 Bewegungen gemäss SIL-Objektblatt vom 19. September 2025.</li> <li>Flugzeugtypen- und Triebwerksmix entsprechend Entwicklungen und Flotterneuerungen bis 2035: Airbus A350 als Ersatz von A330 und teilweise A340; neuere A330Neo, A320Neo, A321Neo, Erneuerung B777, B737-Max.</li> <li>Flugrouten effektiv 2023 (ausser SID 10 ab Februar 2024).</li> <li>Die bis ca.2035 vom UVEK genehmigten oder beim BAZL eingereichten oder neuen oder geänderten Flughafenanlagen werden berücksichtigt. Diese umfassen insbesondere den Multiple Entry Piste 16, Schnellabrollwege Pisten 28 und 34, Umrollung Piste 28, Zone West (mit 2 Hangars), neues Dock A und damit verbundene Bauten und Standplätze Tango.</li> <li>Flugbetrieb am Boden mit neuer Roll- und Aufstellordnung am Dock A, Standplätze Hotel/India, Innenhof.<sup>1</sup></li> </ul>
Betriebszustand ( $z_{t+}$ ) Jahr 2035	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bewegungsprognose 2030 mit 335'030 Bewegungen gemäss SIL-Objektblatt vom 19. September 2025 (unverändert gegenüber Ausgangszustand <math>z_t</math>).</li> <li>Flugzeugtypen- und Triebwerksmix entsprechend dem Ausgangszustand.</li> <li>Flugrouten gemäss vorliegendem Gesuch: Entflechtung Abflugrouten ab Piste 28, Langgezogene Linkskurve nach Start ab Piste 16, neues Bisenkonzept mit Starts auf Piste 16 geradeaus und rechts, Entflechtung Ostkonzept, lärmoptimierte Abflugrouten ab Pisten 32 und 34, Anpassung der FL80-Regel, Ausnahmeregelung betreffend Mindesthöhe für vierstrahlige Flugzeuge beim Start auf Piste 32, Öffnung Piste 28 von 21.00 bis 22.00 Uhr als 2. Startpiste, Aufhebung gegenläufiger Betrieb von 06.00 bis 07.00 Uhr bei Nebel, Öffnung der Startpiste 28 nach 22.00 Uhr bei Nebel</li> <li>Flughafenanlagen und Flugbetrieb am Boden gemäss dem Ausgangszustand.</li> </ul>

Tab 1: Untersuchte Zustände

<sup>1</sup> Entspricht dem Betriebszustand ( $z_{t+}$ ) des Projekts Ersatzneubau Dock A.

## 1.6. Beschreibung der vorliegenden Betriebsvariante

### 1.6.1. Verkehrsvolumen

Planungsgrössen bilden die Eckwerte für die Flugverkehrsprognose 2030 gemäss dem SIL-Objektblatt für den Flughafen Zürich. Auf Grund der Corona-Pandemie 2020-2022 und dem markanten Einbruch des Luftverkehrs weltweit ergibt sich eine Verschiebung des antizipierten Wachstums um etwa 5 Jahre und die Flugverkehrsprognose 2030 wird voraussichtlich erst im Jahr 2035 erreicht werden. Die Flugzeuggruppen-spezifischen Wachstumsfaktoren sind aus der Flugverkehrsprognose inklusive angepasstem Flottenmix abgeleitet und in folgender Tabelle dargestellt.

Typische Flugzeugmuster	Flugzeug-Gruppe	Total 2023	Total 2035	Veränderung
A340, A350, B777, B747, A380	Large	15'735	41'380	+163%
A330, B767, A310, B787	Medium	12'780	14'582	+14%
A220, A320, A321, B737	Small	147'473	170'539	+16%
CRJ7/9, RJ10	Regional	53'818	84'389	+57%
General Aviation (C56X, F90, GLF4, A109, C182, MU22)	Business, Turboprop, Kolben und Helikopter	17'650	24'139	+37%
<b>Total</b>		<b>247'456</b>	<b>335'030</b>	<b>+35%</b>

Tab 2: Verkehrsvolumen nach Flugzeuggruppen

### 1.6.2. Flottenmix

Gegenüber dem Flottenmix im Ist-Zustand (2023) werden die bereits bekannten und in ihrem Umfang auch relevanten Änderungen mitberücksichtigt. Es handelt sich dabei um die fortlaufende Ablösung der A320-Familie durch die A320neo-Familie (A319, A320, A321), die Ablösung der A330-300 und der A340-300/600 durch den A350-900 oder 330Neo, die Ablösung der B737 durch den B737-Max und der weitere Aufbau der B777-Familie durch die B777-8/9 (s. Anhang C). Für alle neuen Flugzeugtypen liegen qualifizierte Daten zu den Triebwerksemissionen vor<sup>2</sup>.

Die überdurchschnittliche Entwicklung in der Gruppe «Large» (+163%) gegenüber z.B. der Gruppe «Medium» wird verursacht durch die Ablösung von A330 durch den A350 und der damit verbundenen Verschiebung des Flugzeugmusters von «Medium» zu «Large». Dies hat primär bei den Abfertigungsemissionen eine Auswirkung.

### 1.6.3. Flugzeugführung (Rollen am Boden)

Flugzeuge werden auf Grund verschiedener Kriterien wie Grösse, Fluggesellschaft oder Herkunft ab der Landepiste über die Rollwege zum Standplatz geführt oder je nach Zielort und vorherrschendem Betriebsregime vom Standplatz zur Startpiste geführt. Die Veränderungen der Verteilung der Landungen, Abflüge und Abfertigung sind im Anhang B abgebildet.

<sup>2</sup> [ICAO Aircraft Engine Emissions Databank | EASA \(europa.eu\)](http://ICAO Aircraft Engine Emissions Databank | EASA (europa.eu))

#### 1.6.4. Abfertigung

Die Abfertigung von Flugzeugen richtet sich nebst deren Größenklasse wie «Large» oder «Small» nach der Art des Standplatzes und dessen Ausrüstung. Konkret haben offene Standplätze andere Erfordernisse an die Art und Anzahl von Abfertigungsgeräten (z.B. Passagierbusse, Passagiertreppen oder Tanklastwagen) als Standplätze an Fingerdocks oder sind anders ausgerüstet (z.B. mit Ground Power Units). Dies wird entsprechend der Verteilung der Flugzeuggruppen über die verschiedenen Standplatzgruppen mit deren Eigenschaften berücksichtigt.

## 2. Emissionen

### 2.1. Methodik

Für die drei verschiedenen Betrachtungszeitpunkte werden die Emissionen über alle Emissionsquellen ausgewiesen. Die zwei Gruppen Abfertigung und Infrastruktur umfassen alle Quellen des stehenden Flugzeuges, alle Abfertigungsvorgänge, Unterhalt von Luftfahrzeugen sowie Bau, Betrieb und Unterhalt der Flughafenanlagen.

#### 2.1.1. Flugbetrieb

Der Flugbetrieb wird gerechnet nach der «advanced method» gemäss ICAO<sup>3</sup>. Dazu wird der Lande- und Startzyklus gemäss folgender Abbildung in alle Teilegmente des operationellen Flugzyklus aufgeteilt.

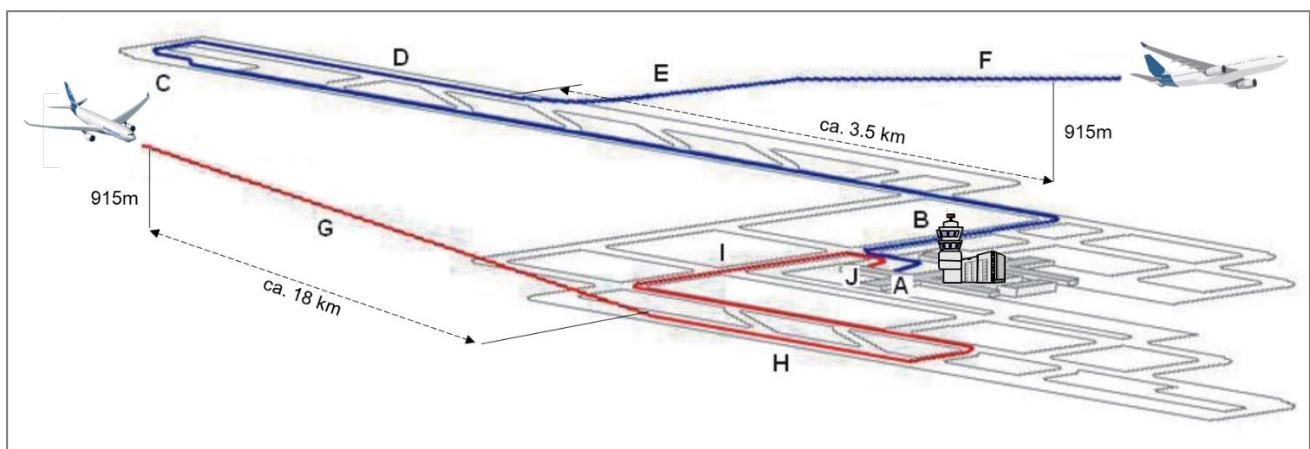


Abb 1. Operationeller Start- (A-F, blau) und Landezyklus (G-J, rot)

<sup>3</sup> ICAO: Document 9889, Airport Air Quality Manual, 2<sup>nd</sup> Edition 2020

Dieser Zyklus beinhaltet folgende Teilsegmente:

- A Triebwerkstart
- B Rollen vom Standplatz zur Startpiste
- C Allfällige Wartezeit vor dem Start
- D Beschleunigung auf der Startpiste bis zum Abheben
- E Initialer Steigflug bis zu einer Höhe von 300-500 Metern über Grund (m ü. G.)
- F Beschleunigung und Steigflug zur Reiseflughöhe, mit Berechnungsabbruch bei 915 m ü. G.
- G Endanflug ab einer Höhe von 915 m ü. G. bis zum Aufsetzen auf der Landepiste
- H Ausrollen auf der Landepiste
- I Taxi von der Landepiste bis zum festgelegten Standplatz
- J Abstellen der Triebwerke

Der Flugbetrieb wird nach effektiv verwendeten Flugzeug-Triebwerkombinationen und abgewickeltem Betrieb bezüglich Standplätze und Pisten berechnet. Die Emissionen werden mit dem Programm Paket LASPORT<sup>4</sup> berechnet. Dieses verwendet die Emissionsfaktoren der ICAO<sup>5</sup> für die Jet-Flugzeuge, ergänzt mit Angaben des Bundesamtes für Zivilluftfahrt für Propellerflugzeuge und Helikopter. Zusätzlich ist das Leistungsmodell ADAECAM implementiert, das die individuelle Flugzeugleistung je nach Umgebungsbedingungen (Wetter) und Flugstrecke berücksichtigt (z.B. für den Flugzeugstart mit weniger als dem maximalen Startschnell).

### 2.1.2. Übrige Quellen

Für die Berechnung der Emissionen aus der Abfertigung wird die bisherige Methodik aus den Emissionsnachweisen verwendet. Die operationellen Grundlagen wurden mittels Studien und periodischen Verkehrszählungen von Fahrzeugen erhoben. Für den Zustand 2035 wurden die Aktivitäten für die Flugzeugabfertigung am Flugbetrieb skaliert (gleiches Wachstum). Als Emissionsfaktoren werden diejenigen des BAFU (Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr, HBEFA) und der EU (für Maschinen und Geräte) verwendet. Dabei fließen neueste Grundlagen, Daten und Erkenntnisse z.B. hinsichtlich Elektrifizierungsgrad der Abfertigungsgeräte mit ein.

Für stationäre Quellen wie die Heizzentrale werden die jeweiligen Aktivitäten und die zu Grunde liegenden Emissionsfaktoren, wiederum des BAFU oder der EU, verwendet.

Die Emissionen des landseitigen Verkehrs werden anhand der Verkehrsleistungen der verschiedenen Fahrzeugkategorien (Personenwagen, Lieferwagen, Lastwagen, Busse) und der Emissionsfaktoren aus dem HBEFA des BAFU berechnet.

---

<sup>4</sup> LASPORT: LASAT for Airports, Version 2.3, Dezember 2018, [www.janicke.de](http://www.janicke.de)

<sup>5</sup> [ICAO Aircraft Engine Emissions Databank | EASA \(europa.eu\)](http://ICAO Aircraft Engine Emissions Databank | EASA (europa.eu))

## 2.2. Emissionen

### 2.2.1. Stickoxide

Für die Stickoxide ergeben sich zwischen dem Ausgangs- und dem Betriebszustand keine Veränderungen. Veränderungen bei den Emissionen ergeben sich primär zwischen dem Istzustand 2023 und dem Prognosezeitpunkt 2035, die durch das allgemein erwartete Verkehrswachstum gemäss Luftverkehrsprognose verursacht werden (Tab 3). Die Emissionen nehmen dabei über das ganze Flughafensystem gesehen um rund 48% zu.

Diese Emissionen sind allerdings nicht in diesem Umfang auch immissionswirksam, sondern nur die Emissionen bis rund 300 m ü. G. Emissionen über dieser Höhe werden grossräumig verteilt und liefern keinen signifikanten Beitrag zur Belastung am Boden.

NOx-Emissionen (in t/a)	Ist-Zustand (2023)	Ausgangszustand (2035)	Betriebszustand (2035)	Differenz Ausgangs- zu Betriebszustand
Bewegungen	247'456	335'030	335'030	0
Flugbetrieb (LTO-Zyklus, APU)	1'089	1'718	1'718	0
Abfertigung	31	34	34	0
Infrastruktur	41	58	59	0
Landseitiger Zubringerverkehr	13	5	5	0
<b>Total</b>	<b>1'184</b>	<b>1'1816</b>	<b>1'1816</b>	<b>0.0</b>

Tab 3: NOx-Emissionen

### 2.2.2. Feinstaub

Beim Feinstaub, ausgedrückt als PM10, ergibt sich ein gleiches Bild. Die Betriebsreglementsänderung verursacht keine Veränderung der Emissionen, die Zunahmen ergeben sich lediglich aus dem allgemeinen Flugverkehrswachstum zwischen 2023 und 2035.

PM10-Emissionen (in t/a)	Ist-Zustand (2023)	Ausgangszustand (2035)	Betriebszustand (2035)	Differenz Ausgangs- zu Betriebszustand
Bewegungen	247'456	335'030	335'030	0
Flugbetrieb (LTO-Zyklus, APU)	13.3	17.7	17.7	0.01
Abfertigung	1.5	1.9	1.9	0
Infrastruktur	1.1	1.7	1.7	0
Landseitiger Zubringerverkehr	0.2	0.1	0.1	0
<b>Total</b>	<b>16.1</b>	<b>21.3</b>	<b>21.3</b>	<b>0.01</b>

Tab 4: Feinstaub-Emissionen

## 2.3. Massnahmen zur Reduktion von Emissionen

In Artikel 21 des Betriebsreglements für den Flughafen Zürich ist folgende Auflage festgelegt:

„Die Flughafen Zürich AG trifft sämtliche technisch und betrieblich möglichen sowie wirtschaftlich tragbaren Massnahmen, die den Ausstoss von NOx in den Bereichen Flugbetrieb und Abfertigung reduzieren.“

Bereits heute besteht daher ein umfangreiches Massnahmenpaket zur Reduktion der lokal wirksamen Emissionen (Tab 5:). Deren Umsetzung vermeidet Emissionen in der Grössenordnung von gesamthaft rund 300 t NOx pro Jahr.

Quellgruppe	Massnahmen zur Reduktion von lokal wirksamen Emissionen
Flugbetrieb	Erhebung schadstoffabhängiger Landegebühren auf der Basis der Stickoxidemissionen der effektiv verwendeten Triebwerke nach dem Verursacherprinzip.
Flugbetrieb	Einsatz von Planungssoftware zur effizienten Sequenzierung von Roll- und Startereignissen zur Reduktion von Roll- und Wartezeiten.
Abfertigung	Ausrüsten der Flugzeugstandplätze mit stationären Stromanlagen.
Abfertigung	Anschlusspflicht der Flugzeuge an stationäre Energieversorgungssysteme und Beschränkung der Laufzeit flugzeuginterner Aggregate (APU).
Abfertigung	Beschaffung und Einsatz abgasärmerer Fahrzeuge, Maschinen und Geräte (Elektroantrieb).
Abfertigung	Bereitstellen alternativer Treibstoffinfrastrukturen (land- und luftseitig): Erdgas-tankstelle, Elektroladestationen.
Infrastruktur	Einsatz von Erdsonden/Energiepfählen und elektrischen Wärmepumpen.
Landseitiger Verkehr	Massnahmen und Programme zur Erhöhung des Modalsplits.
Landseitiger Verkehr	Förderung der Elektromobilität: elektrifizierte Buslinien, Elektroladestationen in den Parkhäusern und eine öffentliche Schnellladestation.

Tab 5: Massnahmen Lufthygiene

## 2.4. Beurteilung

Das Projekt «Betriebsreglementsänderung» führt gesamtheitlich zu praktisch keiner Veränderung der lokal wirksamen Flughafenemissionen. Die Differenz beträgt für NOx 0.7 t (oder 0.04% der Gesamt-NOx-Emissionen), für Feinstaub 0 t.

Die Stickoxid-Emissionsmenge liegt mit 1'810 t/a aus Flugbetrieb, Abfertigung und Infrastruktur gesamthaft weiterhin deutlich unter dem Schwellenwert von 2'400 t/a, der im Betriebsreglement Flughafen Zürich festgelegt wurde und bei dessen Überschreitung vertiefte Analysen und ein zusätzlicher Massnahmenplan erstellt werden müssen (Art. 21 des Betriebsreglements). Die behördlichen Vorgaben werden somit eingehalten.

Die wesentlichen Zunahmen durch das System Flughafen Zürich findet statt zwischen dem heutigen Zustand (2023) und dem Prognosezustand (2035). Diese Zunahmen werden unabhängig des Projektes in dieser

Grössenordnung stattfinden und liegen begründet in der Zunahme der Flugbewegungen und der grösseren Flugzeuge.

## 3. Immissionen

### 3.1. Methodik

Zur Ermittlung der Belastung werden zwei grundsätzlich verschiedene Verfahren angewendet: Die Messung relevanter Luftschatdstoffe (Stickstoffdioxid und Feinstaub gemäss Kapitel 1.3) an ausgewählten Standorten und die flächendeckende Modellierung von Luftschatdstoffen. Die Messstationen erfassen alle Emissionsquellen innerhalb und ausserhalb des Flughafens, unabhängig derer Herkunft.

Das verwendete Basismodell für die Modellierung der relevanten NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung ist das LASAT (Lagrangian simulation of aerosol transport), das in der deutschen TA Luft mit dem AUSTAL 2000 vom deutschen Umweltbundesamt (UBA) als Standard für Ausbreitungsrechnungen empfohlen wird. In internationaler Zusammenarbeit mit Beteiligung des BAFU und des UBA wurde das LASAT zum Programmpaket LASPORT für flughafenspezifische Anwendungen entwickelt.<sup>6</sup> Die Modellierung erlaubt eine flächige Darstellung der Belastung zu verschiedenen Zeitpunkten, auch in der Zukunft

Die im erweiterten Perimeter (LTO-Zyklus bis rund 915 m ü. G.) ausgewiesenen Emissionen sind nicht alle direkt immissionswirksam. Nur Emissionen bis zu einer Höhe von etwa 300 m ü. G. werden direkt lokal immissionswirksam. Die weiteren Emissionen werden grossräumig verteilt und liefern grossmehrheitlich einen Beitrag zur überregionalen Hintergrundbelastung. Im Sinne einer konservativen Auslegung werden jedoch die Emissionen bis 600 m ü. G. für die Immissionsausbreitung berücksichtigt, um allfällige Rest-Immissionen mit zu berücksichtigen. Da für das Jahr 2035 keine meteorologischen Informationen vorliegen, wird für alle Betrachtungszustände die meteorologische Zeitreihe 2023 verwendet. Die Immissionsbelastung wird anhand des Schadstoffs NO<sub>2</sub> charakterisiert.

### 3.2. Immissionsbelastung Flughafenregion

#### 3.2.1. Ist-Zustand

Am Flughafen Zürich werden Stickstoffdioxide an zwei Standorten gemessen: Direkt auf dem Dach des Fingerdocks A und etwas weiter entfernt im nördlichen Teil des Flughafens beim Meteogarten (vgl. auch Abb 3). Auch der Feinstaub wird kontinuierlich auf dem Fingerdock A gemessen. Im Jahr 2023 betragen die Werte 27 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub>, 10 µg/m<sup>3</sup> für PM10 und 6 µg/m<sup>3</sup> für PM2.5. Die relevanten Grenzwerte gemäss LRV von 30 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub>, von 20 µg/m<sup>3</sup> für PM10 und von 10 µg/m<sup>3</sup> für PM2.5 wurden jeweils eingehalten.

Abbildung 2 zeigt die Belastungsentwicklung seit 2015 für die Stoffe NO<sub>2</sub>, PM10 und PM2.5. Gleichzeitig wird auch die Entwicklung der Verkehrseinheiten (Flugbetriebsvolumen mit Passagieren und Fracht) dargestellt. Trotz Zunahme des Verkehrs haben die Immissionen am Flughafen weiter abgenommen.

---

<sup>6</sup> LASPORT: LASAT for Airports, Version 2.3, Dezember 2018: [www.janicke.de](http://www.janicke.de)

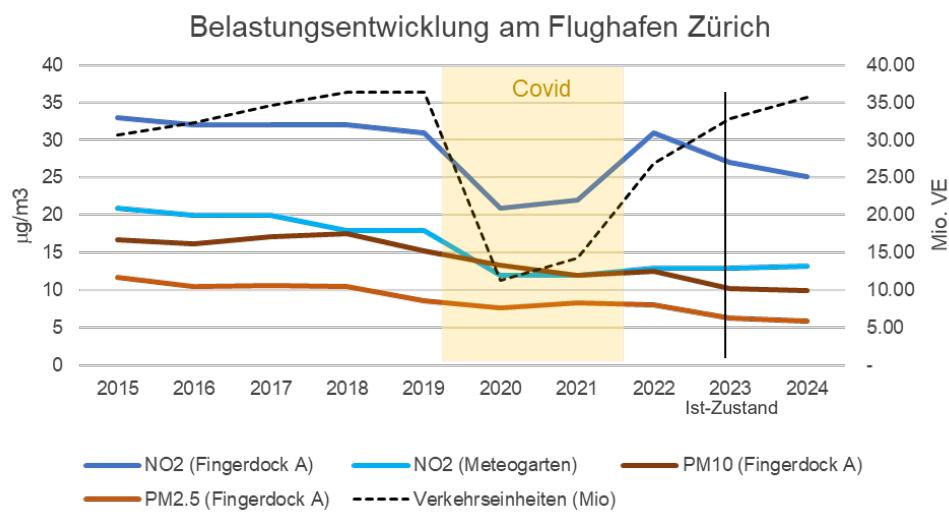


Abb. 2. Entwicklung der Gesamtbelastung 2015-2024 Luft an den Flughafenmessstationen

Die Ausbreitungsmodellierung für das Jahr 2023 ergibt die in folgender Abbildung dargestellte NO<sub>2</sub>-Zusatzbelastung aus den Emissionen des Flugbetriebs, der Abfertigung, der Flughafeninfrastruktur und des flughafen-induzierten landseitigen Strassenverkehrs im Flughafennahrbereich (farbige Flächen). Darübergelegt sind die Resultate der NO<sub>2</sub>-Messstationen in der Region, die jeweils die dort vorhandene Gesamtbelastung NO<sub>2</sub> darstellt. Damit kann der Anteil der flughafenbezogenen NO<sub>2</sub>-Immissionen an der Gesamtbelastung abgeschätzt werden. Sie beträgt auf dem Flughafenareal zwischen 25% bis 60%, ausserhalb des Areals noch 10%-15%.

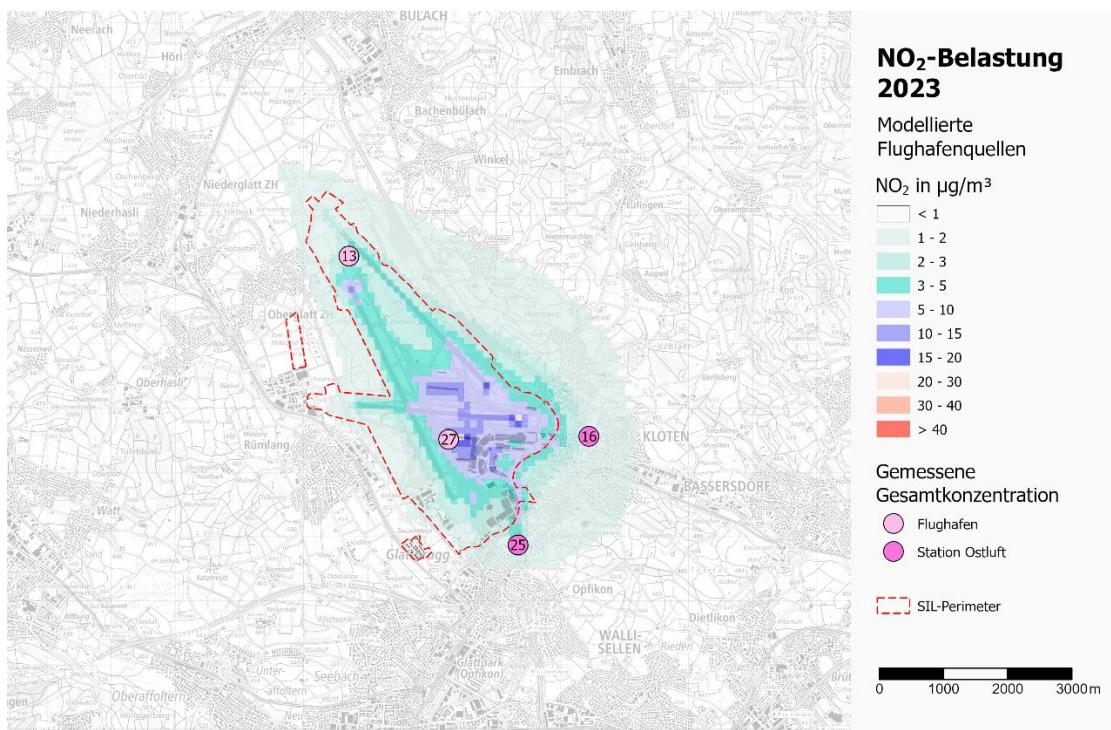


Abb. 3. Gemessene NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung (Punkte) und modellierte Flughafen zusatzbelastung (Fläche) im Ist-Zustand (2023, in µg/m³)

Die höchste Zusatzbelastung ausserhalb des Flughafenareals betrug rund  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel entlang der Autobahn im Nahbereich des Flughafens. Die Belastung durch den Flughafen in den angrenzenden Wohngebieten in Kloten, Opfikon und Oberglatt bewegte sich zwischen  $1-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 3.2.2. Betriebszustand

Die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung im Jahresmittel für den Betriebszustand (Jahr 2035, mit Anwendung des neuen Betriebsreglements) wird in folgender Darstellung gezeigt (Abb 4). Die Zusatzbelastung durch den Flughafen liegt bei  $2-25 \mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3$  im Jahresmittel, maximal bei  $30 \mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3$  bei der Pistenschwelle 28. In der Flughafenumgebung beträgt die Zusatzbelastung bis maximal  $5 \mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3$ , wobei sie mit zunehmender Entfernung rasch abnimmt und bei einem Kilometer vom SIL-Perimeter entfernt unter  $2 \mu\text{g NO}_2 / \text{m}^3$  zu liegen kommt.

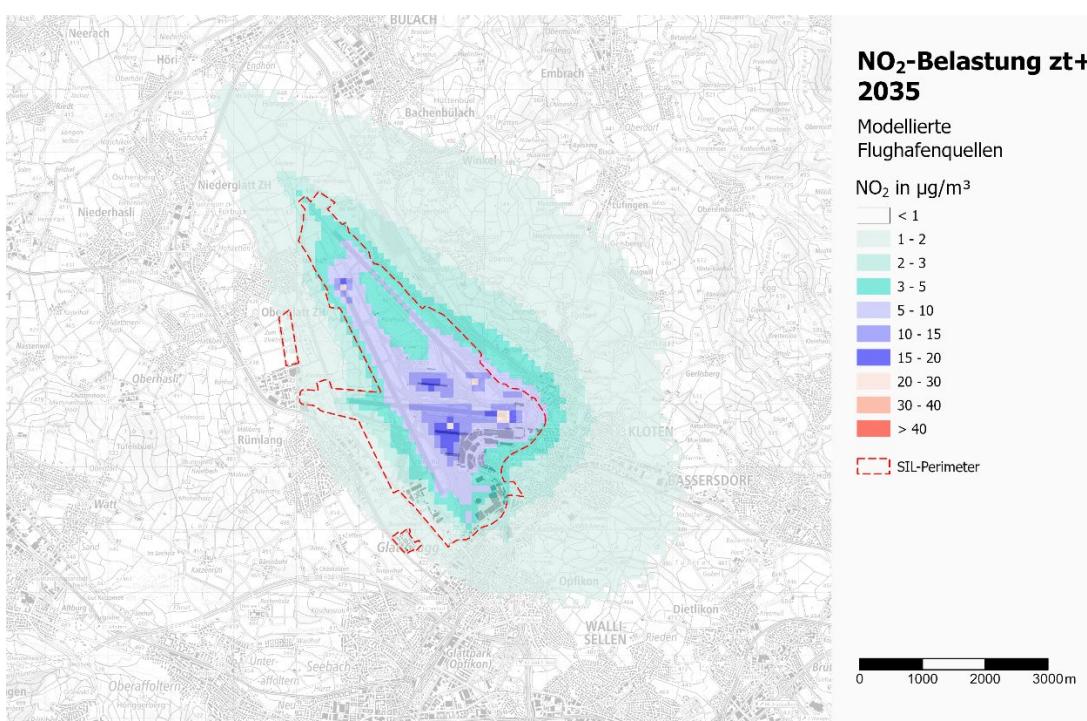


Abb 4. Flughafenzusatzbelastung für NO<sub>2</sub> im Betriebszustand Zt+ (alle Flughafenquellen, 2035, in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

### 3.2.3. Veränderung der Belastungen

Der Unterschied zwischen dem Ausgangs- und dem Betriebszustand ist schon bei den Emissionen nicht vorhanden (s. Kapitel 2.2.1). Dies führt somit in der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung nicht zu einer gesamtheitlichen Veränderung, sondern lediglich zu kleinräumig geringen Zu-/Abnahmen innerhalb des Flughafenareals (Abb. 5). So ergeben sich geringe Abnahmen bei den Pistenschwellen 10 und 34 und eine geringe Zunahme bei der Pistenschwelle 16. Alle Werte liegen deutlich unterhalb der Signifikanzschwelle von  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  im Jahresmittel.



Abb 5. Veränderung der NO<sub>2</sub>-Belastung zwischen den Ausgangs- und Betriebszustand im Jahr 2035 (µg/m<sup>3</sup>, Jahresmittel)

### 3.2.4. Beurteilung

Für die Beurteilung der regionalen Luftbelastung sind wiederum alle Quellen gesamtheitlich zu betrachten. Deshalb werden die Immissionsprognosedaten des AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kantons Zürich) für 2030 (letzte verfügbare Daten) mit den Flughafendaten von 2035 zusammengeführt und eine Gesamtbelastung modelliert (Abb 6).

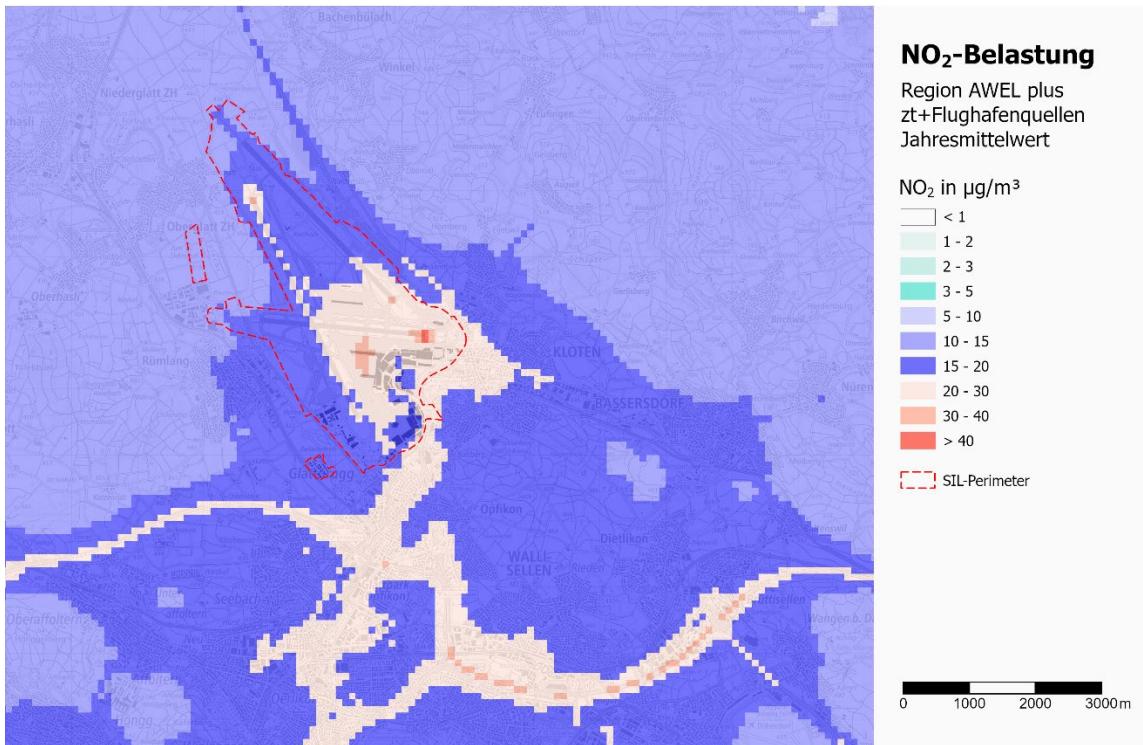


Abb. 6. Modellierte regionale Gesamtbelastung für NO<sub>2</sub> im Jahr 2030/35 (in µg/m<sup>3</sup>)

Die Immissionskarte zeigt, dass die signifikanten NO<sub>2</sub>-Belastungen vor allem auf dem Areal des Flughafens vorhanden und entlang der stark befahrenen Autobahn vorhanden sind. Der Beitrag des Flughafens in der Region (ausserhalb des SIL-Perimeters) liegt bei 1-5 µg/m<sup>3</sup>.

Damit ergibt sich für das Jahr 2035 eine regionale NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung, die innerhalb des Flughafenflussbereichs weiterhin unterhalb des geltenden Jahrestagswertes von 30 µg/m<sup>3</sup> liegt.

### 3.3. Genauigkeit der Resultate

Die Genauigkeit der Emissionsberechnungen ist abhängig von den Verkehrsprognosen und den getroffenen Annahmen zu Flottenentwicklungen (Flugzeugflotte und Fahrzeugflotte) und Emissionsfaktoren. Innerhalb dieser Unsicherheit liegt die Genauigkeit bei >95%. Bei den Immissionen sind nicht die Eingabeparameter, sondern auch die Art des Ausbreitungsmodells von Bedeutung. Dabei ist auch das Modell LASPORT so ausgelegt, dass es eher konservativ rechnet und effektive Belastungen um 20-30% überschätzt.

## 4. Massnahmenplanung

### 4.1. Flugzeuggrenzwerte

Die Flughafen Zürich AG engagiert sich im Rahmen der internationalen Aktivitäten von CAEP (Umweltkomitee der ICAO) dafür, dass die Emissionsgrenzwerte für Flugzeuge entsprechend der neuen Technologien regelmässig reduziert werden. Dies war letztmals im Jahr 2007 der Fall. Im Jahr 2019 wurden Emissionsgrenzwerte für Feinstaubpartikel eingeführt. Für 2028 wird eine erneute Absenkung der NOx-Grenzwerte durch die ICAO geplant (mögliche Inkraftsetzung 2032).

### 4.2. Vollzug und Controlling

Im Rahmen der Umweltberichterstattung veröffentlicht der Flughafenthalter seit 1994 regelmässig die Daten zu den Emissionen und der Immissionssituation am Flughafen Zürich. Die Behörden werden dabei zusätzlich gemäss Art. 20 des Betriebsreglements Flughafen Zürich über die aktuelle Situation orientiert:

„Die Flughafen Zürich AG berechnet jährlich, welche NOx Emissionen sich aus Luftverkehr und Abfertigung ergeben. Die Resultate werden dem Kanton Zürich und dem Bundesamt für Zivilluftfahrt jährlich eingereicht.“

Das Controlling über Vollzug und Berichterstattung der Massnahmen Lufthygiene wird durch den Flughafenthalter wahrgenommen und ist in das nach ISO 14001 zertifizierte Umweltmanagementsystem eingebunden.

## 5. Fazit

Die Luftqualitätsberechnungen haben gezeigt, dass die Gesamtimmissionen die geltenden Jahresgrenzwerte der LRV für den kritischen Schadstoff Stickstoffdioxid in der Region des Flughafens Zürich einhalten. Die bereits festgelegten und weitergeführten Massnahmen zur Reduktion der Luftbelastung zeigen eine gute Wirkung.

**Das Projekt wird als vereinbar mit der Lufthygienegesetzgebung beurteilt und entspricht auch dem Vorsorgeprinzip des Umweltschutzgesetzes.**

# Anhang

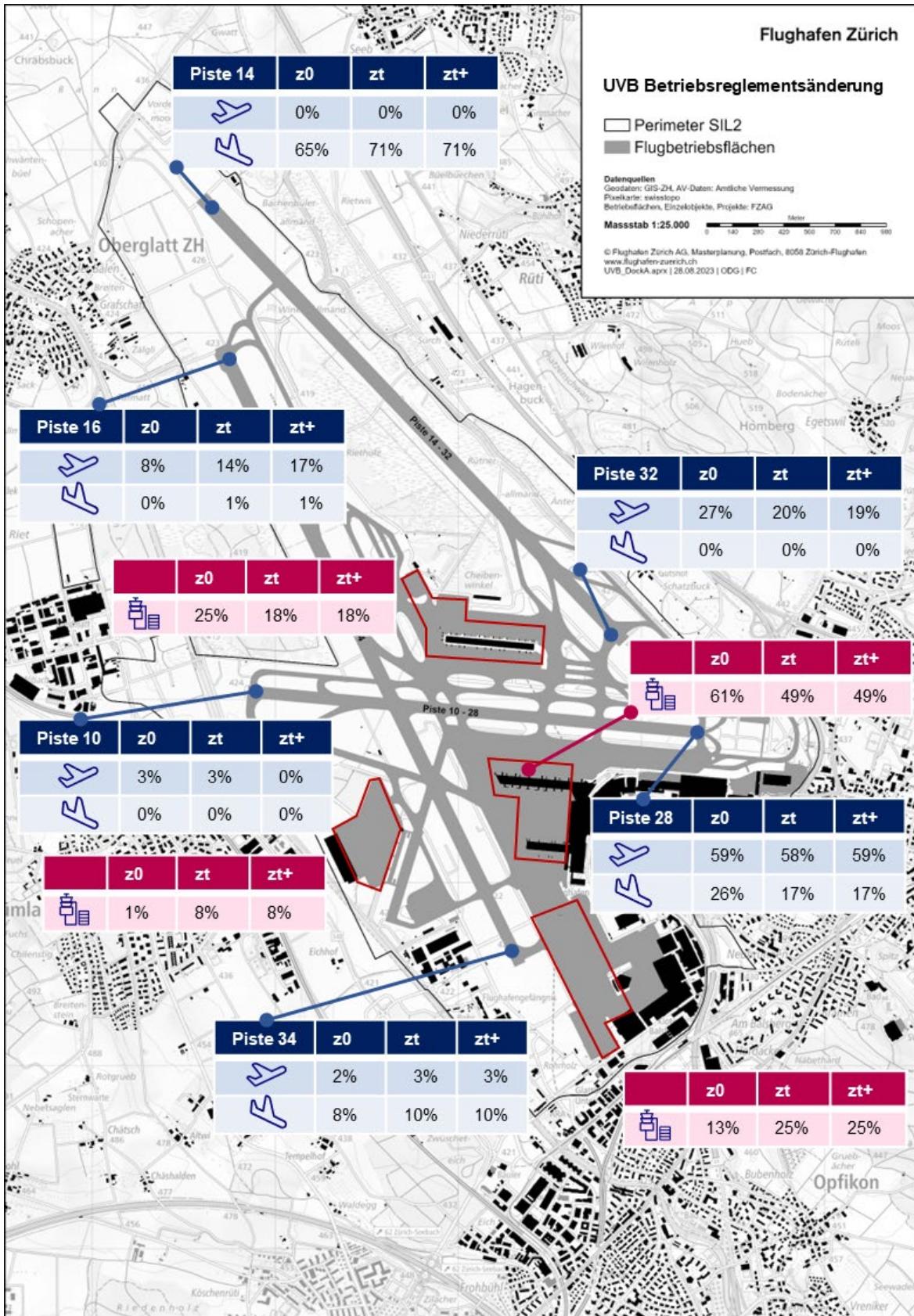
## A. Übersicht über die Grundlagen

Zeitpunkte	Ist-Zustand (z0): 2023	Ausgangszustand (zt): 2035	Betriebszustand (zt+): 2035
<b>Betrieb und Infrastruktur<sup>7</sup></b>			
Pisten, Rollwege, Gebäude und Nebenanlagen	Effektiver Zustand 2023	Die bis ca.2035 vom UVEK genehmigten oder beim BAZL eingereichten neuen oder geänderten Flughafenanlagen werden berücksichtigt (Schnellabrollwege 34, Umrollung Piste 28, Zone West (+ 2 Hangare), neues Dock A und zugehörige Bauten).	Infrastruktur gleich wie Ausgangszustand.
Flugbetrieb	Effektiver Zustand 2023	Flugbetrieb 2035 auf der Basis 2023 (ausser SID 10 ab Februar 2024)	Geplanter Flugbetrieb 2035 mit Betriebsanpassungen gemäss Kapitel 1.5
<b>Emissionsquellen und deren Emissionsfaktoren</b>			
Flugbetrieb im LTO-Zyklus (bis 915m über Grund).	Individuelle Flugzeug-Triebwerkskombinationen und effektive Operationen (Flugtagebuch 2023).	Individuelle Flugzeug-Triebwerkskombinationen und prognostizierte Operationen für 2035; Anpassung von Flugzeugtypen gemäss Anhang C.	
	Faktoren aus der ICAO-Emissionsdatenbank für Treibstoff (kg/s) und NOx, und PM (g/kg). Anwendung mit Leistungsmodell (ADAECAM) und meteorologische Zeitreihe 2023.		
Flugzeugzelle	Feinstaubabrieb von Bremsen und Reifen entsprechend dem Mengen-/Typengerüst		
Hilfstriebwerke (APU)	Flugzeuggruppen-APU mit Emissionsfaktoren gemäss ICAO (Doc 9889). Mengenwachstum entsprechend den Flugbewegungen in den jeweiligen Flugzeuggruppen. Effektive Berücksichtigung der Standzeiten und Ausrüstung der Standplätze mit stationären Anlagen.		
Abfertigungsgeräte (z.B. GPU, Schlepper, Hebebühnen, Enteiser, etc.)	Effektiver operationeller Einsatz (abhängig von Flugzeuggruppe und Standplatz) mit durchschnittlichen Emissionsfaktoren des BAU und EU pro Fahrzeug-/ Maschinenkategorie (auf der Basis des über den Treibstoff gewichteten Gerätealters).	Effektiver operationeller Einsatz. Für die Emissionsfaktoren wird die aktuell stattfindende Elektrifizierung der Abfertigungsgeräte berücksichtigt und eine Reduktion von Verbrennungsprozessen um 40% eingesetzt.	
Vorfeldverkehr: Fahrzeugverkehr von PW, Lieferwagen, Lastwagen, Unterhaltsfahrzeugen	Effektive Kilometerleistung (und Geschwindigkeiten) nach Fahrzeuggruppen auf der Basis von Verkehrs-	An den Flugzeugbewegungen und Abfertigung skalierte Kilometerleistung auf dem Vorfeld nach Fahrzeuggruppen; Emissionsfaktoren aus HBEFA 4.2 für Personen-, Liefer- und Lastwagen für das Jahr 2035 angepasst an	

<sup>7</sup> Karte im Anhang B

	zählungen; Emissionsfaktoren aus HBEFA 4.2 für Personen-, Liefer- und Lastwagen für das Jahr 2023.	die aktuelle Entwicklung am Flughafen Zürich (zusätzliche Elektrifizierung).
Feuerungen und Notstromanlagen	Effektiver Betrieb der Anlagen mit Emissionsfaktoren der Hersteller oder BAFU.	Leistungen und Brennstoffverbrauch vom Flughafen Zürich gemäss Wärme-Masterplan 2040; Emissionsfaktoren der Hersteller oder BAFU.
Werft, Stand- und Prüfläufe	Berechnungen der SR-Technics nach Materialverbrauch und Belegung der Triebwerkprüfstände.	Skalierung an Flugzeugbewegungen und neuen Flugzeugtypen (Standläufe, Werft) und der Berücksichtigung neuer Testzellen (Testläufe).
Nebenbetriebe, Unterhalt	Materialverbrauch für Gebäudereinigung, Hoch- und Tiefbauunterhalt vom Flughafen Zürich (diverse Partner), Treibstofflager. Emissionsfaktoren BAFU.	
Bautätigkeiten	Gemäss Faktoren des BAFU (für 2035 keine über das Mass von 2023 hinausgehenden Bautätigkeiten)	
Landseitiger Zubringerverkehr und Parking im Perimeter	Effektiver Betrieb gemäss Verkehrszählungen und mit Emissionsfaktoren aus HBEFA 4.2 für 2023.	Skalierung der Fahrten anhand der Passagiere und unter Berücksichtigung des Modalsplits von 46%; Emissionsfaktoren nach HBEFA 4.2 für 2035.

## B. Flughafenkarte und Flugbetrieb



## C. Mengengerüst Flugzeuge/Triebwerke

Flz-Gruppe	2023		2035		
	Bewegungen	Flugzeugtyp	Triebwerk	Bewegungen	% am Total
Large		A388	GP7270	1'576	
Large		A350-1000	Trent XWB-97	11'065	
Large		A350-900	Trent XWB-84	7'377	
Large		A340-300	CFM56-5C4/1P	2'920	
Large		B77W (-8/-9)	GE9-X-105B1A	12'295	
Large		B77W	GE90-115B	6'147	
<b>Subtotal</b>	<b>15'735</b>			<b>41'380</b>	<b>163%</b>
Medium		A332	PW4168A	1'311	
Medium		A333	Trent 772	5'146	
Medium		A330Neo	Trent 7000-72	5'934	
Medium		B788, B789, B78X	Genxx-1B76A/P2	2'190	
<b>Subtotal</b>	<b>12'780</b>			<b>14'582</b>	<b>14%</b>
Small		A320neo	PW1127G-JM	39'691	
Small		A320	CFM56-5B4/P	39'691	
Small		A321neo	PW1133G-JM	12'534	
Small		A321	CFM56-5B1/P	8'356	
Small		A319	CFM56-5B6/P	6'694	
Small		A220/BCS1	PW1524G	20'510	
Small		A220/BCS3	PW1524G	24'072	
Small		B737 Max	CFM Leap 1B25	7'217	
Small		B738	CFM56-7B26	7'217	
Small		B737	CFM56-7B22/3	4'558	
<b>Subtotal</b>	<b>147'473</b>			<b>170'539</b>	<b>16%</b>
Regional		E190/E195E2	CF34-10E5A1	68'160	
Regional		E170	CF34-8E5	590	
Regional		CRJ7	CF34-8C1	4'131	
Regional		CRJ9	CF34-8C5	10'917	
Regional		E135	AE3007-A1/3	590	
<b>Subtotal</b>	<b>53'818</b>			<b>84'389</b>	<b>57%</b>
Business		CL65	CF34-3B	20'139	
HeliLarge		AS32	Makila 1A1	103	
HeliSmall		A109	Artouste III	1'160	
HeliSmall		EC35	PW206B	1'111	
HeliSmall		EC45	HIO-540	410	
HeliSmall		R44	ARRIEL 1E1	881	
HeliSmall		B06	DDA250-C20	336	
<b>Subtotal</b>	<b>17'650</b>			<b>24'139</b>	<b>37%</b>
<b>Total</b>	<b>247'456</b>			<b>335'030</b>	<b>35%</b>

Quelle der Emissionsfaktoren für Flugzeugtriebwerke:

- Helikopter : <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/fachleute/regulation-und-grundlagen/umwelt/schadstoffemissionen/triebwerksemissionen/anleitung-zur-abschaetzung-von-helikopteremissionen.html>
- Jets: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/environment/icao-aircraft-engine-emissions-databank>

## D. Kurzbeschreibung von LASPORT

Das Programmsystem LASPORT (*LASAT for Airports*) ermöglicht die Berechnung der Emission und Immision von flughafenbezogenen Emittenten einschließlich des Flugverkehrs. LASPORT (Janicke et al., 2007) ist das Standardsystem der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (ADV) und wird seit vielen Jahren an Europäischen Verkehrsflughäfen eingesetzt (u.a. Frankfurt am Main, München, Düsseldorf, Zürich, Wien, Milano, Paris).

LASPORT wurde von der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) evaluiert (ICAO, 2010) und in mehreren Untersuchungen und internationalen Projekten eingesetzt (u.a. Yamartino et al., 2004; Fleuti & Hofmann, 2005; PSDH, 2006; TEAM\_Play, 2013).

Mit LASPORT werden die Emissionen aus Flugverkehr (Haupttriebwerke und Hilfstriebwerke), Bodenabfertigung (GPU und GSE) sowie luftseitigem Kfz-Verkehr bestimmt und in eine Ausbreitungsrechnung mit LASAT (Lagrangisches Partikelmodell) überführt. Der Flugverkehr kann detailliert berücksichtigt werden, bei Bedarf mit einer zeitlichen Auflösung einzelner Start- und Landevorgänge bis hinunter zu 10 Sekunden. Das typische Auswerteintervall für die Konzentration liegt bei einer Stunde, typische Betrachtungszeiträume zwischen einem Tag und einem Jahr. Die räumliche Auflösung beträgt typischerweise 100 m bis einige 100 m, die Ausdehnung des Betrachtungsgebietes einige Kilometer bis einige 10 Kilometer.

Die von LASPORT zur Verfügung gestellten Methoden sind konform mit dem ICAO-Dokument 9889 (*Airport Air Quality Manual*). Die verwendete Ausbreitungsmodellierung ist konform mit den Richtlinien VDI 3945 Blatt 3 (Partikelmodell) und VDI 3783 Blatt 8 (Grenzschichtmodell).

Der Flugverkehr wird auf der Basis eines Flugtagebuches modelliert. Es enthält eine Liste der individuellen Flugbewegungen, jeweils mit Angaben zum Zeitpunkt der Landung bzw. des Starts, der Andock- bzw. Abdockzeit, zur verwendeten Piste und zum Rollweg sowie zum Flugzeug- und Turbinentyp. Auf Grundlage dieser Informationen wird jede Flugbewegung als sich bewegende Quelle mit zeitlich abhängigen Emissionsraten und Ablufteigenschaften der Haupttriebwerke modelliert, die Zeitauflösung der Bewegung beträgt typischerweise 15 Sekunden.

Jedem auf dem Vorfeld abgefertigten Flugzeug werden individuelle Emissionen aus Hilfstriebwerken (APU), Bodenaggregaten (GPU) und Abfertigung (GSE) zugewiesen. Der land- und luftseitige Kfz-Verkehr wird über Systeme von Linienquellen mit generischen Jahres-, Wochen- und Tagesgängen der Bewegungen modelliert, wobei mehrere Kfz-Kategorien und Verkehrsszenarien berücksichtigt werden. Weitere Quellen werden individuell in Form von Punkt-, Linien-, Flächen- oder Volumenquellen mit individuellen generischen Zeitgängen festgelegt.

Das Ergebnis einer LASPORT-Rechnung sind die Gesamtemissionen über den Betrachtungszeitraum (aufgeteilt nach Substanzen und Quellgruppen sowie beim Flugverkehr nach LTO-Segmenten) sowie die fortlaufenden Zeitreihen der dreidimensionalen Konzentrationsverteilung in Form von Stundenmitteln. Aus ihnen können Tagesmittel, Jahresmittel sowie Konzentrationszeitreihen an Monitorpunkten gebildet werden.

Neben der Evaluierung im Rahmen von ICAO (ICAO, 2010) und durch weitere unabhängige Experten (z.B. Yamartino et al., 2004) wurde LASPORT durch Vergleiche mit Messungen validiert, beispielsweise anhand von DOAS-Messungen am Flughafen Düsseldorf (Janicke, 2008) und Messungen an den Flughäfen Zürich (Fleuti und Hofmann, 2005) und Frankfurt am Main (Fraport, 2011).

## E. Abkürzungen

ADAECAM	Advanced Aircraft Emission Calculation Method
ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (Berlin, Deutschland)
APU	Auxiliary Power Unit (Flugzeughilfturbine zur Energieerzeugung)
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Zürich)
BAFU	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Bern)
CAEP	Committee on Aviation and Environmental Protection (ICAO)
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
ECAC	European Civil Aviation Conference (Paris, Frankreich)
EUNRMM	European Union Non-Road Mobile Machinery (Emissionsgrenzwerte)
FAA	Federal Aviation Administration (Zivilluftfahrtbehörde, Washington, USA)
GA	General Aviation (Privatluftverkehr)
GPU	Ground Power Unit (mobiles Stromversorgungsgerät für Flugzeuge)
GSE	Ground Support Equipment (Abfertigungsgerätschaften)
GW	Grenzwert
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr (BAFU, Version 4.2)
HC	Hydrocarbon (Kohlenwasserstoff)
ICAO	International Civil Aviation Organisation (Montreal, Kanada)
ISO	International Standard Organisation (internationale Normen-Organisation)
k.A.	keine Angaben vorhanden
LASAT	Lagrangian Simulation of Aerosol Transport (Ausbreitungsmodell)
LASPORT	LASat for AirPORTs
LRV	Luftreinhalteverordnung (Schweiz)
LTO	Landing and Take-Off (Lande- und Startzyklus bis ca. 950 m.ü.G.)
m.ü.G.	Meter über Grund
NO <sub>2</sub>	Stickstoff-Dioxid
NOx	Stickoxide
NRE	Non-Road Emissions (Direktiven der EU über Abgasgrenzwerte von Maschinen)
PLV	Privatluftverkehr
PM <sub>10</sub>	Particulate Matter (Feinstaub mit Durchmesser < 10 µm)
SAF	Sustainable Aviation Fuel (nachhaltige Flugtreibstoffe)
t	Tonnen
TA	Technische Anleitung (Deutschland)
UBA	Umweltbundesamt (Berlin, Deutschland)
USG	Umweltschutzgesetz (Schweiz)
UVB	Umweltverträglichkeitsbericht
UVEK	Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Bern, Schweiz)
VDI	Verein deutscher Ingenieure (Deutschland)
VE	Verkehrseinheiten (1 VE = 1 Passagier oder 100 kg Fracht/Luftpost)
VOC	Volatile Organic Compounds (Kohlenwasserstoffe)

# Abbildungsverzeichnis

Abb 1.	Operationeller Start- (A-F, blau) und Landezyklus (G-J, rot)	6
Abb 2.	Entwicklung der Gesamtbelastung 2015-2024 Luft an den Flughafenmessstationen	11
Abb 3.	Gemessene NO <sub>2</sub> -Gesamtbelastung (Punkte) und modellierte Flughafenzusatzbelastung (Fläche) im Ist-Zustand (2023, in µg/m <sup>3</sup> )	11
Abb 4.	Flughafenzusatzbelastung für NO <sub>2</sub> im Betriebszustand Zt+ (alle Flughafenquellen, 2035, in µg/m <sup>3</sup> )	12
Abb 5.	Veränderung der NO <sub>2</sub> -Belastung zwischen den Ausgangs- und Betriebszustand im Jahr 2035 (µg/m <sup>3</sup> , Jahresmittel)	13
Abb 6.	Modellierte regionale Gesamtbelastung für NO <sub>2</sub> im Jahr 2030/35 (in µg/m <sup>3</sup> )	14

# Tabellenverzeichnis

Tab 1:	Untersuchte Zustände	4
Tab 2:	Verkehrsvolumen nach Flugzeuggruppen	5
Tab 3:	NOx-Emissionen	8
Tab 4:	Feinstaub-Emissionen	8
Tab 5:	Massnahmen Lufthygiene	9

# Impressum

## Kontakt

Flughafen Zürich AG  
Bereich Finance & Services  
Nachhaltigkeit & Umwelt  
[environment@zurich-airport.com](mailto:environment@zurich-airport.com)

Stand: 26. September 2025