



# Inventar der Luftemissionen auf der Flughafenplattform EuroAirport®

Bezugsjahr 2022

## VERBREITUNG

---

### Uneingeschränkte Verbreitung zur Weiterverwendung der Daten unter folgenden Bedingungen:

- Die von ATMO Grand Est erzeugten Daten sind für die Allgemeinheit in open license verfügbar.
- Auf Anfrage stellt ATMO Grand Est die Charakteristiken der angewendeten Messtechniken und Datenverarbeitungsmethoden sowie die geltenden Umweltnormen und nationalen methodischen Leitfäden zur Verfügung.
- ATMO Grand Est kann das vorliegende Dokument Dritten zur Verfügung stellen.
- Dieser Bericht wird bei geänderter Datenlage nicht erneut verbreitet.

## ZUSTÄNDIGE ANSPRECHPERSONEN

---

Autor: *Xavier Schwindenhammer, Einheit Emissionen/Energie*  
Revision: *Camille Weisse, Leiterin der Einheit Emissionen/Energie*  
Genehmigung: *Cyril Pallares, Betriebsdirektor*

Berichtsvorlage: COM-FE-001\_8

Projektreferenz: 900896

Berichtsreferenz: PE\_INV-BEGES\_EAP\_2023 Bericht 15/08/2024

Datum der Veröffentlichung: August 2024

### **ATMO Grand Est**

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – F-67300 Schiltigheim

Tel.: +33 (0)3 69 24 73 73

Mail: [contact@atmo-grandest.eu](mailto:contact@atmo-grandest.eu)

Anmerkung zur Übersetzung: Diese deutsche Höflichkeitsübersetzung wurde auf der Grundlage der französischen Originalversion von ATMO Grand Est erstellt.

## INHALT

<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>RAHMEN UND ZIEL</b> .....	<b>4</b>
<b>A. DIREKTE SCHADSTOFF- UND THG-EMISSIONEN</b> .....	<b>5</b>
<b>1 VERWENDETE METHODE UND MITTEL</b> .....	<b>5</b>
1.1 EMISSIONSINVENTAR: GRUNDSÄTZE, DEFINITIONEN.....	5
1.2 METHODE .....	6
1.3 UNSICHERHEITEN DER EMISSIONSBERECHNUNG .....	10
1.4 BESONDERHEITEN DES VORLIEGENDEN LUFTEMISSIONSINVENTARS .....	11
1.4.1 Geografische Ausdehnung und räumliche Auflösung .....	11
1.4.2 Arten der Emissionsquellen.....	12
1.4.3 Zeitliche Basis und Auflösung.....	12
1.4.4 Besonderheiten des Inventars der Flugzeugemissionen .....	13
1.4.5 Berücksichtigte Schadstoffe .....	13
<b>2 ERGEBNISSE DES INVENTARS</b> .....	<b>14</b>
2.1 BODENEMISSIONEN (OHNE FLUGZEUGE) .....	14
2.1.1 Bodenemissionen total (ohne Flugzeuge) .....	14
2.1.2 Versauerung, Eutrophierung und photochemische Verschmutzung .....	15
2.1.3 Treibhausgasemissionen .....	21
2.1.4 Feinstaubemissionen (TSP, PM10, PM2.5, PM1).....	26
2.1.5 Persistente organische Schadstoffe .....	28
2.1.6 Schwermetalle.....	31
2.2 ANTEIL DER FLUGZEUGEMISSIONEN AN DEN GESAMTEMISSIONEN DES FLUGHAFENS	32
2.3 VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT DER UMGEBUNGSZONE .....	37
2.3.1 Gesamtemissionen .....	38
2.3.2 Emissionen aus dem Fahrzeugverkehr .....	39
2.3.3 Emissionen von Verbrennungsprozessen aus stationären Quellen .....	40
2.4 VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT GRÖßEREN GEBIETEN.....	41
2.4.1 Mit den Gesamtemissionen des Departements und der Region .....	41
2.4.2 Mit den Emissionen der Flugzeuge in Grand Est .....	42
2.5 VERGLEICH MIT DEM LUFTEMISSIONSINVENTAR 2015 .....	43
2.5.1 Bodenquellen (ohne Flugzeuge).....	43
2.5.2 Flugzeuge .....	45
<b>SCHLUSSFOLGERUNG</b> .....	<b>46</b>

Gemäss Artikel L221-3 des französischen Umweltgesetzbuchs (*Code de l'Environnement*) überträgt der Staat in jeder Region die nach Artikel L221-2 vorgesehene Überwachung der Luftqualität einer oder mehreren akkreditierten Organisationen. Diese akkreditierten Organisationen müssen Vertreterinnen und Vertreter des Staates, der lokalen Gebietskörperschaften, verschiedener Emittenten der überwachten Stoffe, von Umwelt- und Konsumentenverbänden sowie gegebenenfalls qualifizierte Personen in ausgewogener Weise einbeziehen. ATMO Grand Est ist die akkreditierte Organisation für die französische Region Grand Est.

ATMO Grand Est hat ein Vereinsprojekt mit mehreren Leitlinien bis zum Jahr 2030 definiert, zu denen die vorliegende Studie einen Beitrag leistet:

- Achse 1: Behauptung unserer Rolle als technische Referenz.
  - Leitlinie 1: Dem Bedarf an Beobachtung gerecht werden.
    - Punkt 1: Die Beobachtungsstelle für Klima, Luft und Energie dauerhaft etablieren, sie durch Partnerschaften bereichern und die Nutzung ihrer Daten fördern.
    - Punkt 2: Die Bereiche Klima und Energie stärken.
- Achse 2: Im Dienste der Gesundheit der Bevölkerung und der Ökosysteme an Ihrer Seite stehen.
  - Leitlinie 4: Gezielte Steuerungsinstrumente erstellen.
    - Punkt 9: Kleine industrielle Emittenten bei ihren Luft-Klima-Energie-Herausforderungen besser unterstützen.
  - Leitlinie 5: Öffentliche Politiken evaluieren.
    - Punkt 2: Gemeinsame Auswertung der Luft-Klima-Energie-Daten, um die für relevante Maßnahmen erforderliche Querschnittsfunktion zu gewährleisten.

In diesem Sinne steuert ATMO Grand Est sein Fachwissen und die verfügbaren Daten bei, um die Fragestellungen von dem Euroairport®, von Anrainerinnen und Anrainern sowie von Verbänden zu beantworten (Wissensvermittlung), um den Wissensstand über die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen des Euroairport® zu aktualisieren und zu verbessern und so zu seinem Aktionsplan beizutragen.

## RAHMEN UND ZIEL

---

### Direkte Schadstoff- und Treibhausgasemissionen

In den Jahren 2005, 2016 und 2019 hat der Flughafen Basel-Mulhouse im Rahmen einer Luftqualitätsdiagnose und -Überwachung neben Messkampagnen durch ATMO Grand Est auch ein Emissionsinventar im Zusammenhang mit dem Flughafenbetrieb für die Referenzjahre 2003, 2009, 2015 und 2019 in Auftrag gegeben, um die Auswirkungen der Luftemissionen zu ermitteln und deren Quellen zu hierarchisieren.

Für 2022 beabsichtigt der Flughafen Basel-Mulhouse eine aktualisierte Bestandesaufnahme der Emissionen aus den Flughafenaktivitäten, um verschiedene Fragestellungen zu beantworten:

- Wie viel Treibhausgas und Schadstoffe werden vom Flughafen emittiert?
- Welche Akteure müssen mobilisiert werden? Mit welchem Spielraum?

Das **Inventar der direkten, räumlichen und quellenorientierten Schadstoff- und Treibhausgasemissionen** erfasst die Emissionen **aller Quellen, die in einem definierten Gebiet auftreten** (Flughafen-Bodeneinrichtungen, Zufahrtsverkehrsachsen und Flugzeugemissionen während des LTO-Zyklus<sup>1</sup>).

Die Quantifizierung der Luftemissionen (mit stationären und mobilen Quellen) ermöglicht dem Flughafen Basel-Mulhouse:

- Die Hierarchisierung der Emissionsquellen, die in direktem Zusammenhang zum Flughafen stehen
- Die Festlegung einer Basis zur Ermittlung der zeitlichen Entwicklung der direkten Schadstoff- und THG-Emissionen
- Die Information der interessierten Parteien über die theoretischen Luftschadstoffemissionen im Zusammenhang mit den Aktivitäten auf dem Flughafengelände in ihrer nahen Umgebung
- Die Einordnung der Flughafen-Emissionen unter sämtlichen Luftemissionsquellen im Elsass (Strasse, Industrie, Wohnen usw.)
- Den Vergleich der gemessenen Resultate mit den Resultaten früherer Luftemissionsinventaren für den Flughafen Basel-Mulhouse
- Den Vergleich der Emissionen der Flüge, die die Plattform nutzen, mit denen anderer Flughäfen

Mehrere Aspekte in diesem Inventar ermöglichen dem Flughafen Basel-Mulhouse, **Artikel 45 des französischen Gesetzes 2015-992 vom 17. August 2015 betreffend die Energiewende zugunsten eines grünen Wachstums einzuhalten**. Die Betreiber von Flughäfen sind aufgrund des genannten Artikels verpflichtet, ein Aktionsprogramm zur Reduzierung der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen zu erstellen.

### Indirekte Treibhausgasemissionen

Der Flughafen Basel-Mulhouse nimmt am ACA-Programm (Airport Carbon Accreditation), das die Überwachung der direkten und indirekten Treibhausgasemissionen sowie die Umsetzung von Massnahmen zur Kontrolle und Begrenzung seiner Klimawirkung umfasst, teil.

---

<sup>1</sup> Landing and Take Off: Hierbei handelt es sich um die Flugphasen im Flughafenumfeld unter 3000 ft Flughöhe.

## A. DIREKTE SCHADSTOFF- UND THG-EMISSIONEN

### 1 VERWENDETE METHODE UND MITTEL

#### 1.1 Emissionsinventar: Grundsätze, Definitionen

Ein Emissionsinventar ist die «qualitative und quantitative Beschreibung der Luftemissionen bestimmter Stoffe aus anthropogenen (vom Menschen verursachten) und/oder natürlichen Quellen».

Im Allgemeinen ist ein Inventar der Luftemissionen nach verschiedenen Kriterien definiert:

- Substanzen
- Emissionsquellen
- Geografisches Gebiet
- Zeitraum
- Erkenntnisse aus den Berechnungen und Anwendungsfälle

Somit sind für die Studienarbeit massgebliche Wahlen zu treffen, die von den Zielsetzungen und eingesetzten Mitteln abhängen:

- Auswahl der untersuchten Stoffe
- Typologie, Nomenklaturen und Auswahl der Quellen
- Räumliche Ausdehnung und Auflösung
- Zeitliche Basis und Auflösung
- Format und Darstellung der Daten

Der Aufbau und die Nutzung eines Emissionsinventars lassen sich schematisch in drei Themenbereiche unterteilen:

- Datenerhebung: Primärdaten, Stammdaten, Emissionsfaktoren usw.
- Berechnungen, räumliche Darstellung, Verfahren.
- Nutzung des Inventars: Studien, Entscheidungshilfe, Modellierung usw.

Die Erstellung eines Emissionsinventars besteht also in einer theoretischen Berechnung der in die Luft emittierten Schadstoffströme (Masse des Stoffs X pro Zeiteinheit).

Dabei werden die sogenannten Primärdaten (Statistiken, Zählungen, Erhebungen, Energiebedarf usw.) und die Emissionsfaktoren, die aus messtechnischen Experimenten oder Modellierungen hervorgehen, miteinander gekreuzt.

Die Formel für die Gesamtberechnung lautet:

$$E_{s,a,t} = A_{a,t} \times F_{s,a}$$

Es gelten:

E: Emission des Stoffs «s» aus der Aktivität «a» während der Zeit «t».

A: Aktivitätsmenge aus der Aktivität «a» während der Zeit «t».

F: Emissionsfaktor des Stoffs «s» aus der Aktivität «a».

Die Emissionsfaktoren spielen eine massgebliche Rolle für die Präzision und Verlässlichkeit der Resultate. Sie geben an, welche Schadstoffströme in der Regel in der Regel pro Verbrauch einer bestimmten Energieeinheit (z.B. GJ) in der Regel, respektive pro gefahrenen Kilometer oder pro Bewegung im Transportsektor emittiert werden. Somit lassen sich Bezüge herstellen zwischen Verfahren,

Verbrennungsprozessen, Lösungsmittelverbrauch etc. und den Schadstoffströmen. Bestimmte Emissionsfaktoren müssen nach Bedarf und Studie eigens entwickelt oder angepasst werden.

## 1.2 Methode

### Empfehlungen

Die ACNUSA verweist in ihren Arbeiten zum Luftqualitätsmanagement an Flughäfen auf die methodischen Instrumente und Leitfäden, die zur Auswertung von Flughafenemissionen empfohlen werden.

- **Für die Bodenquellen** stellt der methodische Leitfaden für die Bestimmung der Luftemissionen im Flughafenbereich ohne Flugzeuge (CITEPA/DGAC-STAC, 2013) einen relativ umfassenden Ansatz für die Erfassung der Luftemissionen aus allen auf dem Flughafen betriebenen Quellen dar, sofern bei den Flughafenakteuren eine entsprechende Datenerhebung durchgeführt wird.
- **Für die Flugzeugemissionen** stützen sich die Empfehlungen der ACNUSA auf folgende Inventare:
  - Die Flugzeuginventare, die von den Akkreditierten Vereinigungen für die Überwachung der Luftqualität AASQA (*Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air*) regelmässig für die jeweilige Region erstellt werden. Für diese Emissionsinventare werden die Methoden aus dem Leitfaden **der französischen Koordinationsstelle für räumliche Inventare PCIT (*Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux* - CITEPA/Atmo France/INERIS/DGEC, 2018)** angewandt.<sup>2</sup>
  - Das Inventar im TARMAAC-Tool der Fachstelle für die Erforschung der Luftverschmutzung CITEPA (*Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique*). Dieses Tool wendet eine Methode an, die den hohen methodischen Anforderungen des PCIT-Leitfadens entspricht. Der Output des TARMAAC-Tools und die Resultate eines PCIT-Inventars durch eine AASQA sind vergleichbar, können aber je nach Verfügbarkeit und Detailgenauigkeit der an den Flughäfen erhobenen Daten variieren.

### Wahl der Methoden

Im Inventar der direkten Emissionen werden zwei Arten von Quellen unterschieden:

- **Bodenquellen**, für die alle Spezifikationen und angewandten Methoden aus dem methodischen Leitfaden stammen, den die CITEPA auf nationaler Ebene erstellt hat (Leitfaden für die Bestimmung der Luftemissionen im Flughafenbereich ohne Flugzeuge [*Guide méthodologique pour la détermination des émissions dans l'atmosphère d'une zone aéroportuaire à l'exception des aéronefs*]).
- **Flugzeugemissionen** (während des LTO-Zyklus). In früheren Studien der Plattform wurden diese Emissionen direkt aus dem Inventar der Region Grand Est bereitgestellt, in dem sie bereits erfasst wurden. Bei diesen Berechnungen wurden die Flugbewegungen pro Flugzeugtyp und durchschnittliche LTO-Phasenzeiten aus spezifischen Messungen für den betroffenen Flughafen

---

<sup>2</sup> Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, [www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-lelaboration-des-inventaires-territoriaux-des-emissions](http://www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-lelaboration-des-inventaires-territoriaux-des-emissions)

berücksichtigt. Für die vorliegende neue Studie verfolgt der Flughafen das Ziel einer eingehenderen Abschätzung der Flugzeugemissionen mittels einer flugspezifischen Berechnung. Dafür wurden, anhand von radargestützten detaillierten Daten für jede Flugbewegung, die Emissionen aufgrund der ihr eigenen LTO-Phasenzeiten errechnet. Die dabei verwendete Methode stammt aus dem Leitfaden, der von der französischen Koordinationsstelle für räumliche Inventare PCIT (*Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux*) erstellt wurde.

### Bodenquellen

Die Emissionen der nachstehenden Stoffe werden gemäss dem Leitfaden für die 20 Aktivitäten berechnet, die auf Flughäfen potenziell gegeben sind (Anhang 1 enthält eine Beschreibung der Daten der Datenblätter):

Datenblatt	Aktivität
1	Energiezentralen
2	Klima- und Kühltechnik
3	Treibstofflagerung
4	Abgabe von Flüssigbrennstoffen und Benzin
5	Gasverteilnetze
6	Schaltanlagen (SF <sub>6</sub> )
7	Feuerlöschposten
8	Bau und Renovation von Wegen
9	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen
10	Enteisung von Zufahrten und Parkbereichen
11	Wartungsarbeiten und Aussenreinigung von Flugzeugen, Bodenfahrzeugen und Räumlichkeiten
12	Lackierarbeiten an Flugzeugen, Bodenfahrzeugen und Räumlichkeiten
13	Biotische Quellen (Vegetation und Grünflächen)
14	Brandversuche
15	Baustellen
16	Schienenverkehr
17	Spezialfahrzeuge und -maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege
18	Spezialfahrzeuge und -maschinen für industrielle Zwecke (flugnahe Aktivitäten)
19	Spezialfahrzeuge und -maschinen für Flughafenzone
20	Strassenverkehr
21	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen

*Tabelle 1: Liste der im Inventar berücksichtigten Aktivitäten.*

Gemäss dem methodischen CITEPA-Leitfaden für die vorab genannten Aktivitäten werden in der vorliegenden Studie folgende Stoffe inventarisiert:

Gruppe	Chemischer Stoff
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)</li> <li>• Stickoxide (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>)</li> <li>• Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC), generell ohne Spezifizierung</li> <li>• Ammoniak (NH<sub>3</sub>)</li> <li>• Kohlenmonoxid (CO)</li> </ul>
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Methan (CH<sub>4</sub>)</li> <li>• Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ohne Senken</li> <li>• Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O)</li> <li>• Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)</li> <li>• Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC)</li> <li>• Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>)</li> </ul>
<b>FEINSTAUB</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtstaub (TSP)</li> <li>• Feinstaub mit Durchmesser unter 10 µm (PM10)</li> <li>• Feinstaub mit Durchmesser unter 2,5 µm (PM2.5)</li> <li>• Feinstaub Durchmesser unter 1,0 µm (PM1)</li> </ul>
<b>BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Benzo(a)pyren (BaP)</li> <li>○ Benzo(b)fluoranthren (BbF)</li> <li>○ Benzo(k)fluoranthren (BkF)</li> <li>○ Indeno(1,2,3)pyren (Ind(1,2,3)Py oder IndPy oder Ind(1,2,3-cd)Py)</li> <li>○ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe insgesamt (PAKinsg) in Fällen ohne Detailinformationen</li> </ul> </li> <li>• Polychlorierte Biphenyle (PCB)</li> <li>• Hexachlorbenzol (HCB)</li> <li>• Dioxine und Furane (PCDD-F)</li> </ul>
<b>BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsen (As)</li> <li>• Cadmium (Cd)</li> <li>• Chrom (Cr)</li> <li>• Kupfer (Cu)</li> <li>• Quecksilber (Hg)</li> <li>• Nickel (Ni)</li> <li>• Blei (Pb)</li> <li>• Selen (Se)</li> <li>• Zink (Zn)</li> </ul>

Tabelle 2: Liste der im Inventar berücksichtigten Aktivitäten nach CITEPA-Leitfaden.

### Die Triebwerkstests

Die Emissionen der Triebwerkstests wurden auf der Grundlage der bei der Umweltabteilung des Flughafens erfassten Buchungsslots, der Leistungsstufen der Tests (full, middle, idle) und der Flugzeug-/Triebwerkstypen geschätzt. Es wurde angenommen, dass bei jedem Triebwerkstest alle Triebwerke des Flugzeugs getestet werden, was zu einer Überschätzung des Verbrauchs und der daraus resultierenden Emissionen führen kann.

Die Triebwerkstests werden nicht in allen Buchungsslots durchgeführt. Daher wurde eine statistische Verteilung definiert und angewandt, um die tatsächliche Dauer der Tests im Vergleich zur Dauer der Buchungen zu schätzen. Diese Verteilung basiert auf der Geräuschanalyse von etwa 30 Triebwerkstests, die im "Silencer", einer der Triebwerkstestpositionen, durchgeführt wurden.

Die geschätzten Verteilungen zwischen den tatsächlichen Testdauern und den Reservierungsdauern sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Buchungsdauer [min]	Durchschnitt der effektiven Testdauer [min]. [min]	Durchschnittliches Verhältnis von tatsächlicher Dauer zu gebuchter Dauer
[0-60]	44	86%
[60-120]	77	68%
[120-240]	82	45%
[240-360]	98	31%
[360-600]	80	16%

Sie werden aufgrund der vom Euroairport festgelegten Standorte für diese Praktiken als feste Emissionsquellen betrachtet.

### Flugzeuge

Die Methode zur Auswertung der Emissionen auf und in der Nähe eines Flughafens basiert auf dem LTO-Zyklus: Landing and Take Off. Der betrachtete Studienbereich umfasst demnach die Phasen Rollen, Start, Landung, Steigflug und Flug unterhalb einer Flughöhe von 3000 ft. Emissionen oberhalb von 3000 ft (Ende des Steigflugs, Reiseflug, Beginn des Sinkflugs) werden nicht berücksichtigt.

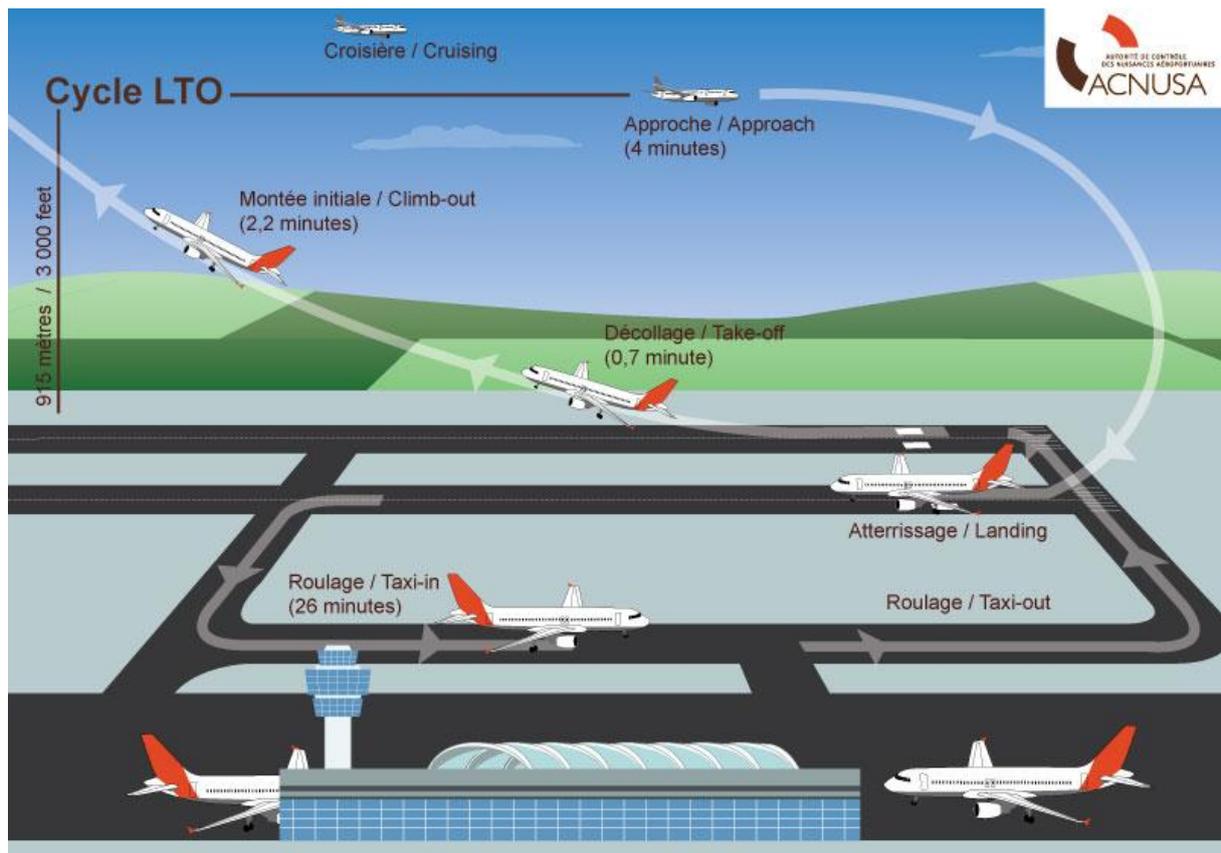


Abbildung 1: Schema der verschiedenen Phasen eines LTO-Zyklus. Quelle: ACNUSA.

Jeder Flugzeug-Motoren-Kombination und jeder LTO-Phase sind ein Treibstoffverbrauch und spezifische Emissionsfaktoren zugeordnet. Die Flugzeugmotoren (Triebwerke, Turboprop- und

Kolbenmotoren) stossen beim Betrieb auf dem und in der Nähe des Flughafens (LTO-Phase) unterschiedliche Schadstoffmengen aus. Abbildung 1 weist die von der ACNUSA angegebenen Zeiten, die von der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) und der Environmental Protection Agency (EPA) stammen, zur Orientierung aus. In diesem Inventar der direkten Flughafenemissionen konnte, mithilfe von Radarinformationen, die mit dem Abflug- und Ankunfts-Register korreliert wurden, jeder Flugzeugbewegung spezifische LTO-Phasenzeiten zugeordnet werden. Das Gesamtergebnis spiegelt die Zusammensetzung der Flugzeugflotte die den Flughafen nutzt, sowie die lokalen An- und Abflugverfahren und den Betrieb besser wieder.

Triebwerk- und Turboprop-Flugzeuge verwenden Kerosin, solche mit Kolbenmotoren hingegen AVGAS (Benzin mit hoher Oktanzahl). Auch die Hubschrauber wurden berücksichtigt. Aufgrund einer Konvention zur Berichterstattung über Flugzeugemissionen auf internationaler Ebene werden die Treibhausgase der internationalen Flüge nicht mitgerechnet. **Im Sinne einer umfassenderen Emissionsauswertung wurden sie aber in den Ergebnissen dieser Arbeit berücksichtigt.**

Zusätzlich zu den Motoremissionen werden im Inventar auch diejenigen Emissionen erfasst, die mit dem APU-Betrieb (*Auxiliary Power Unit*) sowie der Reifenabnutzung, der Start- und Landebahn und der Aufwirbelung von Staub zusammenhängen.

### 1.3 Unsicherheiten der Emissionsberechnung

Im Zusammenhang mit der Bestimmung der Luftemissionen bestehen erhebliche Unsicherheiten. Ihre genaue Quantifizierung ist immer sehr schwierig.

Daher gilt zu beachten, dass das Wissen um die Luftschadstoffströme nach wie vor mit dem Wissen und den sehr unvollkommenen Darstellungsversuchen der physikalischen, chemischen, biologischen und anderen Phänomene zusammenhängt, die an der Entstehung der Schadstoffe beteiligt sind. Diese Unsicherheit weist je nach betrachteter Quelle und Substanz eine äusserst grosse Bandbreite auf.

Derzeit beruhen die Schätzungen zu den Unsicherheiten fast ausschliesslich auf Expertenmeinungen. Daher werden sie als gering angenommen; in der Grössenordnung von 5 Prozent für Gase deren Berechnungen mit Materialbilanzen abgeglichen werden können, wie das für SO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> der Fall ist. Bei Schadstoffen, deren Emissionen weitgehend von den Betriebsbedingungen abhängen, sind die Unsicherheiten in der Regel grösser. Wenn man die Beiträge der verschiedenen Quellenarten berücksichtigt, so liegen diese Unsicherheiten jeweils zwischen 50 und 100 Prozent oder manchmal sogar darüber und hängen insbesondere vom diffusen, oft unkontrollierbaren Charakter bestimmter Quellen ab. Dieser Unsicherheitsgrad kann für ein und denselben Stoff je nach Emissionsquelle stark variieren. Es ist offensichtlich, dass bei einer Quelle, deren Emissionen kontinuierlich oder in regelmässigen Intervallen gemessen werden, eine bessere Bewertung möglich ist. Dasselbe gilt, wenn sich zuverlässige Materialbilanzen vornehmen lassen.

Bei der Berechnung der Unsicherheiten sind verschiedene Parameter zu berücksichtigen, insbesondere die Unsicherheiten in puncto Emissionsfaktoren, sofern diese Methode verwendet wird, und die Unsicherheiten bei den Aktivitätsdaten (Energieverbrauch, eingesetzte Anstrichmenge usw.).

Fazit: Die im vorliegenden Bericht dargestellten Ergebnisse sollten in voller Kenntnis der Sachlage und im Wissen um die erheblichen Unsicherheiten beurteilt und verwendet werden.

## 1.4 Besonderheiten des vorliegenden Luftemissionsinventars

### 1.4.1 Geografische Ausdehnung und räumliche Auflösung

Die geografische Ausdehnung des Emissionsinventars muss eine Schätzung der emittierten Schadstoffe aus allen flughafennahen Aktivitäten ermöglichen.

Berücksichtigt werden dabei Bodenaktivitäten (stationäre und mobile Quellen), die den Flughafen selber und bestimmte Verkehrswege beziehen, die bevorzugte Zugangswege zum Drehkreuz darstellen. Dazu gehören auch alle Parkplätze und Frachtbereiche des Flughafens sowie die Bereiche, in denen Reisende abgesetzt werden. Die für diese Schätzung berücksichtigten Verkehrswege sind in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Straßen im Umkreis der Plattform, die bei der Berechnung der Straßenverkehrsemissionen des öffentlichen Bereichs berücksichtigt werden

### 1.4.2 Arten der Emissionsquellen

Eine Emissionsquelle kann «anthropogen» (durch den Menschen verursacht) oder «natürlichen» Ursprungs sein. Bestimmte Quellen, etwa die Landwirtschaft, die Forstwirtschaft usw., lassen sich so nur schwer einteilen. Die Bezeichnung «natürliche Quellen» wird im Rahmen der Arbeiten zum Flughafen Basel-Mulhouse nicht verwendet. Mit dem Begriff «biotische Quellen» werden anthropogene Quellen bezeichnet, die mit der Natur in Verbindung stehen, etwa Landwirtschaft, Viehzucht, Forstwirtschaft und die Vegetation im Allgemeinen.

Eine Emissionsquelle kann nach ihrem räumlichen Standort klassifiziert werden:

- Stationäre Quellen (lokal begrenzte Emittenten): Berücksichtigt werden die auf dem Flughafen vorhandenen Verbrennungsanlagen, Brennstofflager und -abgabeanlagen, Zonen, in denen Lösungsmittel für Reinigung, Lackierung und Enteisung verwendet werden, Parkzonen und biotische Quellen.
- Mobile Quellen (nicht stationäre Emittenten): Berücksichtigt werden Luftschadstoffemittenten ohne festen Standort, wie Bodenfahrzeuge (Strassenverkehr, Spezialfahrzeuge und -maschinen usw.) und die Flugbewegungen.

Die in diesem Inventar erfassten Aktivitäten werden nach den Methoden aus Abschnitt 1.2 erhoben. Bei den folgenden Quellen wurde festgestellt, dass diese nicht auf dem Flughafengelände vorkommen:

- Schienenverkehr: Im Studiengebiet verläuft kein Bahnnetz.
- Brandversuche: Auf der Plattform werden für Übungen keine Brände mehr gelegt, weil diese in einem externen Trainingszentrum durchgeführt werden.
- Biotische Quellen: Auf dem Flughafengelände erfolgt kein Anbau mit Düngemitteln mehr.
- Elektrische Schaltanlagen: Sie sind hermetisch abgedichtet und nicht für Lecks anfällig.
- Feuerlöschposten: Die vorhandenen Anlagen verwenden keine inventurpflichtigen Verbindungen.

### 1.4.3 Zeitliche Basis und Auflösung

**Das Inventar wird für das Jahr 2022 erstellt.** Als Zeitschritt wird das Kalenderjahr gewählt. Für jede Aktivität, für die keine Daten für 2022 verfügbar sind oder erhoben werden können, werden möglichst aktuelle Jahresdaten gewählt.

#### 1.4.4 Besonderheiten des Inventars der Flugzeugemissionen

Im Rahmen der Erstellung jährlicher Inventare für die Region Grand Est nimmt ATMO Grand Est eine Schätzung zu den Emissionen der Flugzeuge die alle Flughäfen und Flugplätze der Region nutzen vor. Die angewandten Methoden entsprechen dem methodischen Leitfaden für die Erstellung räumlicher Luftschadstoffemissionsinventare der französischen Koordinationsstelle für räumliche Inventare PCIT und sind vergleichbar mit der OMINEA-Methode, die von der CITEPA für die Bewertung und Berichterstattung der nationalen Emissionen in Frankreich zuhanden der einschlägigen europäischen und internationalen Institutionen verwendet wird. Diese Methoden, die auf den Empfehlungen der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) basieren, können bei Berechnung und Vollständigkeit der berücksichtigten Daten aber Unterschiede aufweisen.

Die Erfassung der Flugzeugemissionen während der LTO-Zyklen wurde im Rahmen dieser Studie verbessert, indem eine Emissionsberechnung pro Flugbewegung mit spezifischen LTO-Phasendauern pro Bewegung durchgeführt wurde.

Die Phasendauern der LTO-Zyklen für jede Flugbewegung von 2019 wurden auf der Grundlage von Radaraten ermittelt. Tatsächlich spiegeln die in den ICAO-Standards vorgeschlagenen Phasendauern nicht den Stand der LTO-Zyklen am Flughafen Basel-Mulhouse wider. Diese Daten von 2019 wurden 2022 erneut für die Schätzung der Emissionen aus dem LTO-Zyklus von Luftfahrzeugen verwendet, wobei davon ausgegangen wurde, dass die Zeiten zwischen diesen beiden Jahren ähnlich bleiben. (Schätzmethode in Anhang 2 verfügbar)

Die durchschnittlichen Phasendauern der IFR-Bewegungen<sup>3</sup> finden sich in der folgenden Tabelle. Zu Vergleichszwecken werden auch die Durchschnittswerte aus den Emissionsinventaren von 2009, 2015 und 2019 ausgewiesen:

	Anflug [s]	Rollverkehr [s]	Start [s]	Steigflug [s]
ICAO-Standards	240	1560	42	132
ASPA Inventar EAP 2009	240	861	50	180
ATMO GE Inventar EAP 2015	256	798	32	30
Durchschnitt 2019	218	847	58	48

Tabelle 3: Dauer der LTO-Phasen eines Flugzeugzyklus auf dem Flughafen Basel-Mulhouse im Jahr 2019.

#### 1.4.5 Berücksichtigte Schadstoffe

Die Auswahl der in einem Emissionsinventar zu berücksichtigenden Schadstoffe steht in direktem Zusammenhang mit den Phänomenen der Luftverschmutzung und den zu berücksichtigenden Auswirkungen (Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit, die Vegetation, photochemische Verschmutzung, Versauerung, Eutrophierung, Treibhauseffekt, Auswirkungen auf die Ozonschicht usw.). Die vollständige Liste der im CITEPA-Leitfaden berücksichtigten Stoffe ist in Abschnitt 1.2 aufgeführt.

<sup>3</sup> Die Instrumentenflugregeln (abgekürzt **IFR** – *instrument flight rules*) definieren ein [Flugregime](#), bei dem die Vermeidung von [Flugunfällen](#) auf der Grundlage der [Flugverkehrskontrolle](#) und der Einhaltung spezifischer Flugrouten beruht. Im Gegensatz hierzu stehen die [Sichtflugregeln](#) (VFR – *visual flight rules*), bei denen die Vermeidung von [Flugunfällen](#) in erster Linie auf dem Prinzip «*Sehen und Vermeiden*» beruht.

## 2 ERGEBNISSE DES INVENTARS

### 2.1 Bodenemissionen (ohne Flugzeuge)

Das vorliegende Kapitel beschreibt die Ergebnisse des Inventars zu den Bodenquellen in Anwendung des **Methodischen Leitfadens für die Bestimmung der Luftemissionen im Flughafenbereich ohne Flugzeuge** (CITEPA 2013).

**Wichtiger Hinweis:** Seit 2022 werden die auf dem Flughafengelände durchgeführten Triebwerkstests erhoben und in das Emissionsinventar aufgenommen. Dies war bei den vorherigen Inventaren nicht der Fall, in denen die Triebwerkstests nicht gezählt wurden. Die Triebwerkstests werden in die Emissionen aus Bodenquellen einbezogen, da sie hauptsächlich von der Industrie (Flugzeugwartung) durchgeführt werden und insbesondere in den CO<sub>2</sub>-Bilanzen der Flughafenplattform so erfasst werden.

#### 2.1.1 Bodenemissionen total (ohne Flugzeuge)

	Schadstoff	Emissionen Bodenquellen	Einheit
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO <sub>2</sub>	2041	kg
	NO <sub>x</sub>	54 990	kg
	NMVOG	124 115	kg
	CO	25119	kg
	NH <sub>3</sub>	57	kg
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	CH <sub>4</sub>	2097	kg
	CO <sub>2</sub>	16 800 971	kg
	N <sub>2</sub> O	813	kg
	FKW	227 820	kg CO <sub>2</sub> e
	PFC	-	kg CO <sub>2</sub> e
	SF <sub>6</sub>	-	kg CO <sub>2</sub> e
FEINSTAUB	TSP	4795	kg
	PM <sub>10</sub>	1953	kg
	PM <sub>2.5</sub>	1327	kg
	PM <sub>1</sub>	1223	kg
BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN	PCB	0	g
	HCB	0	g
	PCDDF	0	g
	BaP	27	g
	BbF	31	g
	BkF	25	g
	IndPy	25	g
PAKinsg	-	g	
BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN	As	26	g
	Cd	2	g
	Cr	777	g
	Cu	4909	g
	Hg	3	g
	Ni	27	g
	Pb	1790	g
	Se	7	g
Zn	5501	g	

Tabelle 4: Gesamtemissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafengelände 2022 (ohne Flugzeuge).

Von den Fluorverbindungen wurden im Inventar nur die FKW aus der Kälteproduktion erfasst. Auf dem Flughafengelände wird kein PFC oder SF<sub>6</sub> emittiert. Ebenso wenig wurden am Standort Emissionen von PAK (PAKinsg) verzeichnet.

Anhang 2 enthält die nach Aktivität aufgeschlüsselten Gesamtergebnisse.

## 2.1.2 Versauerung, Eutrophierung und photochemische Verschmutzung

### 2.1.2.1 SO<sub>2</sub>-Emissionen

SO<sub>2</sub> entsteht durch Oxidation des in fossilen Brennstoffen enthaltenen Schwefels und bildet einen aussagekräftigen Indikator für die industrielle Belastung in einer Agglomeration oder Region.

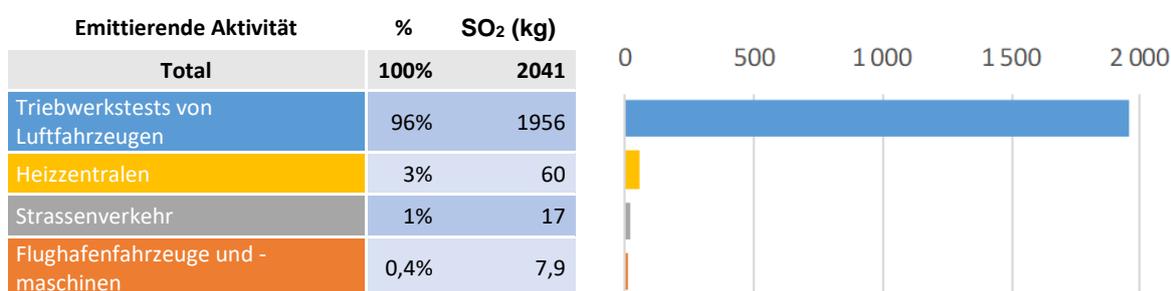


Abbildung 3: SO<sub>2</sub>-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafengelände Basel-Mulhouse 2022.

Die Einbeziehung der Emissionen aus den Triebwerkstests der Flugzeuge in das Inventar überlagert die anderen Emissionsquellen am Boden vollständig. Aufgrund des hohen Verbrauchs von Kerosin, einem Treibstoff mit Schwefelrückständen, der die 1.956 kg SO<sub>2</sub>-Emissionen erklärt, decken sie 96% der Emissionen ab.

Da die Emissionen aus den Triebwerkstests auf der Grundlage der durchschnittlichen Testdauer und der beanspruchten Triebwerksleistung geschätzt werden, ist das angezeigte Ergebnis mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet.

Darüber hinaus müssen seit Ende 2011 in Frankreich alle nicht für den Strassenverkehr bestimmten Fahrzeuge einen nicht für den Strassenverkehr bestimmten Diesel statt Heizöl verwenden. Dadurch nimmt der Emissionsfaktor für SO<sub>2</sub> um das 100-fache von 48 g/GJ auf 0,48 g/GJ ab. Nicht für den Strassenverkehr bestimmter Diesel wird in puncto Emissionsfaktor mit Diesel gleichgesetzt.

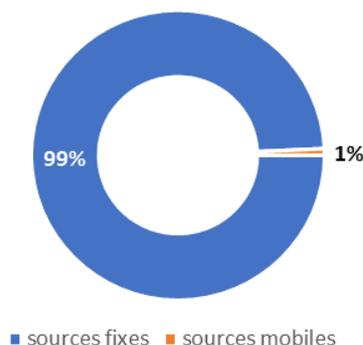


Abbildung 4: Einteilung der SO<sub>2</sub>-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

SO<sub>2</sub>-Emissionen sind fast ausschließlich auf stationäre Quellen zurückzuführen, mit den Triebwerkstestbereichen der Flugzeuge als Hauptemittenten und den Heizzentralen. Der Rest der Emissionen entfällt auf den Verkehr von Straßenfahrzeugen und Flughafenmaschinen.

### 2.1.2.2 NO<sub>x</sub>-Emissionen

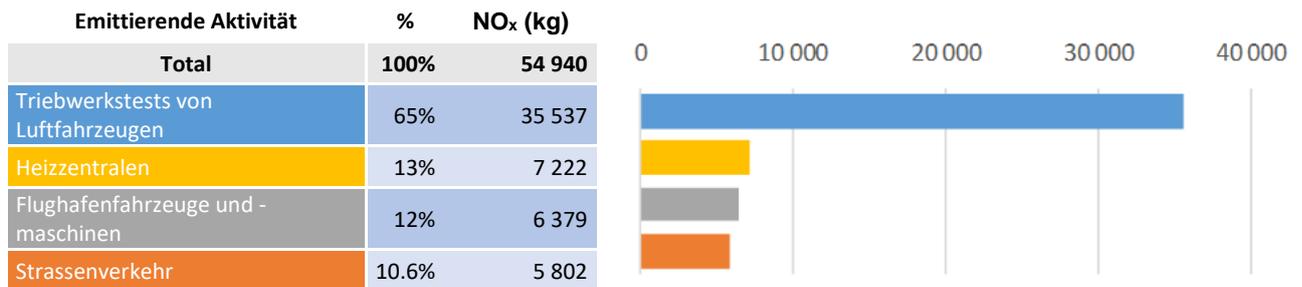


Abbildung 5: NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Bodenquellen des Flughafens Basel-Mulhouse 2022.

NO<sub>x</sub>-Emissionen werden durch Verbrennungsaktivitäten verursacht. Die Triebwerkstests der Flugzeuge sind mit 65% der insgesamt 55 Tonnen NO<sub>x</sub>-Emissionen die Hauptquelle dieser Emissionen. Es ist wichtig anzumerken, dass der hohe Kerosinverbrauch dieses Emissionspostens mit durchschnittlichen Testzeiten und unsicheren Triebwerksbetriebszuständen geschätzt wurde.

Die zweitgrößte Emissionsquelle sind Heizzentralen mit 13% der Gesamtemissionen. Die übrigen Emissionen stammen aus mobilen Quellen mit 12% für Flughafenmaschinen und 10,6% für Straßenfahrzeuge.

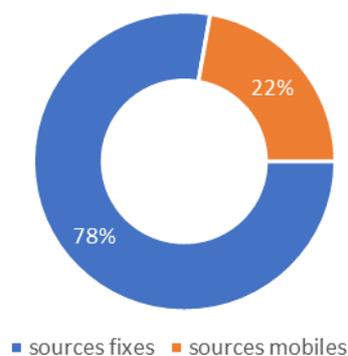


Abbildung 6: Einteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Wie in einer Agglomeration ist NO<sub>x</sub> ein Schadstoff, der hauptsächlich aus mobilen Quellen mit Verbrennungsmotoren stammt. Zwar sind der Verbrauch von Brennstoffen durch Heizzentralen und der Treibstoffverbrauch für die Triebwerkstests von Flugzeugen die zweitgrößten NO<sub>x</sub>-Emittenten (22%), doch alle anderen Aktivitäten sind mobile Quellen, die zusammen mit Flughafenmaschinen und dem Straßenverkehr 78 % der Emissionen ausmachen (Abbildung 6).

### 2.1.2.3 NMVOC-Emissionen

NMVOC werden auf verschiedenste Art ausgestossen, weshalb ihre Emissionsquellen zahlreich sind (Abbildung 7):

- Umfüllungen und Tankatmung in Bevorratungslager von Brenn- und Treibstoffen
- Verdampfung in Benzintanks der Fahrzeuge
- Verwendung von Lösemitteln (Lackfarben, Reinigungs- oder Unterhaltsprodukte usw.)
- Unvollständige Verbrennung von Brennstoffen stationärer Quellen oder von Treibstoffen im Strassenverkehr
- Renovationsarbeiten mit Asphaltmischgut.

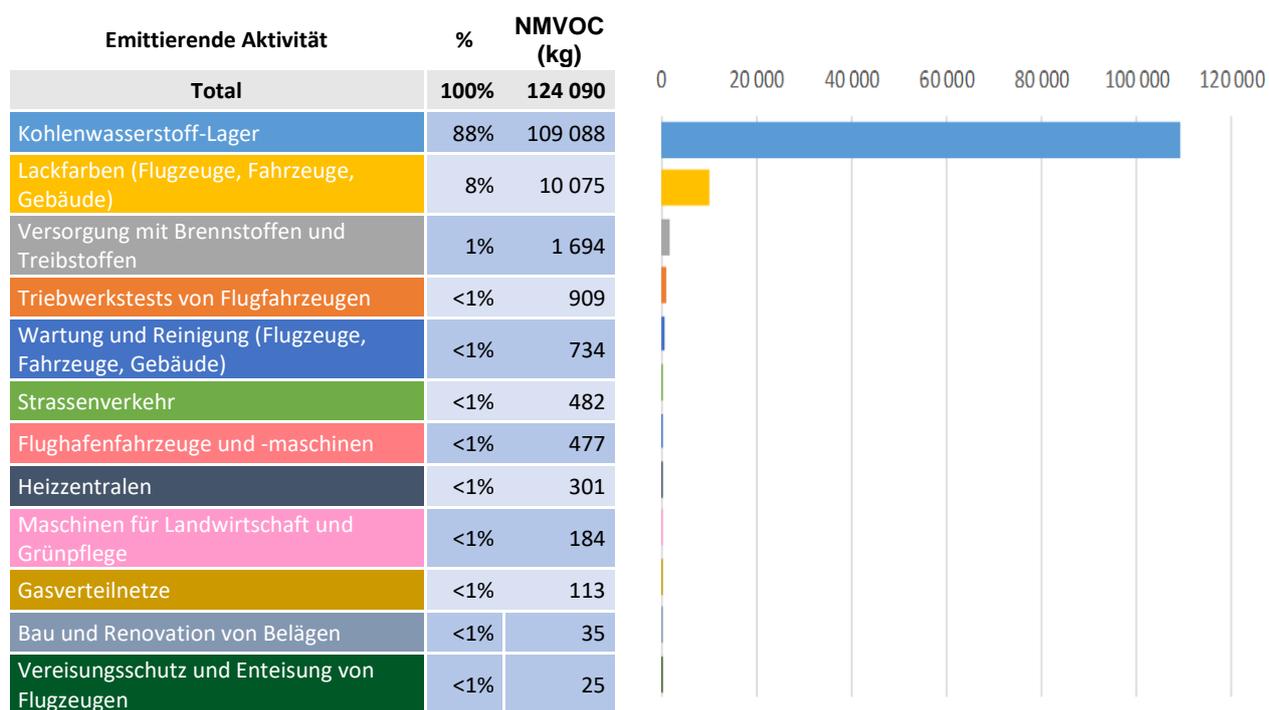


Abbildung 7: NMVOC-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Von den insgesamt 124.090 kg NMVOC, die im Jahr 2022 auf der Plattform emittiert werden, ist die Lagerung von Kohlenwasserstoffen mit 88% der größte Beitragszahler. An zweiter Stelle stehen die Lackfarben von Fahrzeugen und Gebäuden mit 8 % der Gesamtemissionen, an dritter Stelle folgt die Brennstoffverteilung mit 1 % der Emissionen. Somit stammen 97% der NMVOC-Emissionen nicht aus der Verbrennung und die restlichen 3% aus energiebedingten Emissionen.

Die Heizzentralen verzeichnen zwischen 2019 und 2022 einen erheblichen Rückgang ihrer NMVOC-Emissionen (-97%), da die Verwendung von Heizöl für die Energieerzeugung eingestellt wird.

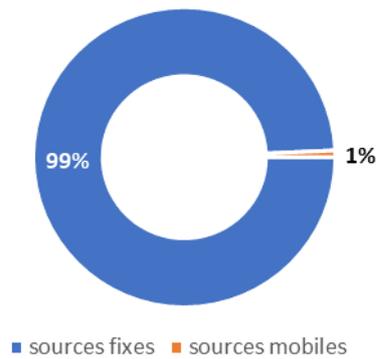


Abbildung 8: Einteilung der NMVOC-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Aktivitäten der stationären Quellen sind mit 99 Prozent bei weitem die grössten Verursacher. Das restliche Prozent stammt aus den mobilen Quellen.

### 2.1.2.4 CO-Emissionen

Kohlenmonoxid ist ein durch den Treibstoff- und den Brennstoffverbrauch verursachter Schadstoff.

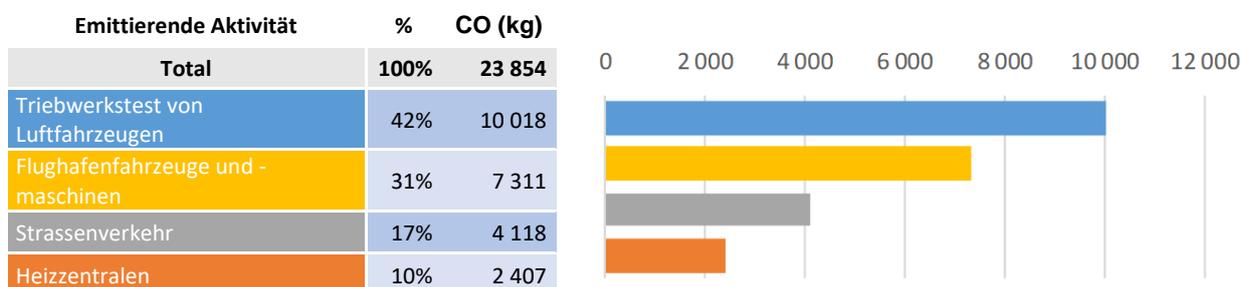


Abbildung 9: CO-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Wie bei SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> sind mobile Quellen, Heizzentralen und das Testen von Flugzeugtriebwerken die größten Emittenten dieses Schadstoffs.

Die Triebwerkstests von Flugzeugen sind der größte Emittent dieses Schadstoffs mit 42 % der 23,9 Tonnen CO, die 2022 emittiert werden. Die Flughafenfahrzeuge und -maschinen sind mit 31 % der Emissionen die zweitgrößten CO-Emittenten in dieser Bilanz. Der Straßenverkehr trägt 27% der Emissionen bei, landwirtschaftliche Maschinen 16% und Heizzentralen die restlichen 8%.

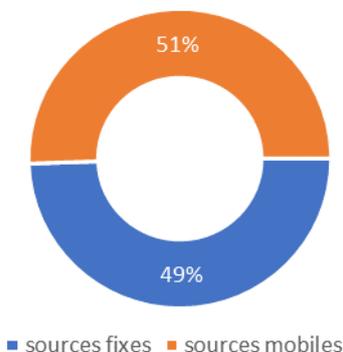


Abbildung 10: Einteilung der CO-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Mit der Einführung der Triebwerkstests von Flugzeugen als neue stationäre Quelle werden die Emissionen fast gleichmäßig zwischen stationären Quellen (Triebwerkstests und Heizzentralen) und mobilen Quellen (Flughafengeräte und Straßenverkehr) aufgeteilt.

### 2.1.2.5 NH<sub>3</sub>-Emissionen

Im Inventar wurde nur eine einzige Ammoniak-Quelle (NH<sub>3</sub>) erfasst. Dabei handelt es sich um den Strassenverkehr. In der Realität wird Ammoniak wahrscheinlich auch von anderen Quellen ausgestossen (v. a. im Zusammenhang mit der Verbrennung). Aufgrund der angewandten Methode werden die Emissionsfaktoren von anderen Quellen aber nicht erfasst. Letztere sind kaum signifikant bis vernachlässigbar.

Emittierende Aktivität	%	NH <sub>3</sub> (kg)
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>57</b>
Strassenverkehr	100%	57

Abbildung 11: NH<sub>3</sub>-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Nur eine weitere Quellenart kann signifikante Mengen an NH<sub>3</sub> freisetzen, und zwar die biotischen Quellen (landwirtschaftlicher Pflanzenanbau). Allerdings umfasst das Flughafengelände keine gedüngten Anbauflächen mehr, sondern nur noch Wiesen, die mehrmals pro Jahr gemäht werden. Hier wird also nicht regelmässig Düngemittel ausgebracht, das eine Emissionsquelle ist, weshalb im Inventar in Übereinstimmung mit dem methodischen Leitfaden keine biotischen Schadstoffe erfasst werden.

Diese Emissionen sind zwischen der Inventarversion von 2019 und der aktuellen Version von 2022 deutlich zurückgegangen. Die Änderung der Methodik zur Berechnung der Emissionen aus dem Strassenverkehr hat sich stark auf diesen Schadstoff ausgewirkt, da es sich hierbei um die einzige emittierende Aktivität der Plattform für diesen Schadstoff handelt.

## 2.1.3 Treibhausgasemissionen

### 2.1.3.1 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Dieser Abschnitt ist nur den CO<sub>2</sub>-Emissionen gewidmet. Die Gesamtheit der Treibhausgase wird in Abschnitt 2.1.3.5 GWP (THG total) beschrieben.

Sämtliche CO<sub>2</sub>-Emissionen der auf dem Flughafengelände stattfindenden Aktivitäten hängen mit dem Verbrauch von Treib- oder Brennstoffen zusammen.

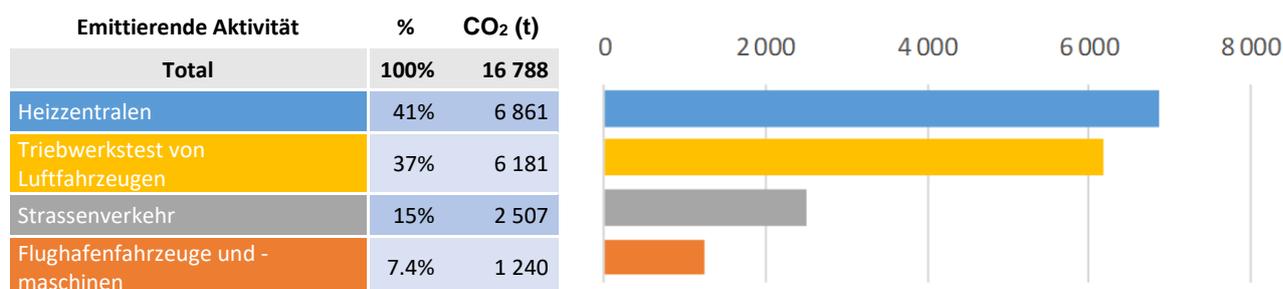


Abbildung 12: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Hauptquelle der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind die Heizzentralen und die Triebwerkstests der Flugzeuge. Aufgrund der großen Mengen an Energie, die diese Heizzentrale für den Bedarf der Plattform verbrauchen, sind sie für 41% der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. An zweiter Stelle stehen die Triebwerkstests der Flugzeuge, die in Verbindung mit den großen Mengen an Kerosin, die schätzungsweise verbraucht werden, 37% der Gesamtmenge von 6.181 Tonnen ausmachen.

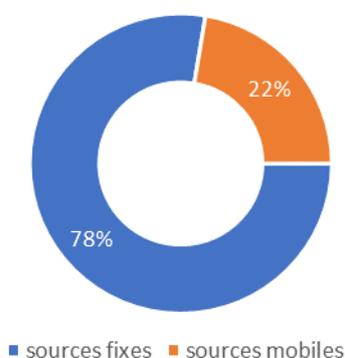


Abbildung 13: Einteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die stationären Quellen auf der Plattform sind die Hauptverursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die mobilen Quellen, die sich aus dem Straßenverkehr, Flughafenmaschinen und landwirtschaftlichen Maschinen zusammensetzen, sind zu 22% an den Emissionen beteiligt.

### 2.1.3.2 CH<sub>4</sub>-Emissionen

Auf Makroebene (Agglomeration, Departement usw.) gehen die Methanemissionen grösstenteils auf landwirtschaftliche Aktivitäten zurück (enterische Fermentation und Güllewirtschaft). Diese machten 2022 in der Region Grand Est rund 67 Prozent aus.

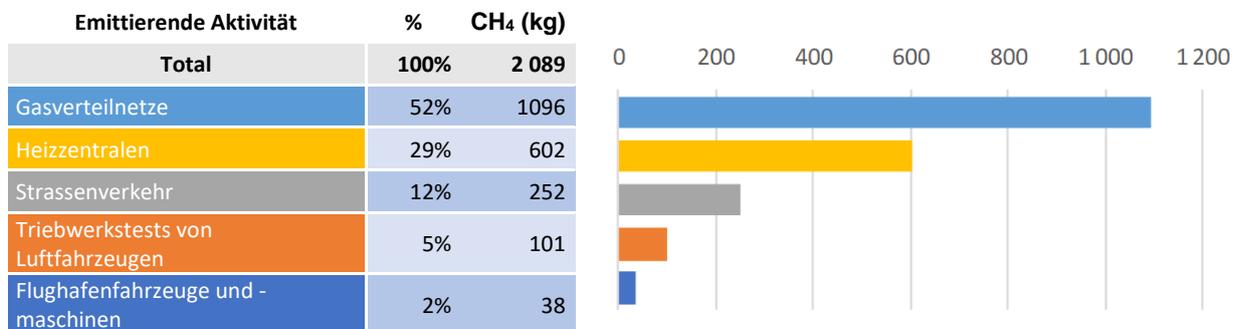


Abbildung 14: CH<sub>4</sub>-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Im Gegensatz zu CO<sub>2</sub> ist der Hauptverursacher von Methanemissionen das Erdgasverteilungsnetz. Bei fast 6 km Rohrleitungen am Standort beläuft sich die theoretische Schätzung für flüchtige Gaslecks auf 1.096 kg oder 52% der insgesamt ausgestoßenen 2.098 kg. Heizzentralen sind mit 29% an den Emissionen beteiligt.

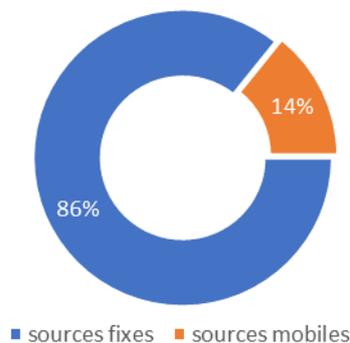


Abbildung 15: Einteilung der CH<sub>4</sub>-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Das Gasverteilungsnetz und die Heizzentralen sind die stationären Quellen für CH<sub>4</sub>-Emissionen und machen 86% der Gesamtemissionen aus. Mobile Quellen sind für 14% der Emissionen verantwortlich.

### 2.1.3.3 N<sub>2</sub>O-Emissionen

Auf Makroebene (Agglomeration, Departement usw.) gehen die Distickstoffmonoxid- (Lachgas-) Emissionen grösstenteils auf lokale landwirtschaftliche Aktivitäten zurück (Güllewirtschaft, Ausbringen von Düngemitteln, Abbau von Pflanzenrückständen). In der Region Grand Est machten sie 2022 rund 89 Prozent der Distickstoffmonoxid-Emissionen aus.

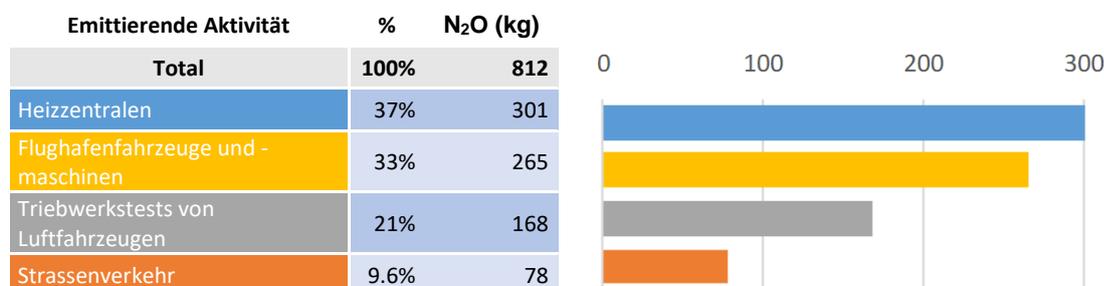


Abbildung 16: N<sub>2</sub>O-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Auf der Ebene der Plattform sind die Heizzentralen und die Flughafenmaschinen mit 37 bzw. 33 % der insgesamt 664 kg emittierten N<sub>2</sub>O die grössten Emittenten. Die Emissionen der Triebwerkstests sind mit 21% der Gesamtemissionen die zweitgrössten Emittenten der Plattform, gefolgt vom Strassenverkehr an vierter Stelle mit 9,6% der Gesamtemissionen.

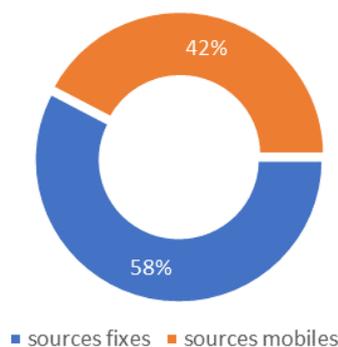


Abbildung 17: Einteilung der N<sub>2</sub>O-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die mobilen Quellen (Flughafenfahrzeuge und -maschinen, Strassenverkehr und Landwirtschaftsfahrzeuge) steuern 58 Prozent der N<sub>2</sub>O-Emissionen bei. Die restlichen 42 Prozent stammen aus den Heizzentralen.

### 2.1.3.4 Emissionen von Fluorverbindungen

Bei den Fluorverbindungen handelt es sich um anthropogene Gase. Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind Kälteproduktionsanlagen (Klimaanlagen, Kühlräume usw.), Feuerlöcher und Trennmittel in elektrischen Transformatoren. Generell werden nur geringe Mengen dieses Treibhausgases emittiert. Es besitzt jedoch ein äusserst hohes Treibhauspotenzial (GWP) von 1000 bis 23 000 kg CO<sub>2</sub>e pro Kilogramm Fluorverbindung. Daher tragen Fluorverbindungen signifikant zum Treibhauseffekt bei.

Auf der Plattform wurden nur die in den Kälteproduktionsanlagen verwendeten FKW erfasst. Diese Emissionen werden anhand eines Monitorings der Kühlmittelauffüllungen bei Wartungsarbeiten verbucht (äquivalent zur realen Emission von flüssigem FKW, das sich aus der Anlage verflüchtigt). Diese Auffüllungen finden sporadisch statt, weshalb die Mengen von Jahr zu Jahr stark variieren können.

Die elektrischen Schaltanlagen und Feuerlöschposten sind entweder hermetisch abgedichtet oder kommen ohne Fluorverbindungen aus.

Da die FKW eine Stoffgruppe mit unterschiedlichem GWP bilden, wird das Gesamtergebnis der Emissionen auf der Plattform in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ausgewiesen.

Emittierende Aktivität	%	FKW (t CO <sub>2</sub> e)
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>228</b>
Klima- und Kühltechnik	100%	228

Abbildung 18: FKW-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Im Jahr 2022 belaufen sich die flüchtigen HFC-Emissionen auf 228 tCO<sub>2</sub>e. Die Verzehnfachung zwischen dem Inventar von 2019 und diesem erklärt sich durch vollständigere Berichte einiger Berichterstatter in diesem Jahr. Tatsächlich basierten die geschätzten Leckagen im Jahr 2019 auf einer einzigen Nachfüllung von 14 kg Fluid, während die Emissionen im Jahr 2022 auf den theoretischen Leckagen mehrerer Geräte mit einer Gesamtkapazität von 910 kg Fluid basieren. Bei einer durchschnittlichen jährlichen Leckrate bedeutet es 93 kg HFKW (oder 228 tCO<sub>2</sub>e).

### 2.1.3.5 GWP (THG total)

Um den relativen Beitrag der einzelnen Treibhausgase (THG) zum Klimawandel zu ermitteln, wurde als Indikator das Treibhauspotenzial (*global warming potential*, GWP) über 100 Jahre definiert. Der Indikator wird ausgehend vom GWP der einzelnen Stoffe über 100 Jahre berechnet und als CO<sub>2</sub>-Äquivalent (CO<sub>2</sub>e) ausgedrückt. Die Berechnung des GWP stützt sich auf die Koeffizienten des IPCC von 2007 (4. Bericht) und umfasst die folgenden THG bzw. THG-Gruppen: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) und Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>). Üblicherweise wird CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung von Biomasse nicht in die Berechnung des GWP einbezogen.

Methan, Distickstoffmonoxid und FKW weisen zwar ein hohes GWP auf, doch die entsprechenden Emissionen in CO<sub>2</sub>e fallen für das Inventar der Plattform relativ gering aus. CO<sub>2</sub> ist für 97 Prozent der THG-Emissionen verantwortlich.

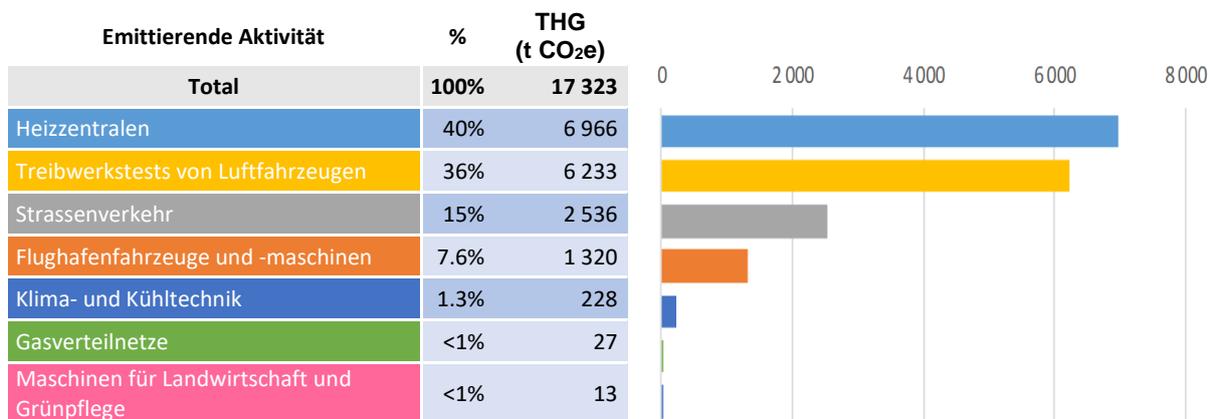


Abbildung 19: THG-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Treibhausgasemissionen des Inventars werden nach Aktivitäten aufgeschlüsselt größtenteils durch zwei Hauptposten verursacht: Heizzentralen mit 40% und die Triebwerkstests der Flugzeuge mit 36% der insgesamt 17 kt CO<sub>2</sub>e. Der Straßenverkehr, der an dritter Stelle steht, ist für 15% der Gesamtemissionen verantwortlich, gefolgt von Flughafenmaschinen mit 7,6%. Klimaanlage, landwirtschaftliche Maschinen, das Gasverteilungsnetz und Klima- und Kühlanlagen teilen sich die restlichen 1,3%.

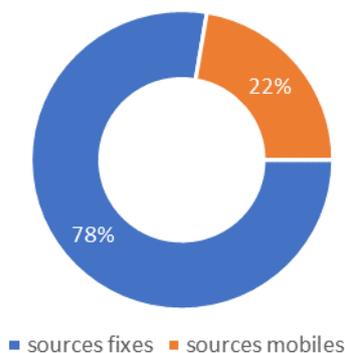


Abbildung 20: Einteilung der THG-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Stationäre Quellen (hauptsächlich Heizzentralen) verursachen mit 78 Prozent etwas über die Hälfte der THG-Emissionen des Flughafens, gegenüber 22 Prozent für mobile Quellen.

## 2.1.4 Feinstaubemissionen (TSP, PM10, PM2.5, PM1)

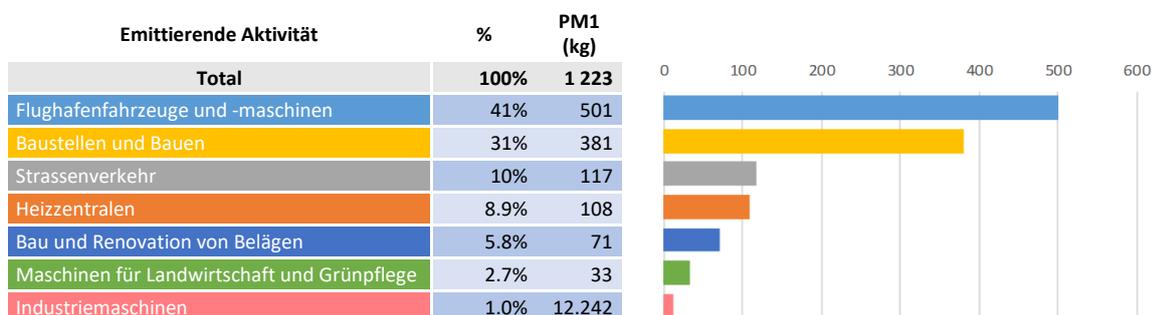
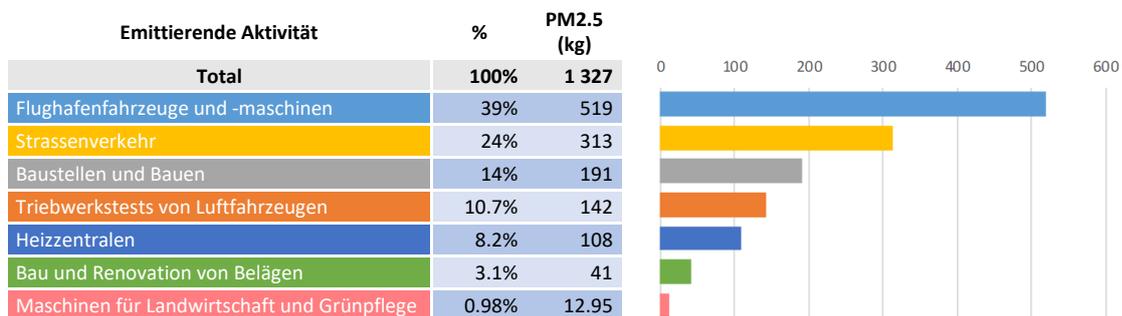
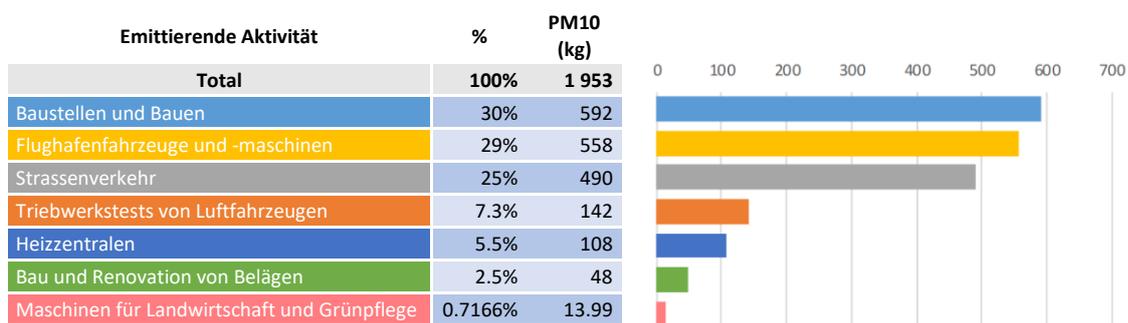
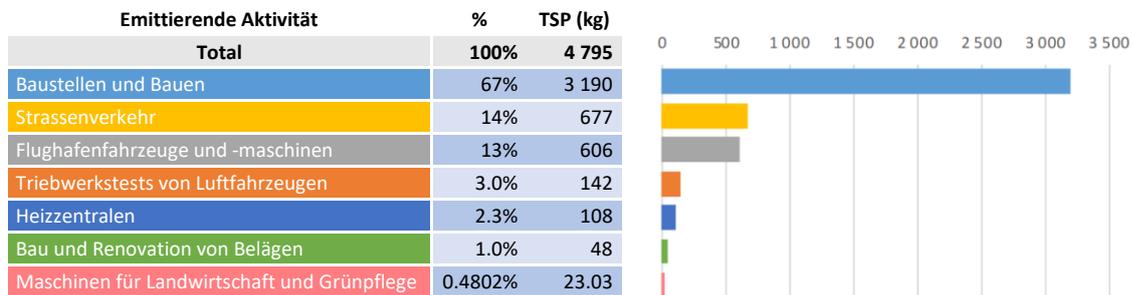


Abbildung 21: Feinstaubemissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Wegen der Einteilung der Feinstaubemissionen nach Grössenklassen lohnt sich eine parallele Betrachtung der Ergebnisse.

Die Anteile der einzelnen Partikelklassen variieren mit der Art der emittierenden Quellen. So gibt es Quellen, die hauptsächlich grobe und mittelgroße Partikel emittieren (enthalten in den Klassen TSP: Total Particulate Particles und PM10), während andere Quellen hauptsächlich feinere Partikel (PM2.5 und PM1) emittieren.

Ein Blick auf die vorherige Abbildung zeigt, dass Baustellen und Bauarbeiten die Hauptquelle für TSP- und PM10-Emissionen sind: 67% bzw. 30% der Emissionen. Diese Aktivität führt zu einer erheblichen Staubproduktion beim Umgang mit Bauschutt und Baumaterialien. Die Beteiligung dieser Quelle nimmt mit zunehmender Feinheit der Partikel ab.

Umgekehrt neigen Aktivitäten, bei denen Kraft- und Brennstoffe verbrannt werden, zu feineren Partikelemissionen. Aus diesem Grund tragen der Straßenverkehr, Flughafenmaschinen und der Triebwerkstest von Flugzeugen mit zunehmender Korngröße der emittierten Partikel immer mehr zum Schadstoffausstoß bei. So beträgt der Beitrag von Flughafenmaschinen zu TSP 13%, während er bei PM1 45% beträgt.

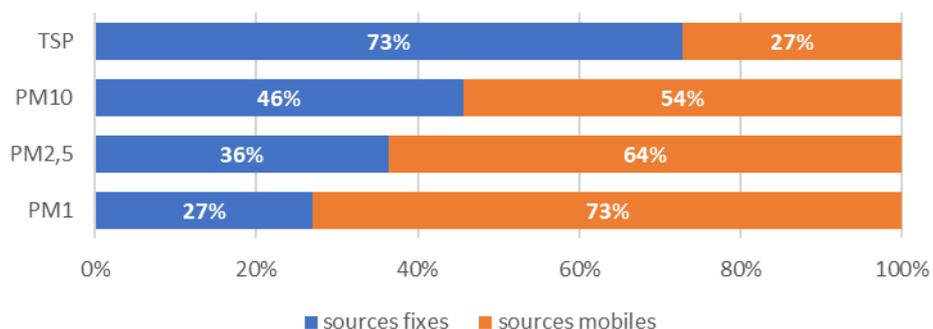


Abbildung 22: Einteilung der Feinstaubemissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Feinstaubemissionen werden wie oben nach Quellenart (stationär und mobil) gruppiert und betrachtet. Feste Partikelquellen, die durch "Baustellen und Bauarbeiten" sowie "Heizzentralen" repräsentiert werden, sind für 73% der gesamten Partikelemissionen verantwortlich. Ihr Beitrag sinkt mit zunehmender Partikelgröße bis auf 27% für PM1. Im Gegensatz dazu sind Emissionen aus mobilen Quellen, die hauptsächlich durch Flughafenmaschinen und den Straßenverkehr repräsentiert werden, für 27% der TSP und 73% der PM1 verantwortlich.

Hinweis: Anders als die Verbrennungsaktivitäten bilden Baustellen und Bauen keine regelmässigen Feinstaub-Emissionsquellen dar, sondern hängen von den (Aus-) Bauprojekten auf dem Flughafengelände ab.

## 2.1.5 Persistente organische Schadstoffe

Bei den persistenten organischen Schadstoffen (POP) handelt es sich um eine Gruppe organischer Stoffe, die generell in allen Umweltbereichen durch menschliche Aktivitäten emittiert werden und sich insbesondere wegen ihrer Langlebigkeit schädlich auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit auswirken.

### 2.1.5.1 PAK 4-Emissionen

Eine Unterklasse der POP wird als polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) bezeichnet. Diese organischen Verbindungen mit ähnlichem chemischem Aufbau werden generell zu einer Gruppe zusammengefasst.

Das Inventar des Flughafens weist die Ergebnisse für eine gewisse Anzahl freigesetzter POP aus. Um die Darstellung der Emissionsergebnisse zu erleichtern, werden vier PAK zusammengefasst. Die Verbindungen Benzo(a)pyren (BaP), Benzo(b)fluoranthen (BbF), Benzo(k)fluoranthen (BkF) und Indeno(1,2,3)pyren (IndPy) werden unter der Bezeichnung «PAK 4» zusammengefasst.

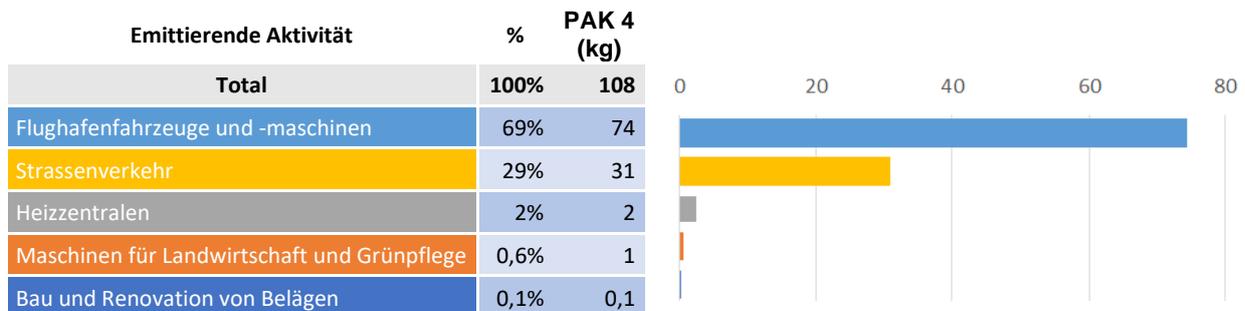


Abbildung 23: PAK 4-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Insgesamt 108g PAK 4 werden von der Plattform im Jahr 2022 emittiert. Die Flughafenmaschinen sind die größten PAK-Emittenten und tragen 69% zu den Emissionen des Schadstoffs bei. Der Straßenverkehr ist mit 29% der Emissionen der zweitgrößte Verursacher. Die restlichen 2,7 % der Emissionen entfallen auf Heizzentralen, landwirtschaftliche Maschinen und den Bau und die Renovierung von Straßen (Asphaltierung). Der letztgenannte Minderheitsemitter ist der einzige PAK-Emittent, der nicht mit einem direkten Energieverbrauch in Verbindung steht. Der Energieverbrauch für die Asphaltherstellung liegt außerhalb des Standorts und damit außerhalb des Inventarumfangs.

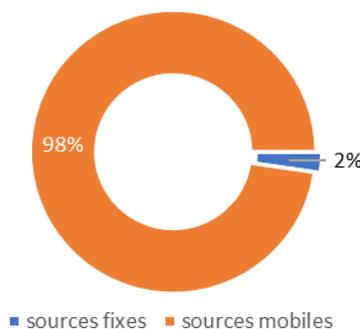


Abbildung 24: Einteilung der PAK 4-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Insgesamt verursachen die mobilen Quellen 98 Prozent der PAK-Emissionen, vor allem wegen des Energieverbrauchs der entsprechenden Aktivitäten. Die Heizzentralen sowie die Aktivitäten für Bau und Renovation von Belägen verursachen als einzige stationäre Quellen von PAK-Emissionen auf der Plattform die restlichen 2 Prozent.

### 2.1.5.2 PCB-Emissionen

Emittierende Aktivität	%	PCB (mg)
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>0,031</b>
Strassenverkehr	100,0%	0,031

Abbildung 25: PCB-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Emissionen von polychlorierten Biphenylen (PCB) im Jahr 2022 auf der Plattform betragen 0,031 mg. Vollständig mit dem Fahrzeugverkehr im Jahr 2022 verbunden. Zuvor waren diese Emissionen fast vollständig mit dem Verbrauch von Heizöl in den Energieanlagen verbunden und brachen mit der Einstellung der Verwendung von Heizöl ein.

### 2.1.5.3 HCB-Emissionen

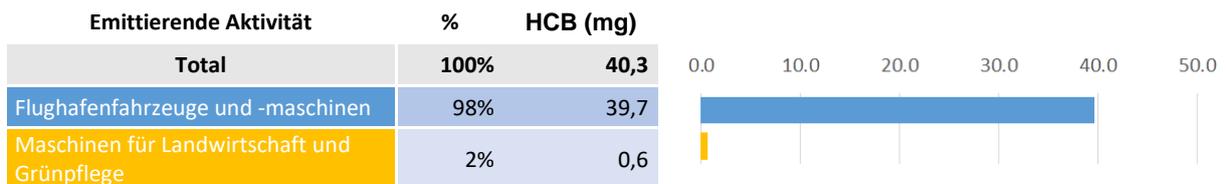


Abbildung 26: HCB-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Flughafen- und Landwirtschaftsfahrzeuge sind die beiden Emissionsquellen von Hexachlorbenzol (HCB) auf dem Flughafen. 98 Prozent der 40,3 mg HCB-Emissionen entfallen auf die Flughafenfahrzeuge und -maschinen.

### 2.1.5.4 PCDD-F-Emissionen

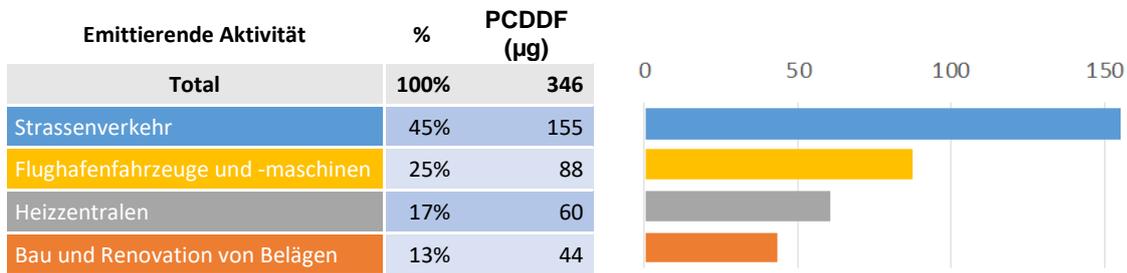


Abbildung 27: PCDD-F-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Polychlorierte Dibenzo(p)dioxine und Dibenzofurane (PCDD-F) werden im Jahr 2022 in Höhe von 346 µg auf der Plattform emittiert. Der Straßenfahrzeugverkehr ist mit 45% der Emissionen bzw. 155 µg der Hauptverursacher, an zweiter Stelle stehen die Flughafenmaschinen mit 25% der Emissionen bzw. 88 µg. Der Bau und die Renovierung von Straßen (Asphaltierung) und Heizzentralen stehen mit 17 bzw. 13 % an dritter und vierter Stelle der Emittenten.

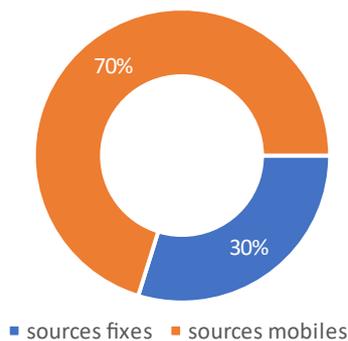


Abbildung 28: Einteilung der PCDD-F-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Mobile Emissionsquellen sind für 70% der PCDD-F-Gesamtemissionen verantwortlich, während die Emissionen aus stationären Quellen nur 30% ausmachen. Wie bei den PAK sind auch hier Bau- und Renovierungsarbeiten (Asphalteinbau) die einzige Quelle für Emissionen, die nicht mit dem Energieverbrauch zusammenhängen.

## 2.1.6 Schwermetalle

Gemäss der angewandten Methode werden bei den Schwermetallquellen auf dem Flughafen nur mobile, treibstoffbetriebene Quellen erfasst. Dabei handelt es sich hauptsächlich um den Strassenverkehr und in geringerem Ausmass um Flughafen- und um Landwirtschaftsfahrzeuge. Dies bedeutet nicht, dass die übrigen Verbrennungsquellen keine Schwermetalle ausstossen; nach der geltenden Methode wird der Ausstoss der übrigen Quellen nicht berechnet.

Emittierende Aktivität	Strassenverkehr	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen	Total	Einheit
As	26 245	-	-	-	26 245	mg
Cd	2 153	0,1	11	-	2 164	mg
Cr	25 217	1	61	751 577	776 856	mg
Cu	4 907 090	23	2148	-	4 909 261	mg
Hg	2 994	-	-	-	2 994	mg
Ni	26 701	1	89	-	26 791	mg
Pb	1 713 249	-	-	76 270	1 789 518	mg
Se	7 459	0,1	11	-	7 471	mg
Zn	5 499 226	14	1 263	-	5 500 503	mg

*Tabelle 5: Schwermetallemissionen nach Aktivitätsquelle auf der Flughafenplattform 2022.*

Die Schwermetalle werden also zum überwiegenden Teil vom Strassenverkehr emittiert: je nach Metall zwischen 96,2 und 100%. Bei Chrom (Cr) sind es jedoch die Triebwerkstests von Flugzeugen, die 97% ausmachen, während die restlichen 3% auf den Strassenverkehr zurückzuführen sind. Auch bei den Blei emissionen ist die Beteiligung von Triebwerkstests mit 4% der Gesamtemissionen bemerkenswert, was mit den Tests von Kolbenflugzeugen, die AVAGAS verbrauchen, in Verbindung gebracht werden kann.

Die beiden anderen Quellen (Flughafen- und Landwirtschaftsmaschinen) sind mit Anteilen zwischen 0 und 3,7 % an den Emissionen beteiligt.

## 2.2 Anteil der Flugzeugemissionen an den Gesamtemissionen des Flughafens

### a- Vergleich der Emissionen des Flugverkehrs mit Quellen am Boden

Dieser Teil beschreibt die Emissionen der Transit-Flugzeuge, um einen Gesamtüberblick über die Emissionen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse zu erlangen. Der Studienbereich wird anhand der LTO-Zyklen definiert. Anders als in den früheren Studien (für welche die Flugzeugemissionen den jährlichen Inventaren von ATMO Grand Est entnommen wurden) stammen die Ergebnisse aus einem eigens für die Studie erstellten Emissionsinventar, in dem die Berechnungen pro Flug anhand von spezifischen Dauern für die einzelnen Phasen erstellt wurden.

	Schadstoff	Emissionen Bodenquellen	Emissionen Flugzeuge	Total	Einheit
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	2 041	17 884	19 925	kg
	NO <sub>x</sub>	54 990	217 233	272 223	kg
	NMVOG	124 115	13 531	137 646	kg
	CO	25 119	210 821	235 939	kg
	NH <sub>3</sub>	57	-	57	kg
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	CH <sub>4</sub>	2 097	1 503	3 600	kg
	CO <sub>2</sub>	16 800 971	56 511 076	73 312 046	kg
	N <sub>2</sub> O	813	1 538	2 351	kg
	FKW	227 820	-	227 820	kg CO <sub>2</sub> e
	PFC	-	-	-	kg CO <sub>2</sub> e
	SF <sub>6</sub>	-	-	-	kg CO <sub>2</sub> e
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	4 795	15 234	20 029	kg
	PM <sub>10</sub>	1 953	8 299	10 252	kg
	PM <sub>2.5</sub>	1 327	5 402	6 729	kg
	PM <sub>1</sub>	1 223	1 122	2 345	kg
<b>BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN</b>	PCB	0,000	-	0,00	g
	HCB	0,04	-	0,04	g
	PCDDF	0,0003	-	0,0003	g
	BaP	27	-	27	g
	BbF	31	-	31	g
	BkF	25	-	25	g
	IndPy	25	-	25	g
	PAKinsg	-	-	-	g
<b>BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN</b>	As	26	-	26	g
	Cd	2	-	2	g
	Cr	777	7 233	8 010	g
	Cu	4 909	-	4 909	g
	Hg	3	-	3	g
	Ni	27	-	27	g
	Pb	1 790	20 366	22 155	g
	Se	7	-	7	g
	Zn	5 501	-	5 501	g

Tabelle 6: Gesamtemissionen (Bodenquellen + Flugzeuge) auf dem Flughafengelände 2022.

Im Inventar der Flugzeugemissionen werden keine POP und nur zwei Schwermetalle erfasst. Aus Gründen der Konsistenz wird der Vergleich des jeweiligen Beitrags aus Bodenquellen und von Flugzeugen daher nur für die folgenden Schadstoffklassen dargestellt:

- Versauerung, Eutrophierung und photochemische Verschmutzung
- Beitrag zum Treibhauseffekt
- Feinstaub

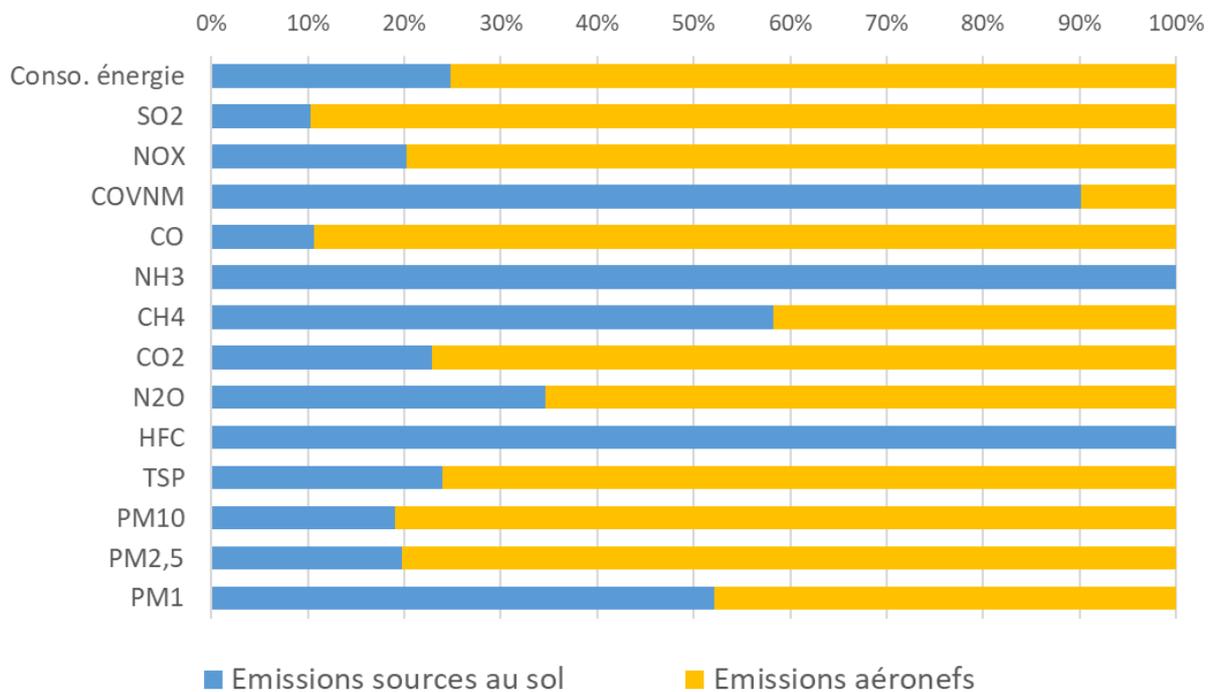


Abbildung 29: Einteilung der wichtigsten Schadstoffemissionen nach Bodenquellen und Flugzeugen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Emissionen mehrheitlich von Flugzeugen:

Ohne Bodenquellen, die schwefelhaltige Brennstoffe wie Schweröl oder Kohle verbrauchen, sind die Flugzeuge die Hauptquelle der SO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf dem Flughafen mithin relativ gering sind.

Mit ihrem hohen Energieverbrauch verursachen die Flugzeuge von allen Quellen auf dem Flughafengelände den grössten Teil der verbrennungsbedingten Emissionen wie SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und CO sowie Feinstaub (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub>).

Partikel unter 10 µm (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub>) werden überwiegend von Flugzeugen verursacht. Auch hier ist der hohe Treibstoffverbrauch die Hauptursache.

Allerdings sind die Schätzungen der Partikelemissionen, die ausschließlich auf die Verbrennung zurückzuführen sind, seit dem letzten Emissionsinventar der Plattform aufgrund einer Aktualisierung der OMINEA-Emissionsfaktoren des CITEPA gesunken (vor allem bei PM<sub>1</sub> sichtbar).

Emissionen mehrheitlich aus Bodenquellen:

Die meisten NMVOC-Emissionen stammen von Bodenquellen im Zusammenhang mit den grossen Kohlenwasserstoff-Lagern für den Flughafenbetrieb.

Die Emissionen der drei wichtigsten Treibhausgase (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und N<sub>2</sub>O) werden grösstenteils durch die Flugzeuge verursacht. Bei Methan ist jedoch das Erdgasverteilnetz als Bodenquelle Hauptverursacher. An den N<sub>2</sub>O- und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Bodenquellen sind vor allem die Flughafenfahrzeuge und -maschinen, die Heizzentralen und der Strassenverkehr beteiligt.

Die NH<sub>3</sub>- und die FKW-Emissionen stammen ausschliesslich aus Bodenquellen.

Die TSP-Emissionen entfallen zu gleichen Teilen (je rund 50%) auf Bodenquellen und auf die Flugzeuge. Bei den Bodenquellen beteiligt sind vor allem Bauarbeiten und Baustellen.

b- Flugzeugemissionen im Detail:

Im Inventar der Flugzeugemissionen wird ein Teil der Emissionen von den Flugzeugen selbst während des LTO-Zyklus verursacht. Andere Emissionen stammen aus den APUs (Auxiliary Power Unit) zur Stromversorgung bestimmter Flugzeugteile am Boden.

Schadstoff	Anflug	Boden	Start	Steigflug	APUs	Flugzeuge total	Einh.
SO <sub>2</sub>	4 (22%)	5,2 (29%)	3,8 (21%)	2,5 (14%)	2,3 (13%)	<b>17,9</b> <b>(100%)</b>	t
NO <sub>x</sub>	36,4 (17%)	22,9 (11%)	<b>92,8</b> <b>(43%)</b>	44,7 (21%)	20,5 (9%)	<b>217,2</b> <b>(100%)</b>	t
NMVOG	0,7 (5%)	<b>11,5</b> <b>(85%)</b>	0,3 (2%)	0,3 (2%)	0,7 (5%)	<b>13,5</b> <b>(100%)</b>	t
CO	17,6 (8%)	<b>155,2</b> <b>(74%)</b>	20,8 (10%)	5,3 (3%)	11,9 (6%)	<b>210,8</b> <b>(100%)</b>	t
NH <sub>3</sub>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>0</b> <b>(0%)</b>	t
CH <sub>4</sub>	0,1 (5%)	<b>1,3</b> <b>(85%)</b>	0 (2%)	0 (2%)	0,1 (5%)	<b>1,5</b> <b>(100%)</b>	t
CO <sub>2</sub>	12,6 (22%)	<b>16,5</b> <b>(29%)</b>	12,1 (21%)	8 (14%)	7,3 (13%)	<b>56,5</b> <b>(100%)</b>	kt
N <sub>2</sub> O	0,3 (22%)	<b>0,4</b> <b>(29%)</b>	0,3 (21%)	0,2 (14%)	0,2 (13%)	<b>1,5</b> <b>(100%)</b>	t
FKW	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>0</b> <b>(0%)</b>	t
PFC	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>0</b> <b>(0%)</b>	t
SF <sub>6</sub>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>0</b> <b>(0%)</b>	t
TSP	0,3 (4%)	<b>14,3</b> <b>(94%)</b>	0,3 (2%)	0,2 (1%)	0,2 (1%)	<b>15,2</b> <b>(100%)</b>	t
PM <sub>10</sub>	0,3 (4%)	<b>7,3</b> <b>(88%)</b>	0,3 (4%)	0,2 (2%)	0,2 (2%)	<b>8,3</b> <b>(100%)</b>	t
PM <sub>2.5</sub>	0,3 (6%)	<b>4,4</b> <b>(82%)</b>	0,3 (5%)	0,2 (4%)	0,2 (3%)	<b>5,4</b> <b>(100%)</b>	t
PM <sub>1</sub>	0,3 (22%)	<b>0,3</b> <b>(29%)</b>	0,2 (21%)	0,2 (14%)	0,1 (13%)	<b>1,1</b> <b>(100%)</b>	t
Cr	1,6 (22%)	<b>2,1</b> <b>(29%)</b>	1,5 (21%)	1 (14%)	0,9 (13%)	<b>7,2</b> <b>(100%)</b>	kg
Pb	3,4 (17%)	1,5 (8%)	<b>12,3</b> <b>(61%)</b>	3,1 (15%)	0 (0%)	<b>20,4</b> <b>(100%)</b>	kg

Tabelle 7: Unterscheidung der Flugzeugemissionen nach LTO-Phase und APU auf dem Flughafen 2022.

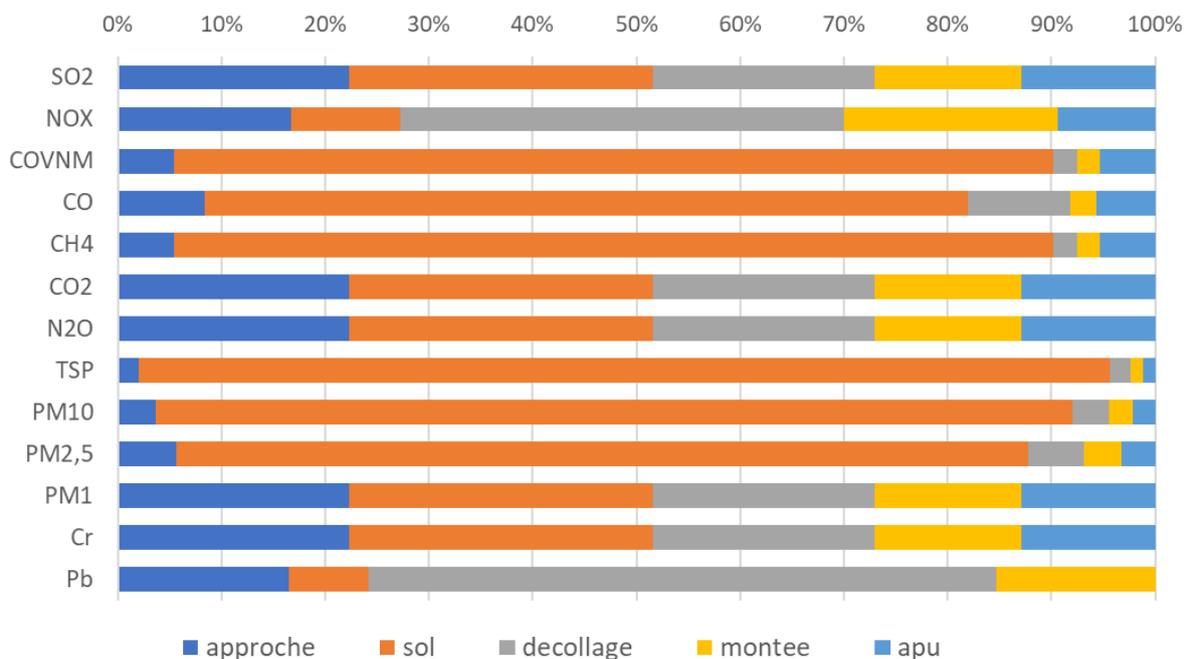


Abbildung 30: Beitrag der einzelnen Phasen des LTO-Zyklus und der APUs von Flugzeugen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022.

Die Rollphase (am Boden) erzeugt für mehrere berücksichtigte Schadstoffe von allen Flugphasen die grössten Emissionen. Dafür gibt es mehrere Erklärungen. Die Rollphase (Rollen bei Start und Landung) ist mit durchschnittlich 847 Sekunden (IFR-Flüge) die längste der vier LTO-Phasen (ohne APUs). In der Rollphase ist der Treibstoffverbrauch zwar am geringsten, doch erreicht der zugehörige Energieverbrauch Höchstwerte. Die niedrigere Motorendrehzahl geht mit einer ineffizienteren Verbrennung und damit für bestimmte Schadstoffe mit höheren Emissionswerten einher. Dies gilt besonders für die NMVOC und für CO. Beim Feinstaub gesellen sich andere Emissionsquellen zum Motorenbetrieb hinzu, nämlich die Abnutzung der Reifen, der Bremscheiben und der Bremsbeläge der Fahrwerke. Sie entstehen durch den Verschleiß von Reifen, Scheiben und Belägen des Fahrwerks.

		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NMVOC	CO	TSP	PM10	PM2.5	PM1
IFR	<b>Total IFR</b>	779 553	17 717	216 159	11 005	179 952	13 905	7 628	5 006
	Anflug	174 129	3 957	36 174	419	13 569	302	302	302
	APUs	101 409	2 305	20 441	722	11 859	176	176	176
	Start	166 582	3 786	92 345	137	1 981	289	289	289
	Steigflug	108 877	2 474	44 401	77	1 460	189	189	189
	Boden	228 557	5 194	22 798	9 649	151 083	12 949	6 673	4 050
VFR	<b>Total VFR</b>	7 222	164	1 060	2 495	30 545	1 329	671	396
	Anflug	1 627	37	191	312	3 995	3	3	2.8
	APUs	113	3	15	1	25	0	0	0.2
	Start	1 759	40	434	174	18 808	3	3	3.0
	Steigflug	2 132	48	338	216	3 634	4	4	3.7
	Boden	1 592	36	81	1 791	4 083	1 320	661	386
<b>Gesamttotal</b>		<b>786 776</b>	<b>17 881</b>	<b>217 219</b>	<b>13 499</b>	<b>210 497</b>	<b>15 234</b>	<b>8 299</b>	<b>5 402</b>

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	Pb	Cr
IFR	<b>Total IFR</b>	1 223	55 985 997	1 524	1	7
	Anflug	47	12 505 586	340	1	2
	APUs	80	7 282 994	198		1
	Start	15	11 963 580	326	0	2
	Steigflug	9	7 819 299	213	0	1
	Boden	1 072	16 414 539	447	0	2
VFR	<b>Total VFR</b>	277	517 234	14	19	0,07
	Anflug	34,7	116 618,8	0,2	2,8	0,015
	APU	0,2	8 117,1	0,2		0,0010
	Start	19,3	125 387,9	3,5	12,1	0,02
	Steigflug	24,0	152 889,0	4,2	2,6	0,02
	Boden	199	114 222	3,1	1,2	0,015
<b>Gesamttotal</b>		<b>1 500</b>	<b>56 503 232</b>	<b>1 538</b>	<b>20</b>	<b>7</b>

Tabelle 8: Unterscheidung der Flugzeugemissionen in Kilogramm nach LTO-Phase und Flugtyp (IFR bzw. VFR) auf dem Flughafen 2022.

## 2.3 Vergleich der Ergebnisse mit der Umgebungszone

Neben der Inventarisierung auf dem Flughafen wurden mehrere Messkampagnen der Luftschadstoffkonzentration auf und neben dem Flughafen durchgeführt. Das Studiengebiet der Umgebung umfasst acht Gemeinden: Bartenheim, Blotzheim, Hégenheim, Hésingue, Huningue, Rosenau, Saint-Louis, Village-Neuf. Dieselbe Umgebungszone wurde auch für den Vergleich der Emissionen auf dem Flughafen mit denjenigen der Umgebungsaktivitäten (laut Inventar Grand Est) herangezogen.

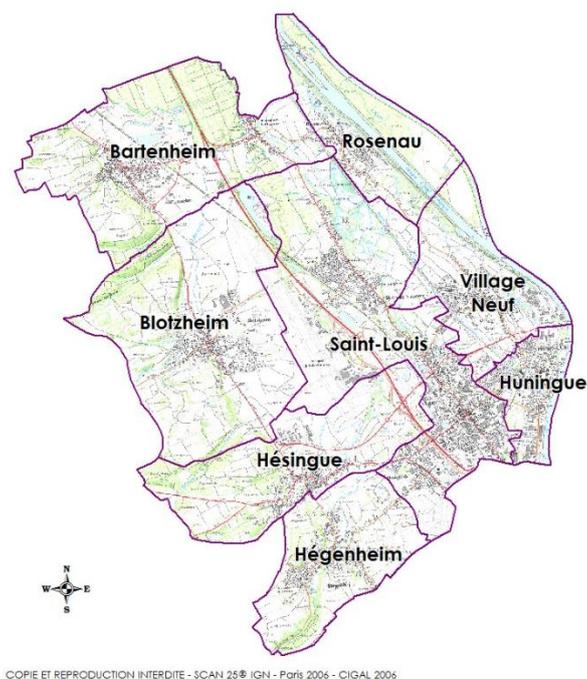


Abbildung 31: Karte der Umgebungszone des Flughafens Basel-Mulhouse.

Der Vergleich der Schadstoffemissionen in den Umgebungsgemeinden mit den Emissionen des Flughafens und der Flugzeuge ermöglicht die Hierarchisierung der Emissionsquellen und bietet einen Überblick über den Beitrag der Flughafenaktivitäten gegenüber den anderen Quellen der Zone. Sämtliche Ergebnisse zur Umgebungszone stammen aus dem von ATMO Grand Est erstellten Inventar Grand Est V. 2021. Der Vergleich ermöglicht ungefähre Grössenordnungen und Entsprechungen zur Information. Eine angemessene Interpretation ist jedoch nur begrenzt möglich.

Für bestimmte (insb. Verbrennungs-) Aktivitäten werden unterschiedliche Methoden zur Berechnung, namentlich zur Verteilung der Emissionen angewandt. Auf dem Flughafen erfolgt die Inventur räumlich feinaufgelöst, während die Emissionen in der Umgebungszone dagegen aufgrund der kalkulierten Emissionsverteilung oft nur gröber abgeschätzt werden.

Die Berechnung der Emissionen gemäss dem methodischen Leitfaden zeigt (neben den Flugzeugaktivitäten) 21 Aktivitäten, die potenziell Luftschadstoffe emittieren. Gemäss den Berechnungen und den früher vorgestellten Ergebnissen stehen dabei sechs Aktivitäten im Vordergrund:

- Strassenverkehr (reservierte Zone und öffentliche Zone)
- Spezielle Flughafenfahrzeuge und -maschinen
- Brennstoffverbrauch der Heizzentralen
- Kohlenwasserstoff-Lagerung
- Triebwerkstests von Luftfahrzeugen
- Flugverkehr

Aufgrund ihrer Eigenart wurden die Aktivitäten Fahrzeugverkehr, Heizzentralen und Flugverkehr sowie die Gesamtemissionen des Flughafens (ohne POP und Schwermetalle) mit den Emissionsdaten der Umgebungszone verglichen.

### 2.3.1 Gesamtemissionen

	Schadstoff	Total Emissionen Umgebungszone 2022 (t/Jahr)	Total Emissionen Flughafen (Bodenquellen + Flugzeuge) 2022 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	30	20	67%
	NO <sub>x</sub>	625	272	44%
	NM <sub>VO</sub> C	722	138	19%
	CO	1 186	236	20%
	NH <sub>3</sub>	60	0	0.1%
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	GWP <sub>2007</sub>	262 117	74 330	28.4%
	CH <sub>4</sub>	234	3.6	1.5%
	CO <sub>2</sub>	240 208	73 312	31%
	N <sub>2</sub> O	25	2.4	10%
	FKW	8 740	228	3%
	PFC	0	-	-
	SF <sub>6</sub>	205	-	-
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	259	20	8%
	PM <sub>10</sub>	133	10	8%
	PM <sub>2.5</sub>	89	7	8%
	PM <sub>1</sub>	71	2	3%

Tabelle 9: Vergleich der Gesamtemissionen des Flughafens Basel-Mulhouse (Bodenquellen + Flugzeuge) mit den Gesamtemissionen der Nachbargemeinden in der Umgebungszone (UZ).

Die durch die Flughafenaktivitäten verursachten SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen entsprechen 67 bzw. 44 Prozent der Gesamtemissionen der Umgebungszone (UZ). Die generell verbrennungsbedingten Schadstoffe stammen hauptsächlich aus dem Treibstoffverbrauch der Flugzeuge und in geringerem Ausmass aus dem Treib- und Brennstoffverbrauch von Bodenquellen (Heizzentralen, Flughafenfahrzeuge und -maschinen).

Die Flughafenaktivitäten verursachen 3 bis 31 Prozent der übrigen Schadstoffemissionen (Feinstaub, CO, NM<sub>VO</sub>C und CO<sub>2</sub>) in der Umgebungszone.

Für CH<sub>4</sub> gehen nur 1,5 Prozent der Emissionen der UZ auf den Flughafen zurück: In der UZ befindet sich eine Mülldeponie, die signifikante Methanemissionen erzeugt.

### 2.3.2 Emissionen aus dem Fahrzeugverkehr

Aufgrund des Verlaufs der Autobahn A35, der Grenzlage und der Dienstleistungs- und Industrieaktivitäten in der Zone bildet der Strassenverkehr in der Umgebungszone die vorherrschende Aktivität. Daher scheint der Vergleich der Verkehrsemissionen des Flughafens mit den Gesamtemissionen des Strassenverkehrs in der UZ interessant.

	Schadstoff	Emissionen Strassenverkehr UZ 2022 (t/Jahr)	Emissionen Fahrzeuge Flughafen 2022 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	0	0.02	9%
	NO <sub>x</sub>	206	6	3%
	NMVOG	19	0.5	2%
	CO	173	4	2%
	NH <sub>3</sub>	3	0.1	2%
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	GWP <sub>2007</sub>	80 302	2 536	3%
	CH <sub>4</sub>	2	0.3	13%
	CO <sub>2</sub>	78 063	2 507	3%
	N <sub>2</sub> O	2	0.1	3%
	FKW	1 511	-	-
	PFC	-	-	-
	SF <sub>6</sub>	-	-	-
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	22	0.7	3%
	PM10	16	0.5	3%
	PM2.5	11	0.3	3%
	PM1	6	0.4	7%

Tabelle 10: Emissionen des Strassenverkehrs auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2022 und in der Umgebungszone 2022, Vergleich.

Die Strassenverkehrsemissionen auf der Plattform sind im Vergleich zu denjenigen in der Umgebungszone relativ gering und betragen je nach Schadstoff zwischen 2 und 13 Prozent. Der Durchgangsverkehr auf der A35 fällt für die Emissionen der Zone stark ins Gewicht. Der Anteil der Strassenverkehrsemissionen auf dem Flughafen verglichen mit der UZ variiert je nach Schadstoff. Gründe dafür sind die Zusammensetzung des Fahrzeugparks, die Fahrgeschwindigkeiten und die Auslastung der Strassenabschnitte.

### 2.3.3 Emissionen von Verbrennungsprozessen aus stationären Quellen

Die Emissionen aus der Wärme- und Stromerzeugung auf dem Flughafengelände werden mit den Emissionen aus der Verbrennung im Wohn- und Dienstleistungssektor verglichen. Zu diesem Sektor gehören im Inventar Grand Est die Heizzentralen des Flughafens.

	Schadstoff	Verbrennungsbezogene Emissionen Wohn- und Dienstleistungssektor UZ 2022 (t/Jahr)	Emissionen Heizzentralen Flughafen 2022 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	7	0,1	1%
	NO <sub>x</sub>	35	7	21%
	NMVOC	189	0	0,2%
	CO	590	2,4	0,4%
	NH <sub>3</sub>	6	0	-
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	GWP <sub>2007</sub>	41 465	6 966	17%
	CH <sub>4</sub>	29	0,6	2%
	CO <sub>2</sub>	39240	6 861	17%
	N <sub>2</sub> O	0,8	0,3	39%
	FKW	1258	-	-
	PFC	0	-	-
	SF <sub>6</sub>	0	-	-
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	59	0,1	0,2%
	PM <sub>10</sub>	56	0,1	0,2%
	PM <sub>2.5</sub>	55	0,1	0,2%
	PM <sub>1</sub>	54	0,1	0,2%

Tabelle 11: Emissionen der Heizzentralen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse und verbrennungsbezogene Emissionen im Wohn- und Dienstleistungssektor der Umgebungszone 2019, Vergleich.

Die Emissionen der Heizzentralen des Flughafens entsprechen 0,4 bis 39 Prozent der verbrennungsbezogenen Emissionen des Wohn- und Dienstleistungssektors in der UZ.

Der mit 39 Prozent auffallend hohe Anteil N<sub>2</sub>O-Emissionen des Flughafens geht in Wirklichkeit auf eine abweichende Erhebungsmethode zurück. In der Berechnung der Emissionen der Heizzentralen des Flughafens beträgt der N<sub>2</sub>O-Emissionsfaktor für Erdgas 2,5 g/GJ (Emissionsfaktor gemäss einer Studie zu Distickstoffmonoxid aus industriellen Heizanlagen). Dagegen geht das Inventar Grand Est für die Umgebungszone mit 0,1 g/GJ von einem 25-mal tieferen Faktor aus (Durchschnitt der Emissionsfaktoren für alle Heizungs- und Brennstoffarten im Wohn- und Dienstleistungssektor). Würden die Flughafenemissionen anhand dieses Faktors berechnet, würden sich N<sub>2</sub>O-Emissionen von 0,015 t/Jahr ergeben, was nur 1,7 Prozent der verbrennungsbezogenen Emissionen im Wohn- und Dienstleistungssektor der UZ entspricht.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Heizzentralen des Flughafens sind für 21 Prozent der Emissionen der entsprechenden Aktivitäten in der UZ verantwortlich. In beiden Inventaren werden ähnliche oder identische Emissionsfaktoren verwendet. Bei der Feinzählung der Aktivitäten im Flughafeninventar wird allerdings die erdgasbetriebene Kraft-Wärme-Kopplungsanlage berücksichtigt, die höhere Emissionsfaktoren aufweist als herkömmliche Gasheizungen. Im Inventar Grand Est, das zur Bestimmung der Emissionen in der UZ dient, wird ein theoretischer Mix aus herkömmlicheren Verbrauchsweisen bzw. Anlagen (klassische Heizungen und breitere Brennstoffpalette) für den Wohn- und Dienstleistungssektor verwendet. Dies erklärt, weshalb die Heizzentralen bei den genannten Schadstoffen im Vergleich mit der UZ relativ stark ins Gewicht fallen.

Die NMVOC-Emissionen haben zwischen 2019 und 2022 drastisch an Repräsentativität verloren (von 13% auf 0,2%), da die Verwendung von Heizöl in der Energieproduktion eingestellt wird.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, von denen der Flughafen im Wohn- und Dienstleistungssektor der UZ 17 Prozent verursacht, sind für das Ausmass der Aktivität der Heizzentralen des Flughafens repräsentativ, wenn sie mit den entsprechenden Aktivitäten in der UZ verglichen werden. Allerdings können die Methoden beider Inventare zur Quantifizierung des Verbrauchs (und damit der Emissionen) dennoch unterschiedliche Ergebnisse zeitigen.

Der Beitrag der Heizzentralen zu den verbrennungsbezogenen Emissionen Feinstaub, SO<sub>2</sub> und CO beträgt im Wohn- und Dienstleistungssektor der UZ höchstens 1 Prozent.

## 2.4 Vergleich der Ergebnisse mit grösseren Gebieten

### 2.4.1 Mit den Gesamtemissionen des Departements und der Region

	Schadstoff	Total Emissionen Flughafen (Boden + Flugzeuge) 2022 (t/Jahr)	Total Emissionen Haut-Rhin 2022 (t/Jahr)	% Flughafen / Haut-Rhin	Total Emissionen Grand Est 2022 (t/Jahr)	% Flughafen / Grand Est
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	20	918	2,2%	8 316	0,2%
	NO <sub>x</sub>	272	11 400	2,4%	83 931	0,3%
	NM VOC	138	25 318	0,5%	270 521	0,1%
	CO	236	24 890	0,9%	226 572	0,1%
	NH <sub>3</sub>	0,1	3 329	0,002%	63 640	0,0001%
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	GWP <sub>2007</sub>	74 330	5 516 603	1,35%	43 639 593	0,170%
	CH <sub>4</sub>	3,6	8 300	0,04%	189 455	0,002%
	CO <sub>2</sub>	73 312	4 842 303	1,5%	33 841 138	0,2%
	N <sub>2</sub> O	2,4	1 136	0,2%	13 665	0,02%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF <sub>6</sub> )	228	128 368	0,18%	989 853	0,023%
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	20	6 457	0,3%	97 487	0,02%
	PM <sub>10</sub>	10	3 303	0,3%	38 056	0,03%
	PM <sub>2.5</sub>	7	2 397	0,3%	22 679	0,03%
	PM <sub>1</sub>	2	1 912	0,1%	16 849	0,01%

Tabelle 12: Gesamtemissionen des Flughafens Basel-Mulhouse (Boden + Flugzeuge) und Emissionen des Departements Haut-Rhin und der Region Grand Est, Vergleich.

Die Emissionen der Aktivitäten der Flughafenplattform umfassen die Bodenquellen und die Flugzeuge; sie wurden mit den Gesamtemissionen des Departements Haut-Rhin und der Region Grand Est verglichen. Je nach Schadstoff beträgt der Anteil des Flughafens an den Emissionen des Departements 0,002 bis 2,4 Prozent. Den höchsten Anteil verzeichnen SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> mit jeweils 2,7 Prozent. Auf Feinstaub entfällt rund 0,3 Prozent der Emissionen.

Auf Ebene der Region Grand Est machen die Flughafenaktivitäten global nur einen geringen Anteil der Emissionen aus; den Höchstwert verzeichnet NO<sub>x</sub> mit 0,3 Prozent.

## 2.4.2 Mit den Emissionen der Flugzeuge in Grand Est

Schadstoff		Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2022 (t/Jahr)	Emissionen Flugzeuge Grand Est 2022 (t/Jahr)	% Basel- Mulhouse / Grand Est
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO <sub>2</sub>	18	25	71%
	NO <sub>x</sub>	217	291	75%
	NMVOC	14	27	50%
	CO	211	567	37%
	NH <sub>3</sub>	-	0	-
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP <sub>2007</sub>	57 007	77 156	74%
	CH <sub>4</sub>	2	3	50%
	CO <sub>2</sub>	56 511	76 460	74%
	N <sub>2</sub> O	2	2	74%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF <sub>6</sub> )	0	0	-
FEINSTAUB	TSP	15	72	21%
	PM10	8	37	23%
	PM2.5	5	22	24%
	PM1	1	2	74%

Tabelle 13: Emissionen der Flugzeuge des Flughafens Basel-Mulhouse und der Flugzeuge der Region Grand Est, Vergleich.

Der Flughafen Basel-Mulhouse nimmt mit über 9 Millionen Passagieren 2019 in den Flugaktivitäten der Region Grand Est einen zentralen Platz ein. Der Beitrag der Emissionen aus diesen Aktivitäten ist deshalb auch auf regionaler Ebene signifikant. Die Flugzeuge, die auf der Plattform Basel-Mulhouse abgefertigt werden, verursachen 50 bis 75 Prozent der Schadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, und PM1 (Partikel, die ausschließlich durch Verbrennung freigesetzt werden).

Bei den Treibhausgasemissionen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O ist der Beitrag der Flughafenplattform Basel-Mülhausen ähnlich, da diese Emissionen ebenfalls aus dem Treibstoffverbrauch der Flugzeuge stammen. Der Beitrag des Flughafens beläuft sich somit auf 74 % der CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e nach GWP<sub>2007</sub>) des Flugsektors in der Region Grand Est.

Für Feinstaub, die größer als PM1 sind und hauptsächlich durch den Abrieb von Bremsen und Reifen während der verschiedenen LTO-Phasen der Flugzeuge freigesetzt werden, wird der Beitrag in dieser Aktualisierung als geringer eingeschätzt. Die V2024-Methode für das Luftverkehrs-Emissionsinventar berücksichtigt nämlich alle Flüge für den Brems- und Reifenabrieb. So werden Flüge von kleinen Flugzeugen mit Kolbenantrieben künftig mit denselben Emissionsfaktoren berücksichtigt wie die von Flugzeugen mit Turbostrahltriebwerken, da es keinen geeigneten Emissionsfaktor gibt. Da die Abnutzungsemissionen von Kleinflugzeugen auf kleinen Flughäfen überwiegen, haben sie in dieser Version des Inventars an Bedeutung gewonnen, was den geringeren Beitrag der Plattform Basel Mulhouse zu den Gesamtemissionen des Grand Est erklärt.

## 2.5 Vergleich mit dem Luftemissionsinventar 2015

### 2.5.1 Bodenquellen (ohne Flugzeuge)

Bei der Erstellung des neuen Inventars der Flughafenplattform Basel-Mulhouse für das Jahr 2022 wurde bei der Berechnung der Emissionen aus dem Straßenverkehr eine wichtige methodische Änderung vorgenommen.

Diese wichtige Änderung hängt damit zusammen, dass für das Jahr 2022 keine Zählzeiten für die verschiedenen Streckenabschnitte zur Verfügung standen. So wurden die Einfahrtszahlen der verschiedenen Parkhäuser verwendet, um die Emissionen des Straßenverkehrs unter Berücksichtigung der Straße zu den Parkhäusern zu schätzen. Diese methodologische Änderung ermöglicht jedoch eine genauere Schätzung dieser Emissionen, da die genaue Route jedes Fahrzeugs zur Ein- und Ausfahrt auf die Plattform berücksichtigt wird. Das Ergebnis ist eine Halbierung der Verkehrsemissionen zwischen 2019 und 2022, obwohl ein Rückgang in der Größenordnung von 22 %, der dem Rückgang der Passagierzahlen entspricht, erwartet worden wäre. Die Integration von Telearbeit in Unternehmen (insbesondere nach der COVID-Krise) kann diesen beobachteten Rückgang des Verkehrs ebenfalls erklären. Die Schätzung des Verkehrs in reservierten Bereichen und seiner Emissionen erfolgt mit der gleichen Methodik wie 2019.

So bleiben 2019 und 2022 immerhin zwei methodisch vergleichbare Inventarjahre, abgesehen vom Straßenverkehr und den Motorentests. Es muss jedoch auf die inhärenten Grenzen der Datenerhebung der Plattformunternehmen hingewiesen werden:

- Die Rücklaufquoten der beiden Datenerhebungen waren unterschiedlich (15 Prozent im Jahr 2022 und 26 Prozent im Jahr 2019). Allerdings haben die wichtigsten Partner der Plattform ihre Antworten gut zurückgegeben und die Rückmeldungen waren in Bezug auf die Daten für 2022 umfangreicher.
- Die Beteiligten der Unternehmen, die die Fragebögen zwischen den Versionen der Bestandsaufnahmen ausgefüllt haben, können sich aufgrund der Anzahl der Jahre zwischen den beiden Geschäftsjahren geändert haben.
- Die Ergebnisse für ein und denselben Fragebogen zwischen den beiden Inventaren wurden möglicherweise nicht auf dieselbe Weise ausgefüllt.
- Um denselben Fragebogen zu beantworten, sind die Indikatoren, die den Befragten für jedes Jahr zur Verfügung stehen, nicht unbedingt dieselben.

Schadstoff		Emissionen Bodenquellen 2019 (t/Jahr)	Emissionen Bodenquellen 2022 (t/Jahr)	Entwicklung 2022/2019
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO <sub>2</sub>	1,98	2,04	3%
	NO <sub>x</sub>	70,8	55	-22%
	NMVOG	145	124	-14%
	CO	34,7	25	-28%
	NH <sub>3</sub>	0,12	0,1	-54%
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP <sub>2007</sub>	21 433	17 323	-19%
	CH <sub>4</sub>	2,2	2,1	-4%
	CO <sub>2</sub>	21 009	16 801	-20%
	N <sub>2</sub> O	1,2	0,8	-30%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF <sub>6</sub> )	24,8	228	817%
FEINSTAUB	TSP	23,6	5	-80%
	PM <sub>10</sub>	6,1	2,0	-68%
	PM <sub>2.5</sub>	3,1	1,3	-57%
	PM <sub>1</sub>	1,8	1,2	-33%

Tabelle 14: Gesamtemissionen der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse in Bezug auf die Inventarjahre 2019 und 2022, Vergleich.

Insgesamt sind die Emissionen zwischen den beiden Inventarjahren zurückgegangen.

Die Veränderung der Emissionen hängt hauptsächlich mit dem Ausmass der Gesamtaktivität des Flughafens, dem Mix der für die energiekonsumierenden Aktivitäten verwendeten Energieträger (Schweröl, Erdgas, nicht für den Strassenverkehr bestimmter Diesel, Benzin usw.) und, spezifisch für bestimmte Schadstoffe, mit der jährlich stark schwankenden Aktivität bezüglich bestimmter nicht energiebezogener Emissionsquellen zusammen (Kühlung und Klimaanlage, Baustellen und Bauen usw.). Anhang 2 enthält die vollständigen Ergebnisse nach Aktivität für die Jahre 2022 und 2019.

Für die Schadstoffe SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC, CO, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O wird zwischen 2019 und 2022 ein Rückgang der Emissionen um 4% bis 80% festgestellt. Bei mehreren dieser Schadstoffe sind die Emissionen zu einem großen Teil auf den Energieverbrauch zurückzuführen:

- Der größte Energieverbraucher sind die Heizanlagen mit einem Verbrauch von 33.435 MWh im Jahr 2022. Dieser Posten verzeichnete jedoch zwischen 2019 und 2022 einen Rückgang des Verbrauchs um 22%, was vor allem auf die Einstellung der Nutzung von Heizöl zurückzuführen ist und darauf, dass die Befragten in den Fragebögen weniger Energie verbrauchten und weniger Geräte angaben. Ohne den Einsatz von Heizöl sanken die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Energieanlagen um 36%. Das Hauptwärmenetz des Flughafens wurde im September 2022 an das Fernwärmenetz von Saint-Louis angeschlossen. Auf diese Weise wurde Gasverbrauch auf dem Gelände des Flughafens vermieden. Außerdem waren die Temperaturbedingungen im Jahr 2022 milder als 2019, wodurch der Heizbedarf der Gebäude auf der Flughafenplattform reduziert wurde.
- Die Triebwerkstests wurden mit 23.906 MWh verbrauchter Energie zum zweitgrößten Energieverbraucher in diesem Inventar. Die Triebwerkstests sind ein relativ stabiler Posten zwischen den beiden Inventarjahren mit einem Anstieg des geschätzten Energieverbrauchs um 6 % zwischen 2019 und 2022.
- Der Straßenfahrzeugverkehr ist der drittgrößte Verbrauchsposten, obwohl sein Energieverbrauch im Vergleich zu den Schätzungen für 2019 um 50 % auf 9 604 MWh im Jahr 2022 gesunken ist. Dieser Rückgang ist auf die Änderung der Berechnungsmethodik zurückzuführen, die sich auf Parkeinfahrten und nicht mehr auf Zählpunkte von Straßenabschnitten stützt. Dadurch sind die meisten Schadstoffe im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr ähnlich stark zurückgegangen wie der Energieverbrauch dieses Postens, nämlich zwischen 47% und 67%.
- Der viertgrößte Posten mit dem höchsten Energieverbrauch sind die Flughafen-Spezialgeräte. Da der Verbrauch des Maschinenparks im Verhältnis zum Rückgang des Verkehrsaufkommens geschätzt wurde, wenn keine Daten verfügbar waren, ist in den Endergebnissen ein Rückgang des Verbrauchs um 28% zu verzeichnen, wobei die verschiedenen Schadstoffe in ähnlicher Weise zurückgingen wie dieser Rückgang.

Bei einigen Schadstoffen sind die Veränderungen zwischen 2019 und 2022 noch größer, insbesondere bei Feinstaub und Fluoriden.

Die TSP-Emissionen aus bodennahen Quellen sind um 80 % gesunken, was größtenteils auf die Halbierung der Baustellenfläche zwischen 2019 und 2022 zurückzuführen ist. Der Rückgang der Emissionen aus dem Straßenverkehr aufgrund einer methodischen Anpassung trägt neben dem Rückgang der Flughafenaktivitäten zwischen 2019 und 2022 ebenfalls zu diesem Rückgang bei.

Die Emissionen von Fluorverbindungen steigen zwischen den beiden Zeiträumen um das Achtfache an. Dieser Anstieg ist auf einen Rücklauf des Fragebogens zurückzuführen, der Einzelheiten zu einem großen Bestand an kälteerzeugenden Anlagen enthielt, die in den Berichten für 2019 noch nicht enthalten waren. Mit der Schätzung von Gaslecks aus diesem neu gemeldeten Anlagenbestand stiegen die HFKW-Emissionen 2022 explosionsartig an.

## 2.5.2 Flugzeuge

Die wichtigste Änderung gegenüber dem vorherigen Inventar (2019) ist ein deutlicher Rückgang der Feinstaubemissionen während des LTO-Zyklus von Flugzeugen. Diese Änderung hängt mit der Aktualisierung der Emissionsfaktoren in der OMINEA-Datenbank des CITEPA zusammen, wobei die Verwendung eines Berechnungsmodells unter Berücksichtigung von Triebwerkszertifizierungen eine bessere Schätzung der Partikelemissionen ermöglicht. Die Emissionen der Schadstoffe ohne Partikel wurden von dieser Änderung nicht beeinflusst.

So gibt es zwischen dem Jahr 2019, das mit den neuen Emissionsfaktoren neu berechnet wurde, und dem Jahr 2022 die folgende Entwicklung:

	Schadstoff	Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2019 (t/Jahr)	Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2022 (t/Jahr)	Variation
<b>VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG</b>	SO <sub>2</sub>	22 506	17 884	-21%
	NO <sub>x</sub>	255 100	217 233	-15%
	NMVOG	16 491	13 531	-18%
	CO	266 671	210 821	-21%
<b>BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT</b>	GWP <sub>2007</sub>	71 740 864	57 006 981	-21%
	CH <sub>4</sub>	1 832	1 503	-18%
	CO <sub>2</sub>	71 118 277	56 511 076	-21%
	N <sub>2</sub> O	1 935	1 538	-21%
<b>FEINSTAUB</b>	TSP	19 064	15 234	-20%
	PM <sub>10</sub>	10 421	8 299	-20%
	PM <sub>2.5</sub>	6 810	5 402	-21%
	PM <sub>1</sub>	1 462	1 122	-23%

Tabelle 15: Flugzeugemissionen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse zwischen den neu berechnet Inventaren 2019 und dem Jahr 2022, Vergleich.

Die Gesamtzahl der Flugbewegungen auf der Plattform Basel Mulhouse ging zwischen 2019 und 2022 um 15% zurück, was mit der Gesundheitskrise im Jahr 2020 zusammenhängt, die den Flugverkehr stark beeinträchtigte. Der Energieverbrauch von Flugzeugen während des LTO-Zyklus und die Nutzung von APUs sind stärker zurückgegangen als der Verkehrsrückgang: Dies entspricht einem Rückgang von 21 %, der zusätzlich zu den 15 % weniger Flugbewegungen mit dem Einsatz neuer, energieeffizienterer Flugzeuge in Verbindung gebracht werden kann. Die mit dem Energieverbrauch verbundenen Schadstoffe und Treibhausgase gingen in etwa gleich stark zurück.

## SCHLUSSFOLGERUNG

---

Diese Studie befasste sich daher mit der Freisetzung von Schadstoffen und Treibhausgasen in die Luft, die durch die Aktivitäten auf der Flughafenplattform Basel-Mülhausen verursacht werden. Zu diesem Zweck wurde ein Emissionsinventar erstellt: Ein Inventar der direkten Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen.

Dieses Inventar wurde gemäß dem methodologischen Leitfadens für die Bestimmung der Emissionen in die Atmosphäre eines Flughafengebiets mit Ausnahme von Flugzeugen des CITEPA erstellt. Die Schadstoff- und THG-Emissionen beziehen sich auf die Quellen am Boden der Plattform. Zum ersten Mal wurden auch die Emissionen der Triebwerkstests, die auf der Plattform durchgeführt werden, in das Emissionsinventar aufgenommen. Die globalen Auswirkungen wurden auch durch die Berücksichtigung der Emissionen im Zusammenhang mit den Bewegungen von Flugzeugen, die die Plattform im LTO-Zyklus (<915 m Höhe) passieren, bewertet. Schließlich wurden die Ergebnisse der Arbeit mit den Emissionen der Umgebung und größerer Gebiete verglichen.

### **Zu den Luftemissionswerten auf dem Flughafen ohne Flugzeuge:**

Die Emissionen des Flughafens (ohne Flugzeuge) wurden für das Bezugsjahr 2022 und für 21 verschiedene Aktivitäten geschätzt.

- Die vier Hauptemissionsquellen für die Mehrzahl der inventarisierten Schadstoffe sind: Strassenverkehr, Heizzentralen, Spezialfahrzeuge und -maschinen sowie der Triebwerkstest von Flugzeugen.

Einige Schadstoffe weisen eine besondere Verteilung auf die Emissionsquellen auf:

- Die meisten Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC) stammen aus der Kohlenwasserstoff-Lagerung (88%), dem Lackieren (8%) und aus dem Vertrieb von Kraftstoffen (1%).
- Kohlendioxidemissionen, die hauptsächlich aus Verbrennungsquellen stammen, werden hauptsächlich von Heizzentralen, dem Straßenverkehr, aber auch von Triebwerkstests an Flugzeugen verursacht.
- Schwefeldioxid ist ein Schadstoff, der bei der Verbrennung von Kraft- und Brennstoffen entsteht. Für die Plattform sind die Triebwerkstests mit 96% der Emissionen die Hauptverursacher. Die Heizzentralen tragen nur noch 3 % bei, da der Einsatz von Heizöl eingestellt wurde.
- Kohlenmonoxid und Stickoxide (NO<sub>x</sub>) entstehen bei der Verbrennung von Treibstoffen und hauptsächlich bei den Triebwerkstests der Flugzeuge (65%), während der Rest zu fast gleichen Teilen auf Heizzentralen, Flughafenmaschinen und den Straßenverkehr entfällt.
- Die Feinstaubpartikel PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub> werden hauptsächlich von speziellen Flughafengeräten und dem Straßenverkehr freigesetzt. Die größeren Partikel (TSP und PM<sub>10</sub>) werden hauptsächlich durch die Bau- und Baustellenaktivitäten verursacht, die 2022 auf dem Flughafengelände stattfinden. Da diese Aktivitäten von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sind, sind auch die damit verbundenen Emissionen sehr unterschiedlich.
- Die Methanemissionen stammen größtenteils (52%) aus theoretischen Lecks im Erdgasnetz.

Die anderen auf dem Flughafen erfassten Quellen tragen in geringerem Masse zu den Emissionen bei. Mittelverwendungsaktivitäten (Lackier-, Streich-, Reinigungs-, Wartungs-, Enteisungsarbeiten usw.) verursachen NMVOC-Emissionen. Bau und Renovation von Belägen erzeugen durch die Verlegung von Asphalt NMVOC- und PAK-Emissionen.

Für die Enteisung von Strassen und Parkplätzen werden nur lösemittelfreie Produkte verwendet. Diese Aktivitäten erzeugen also keine NMVOC-Emissionen.

### **Anteil der Boden-Emissionen an den gesamten Luftfahrt-Emissionen (inkl. Flugzeuge) des Flughafens**

Die Emissionen von Flugzeugen auf der Plattform Basel-Mulhouse wurden für das Referenzjahr 2022 mit einer feinen Methodik geschätzt, die die spezifischen Informationen für jeden Flug eines Flugzeugs berücksichtigte. Die Ergebnisse wurden mit den in der vorliegenden Studie ermittelten Bodenemissionen verglichen.

Der Beitrag der Luftfahrzeugemissionen ist für die Gesamtauswirkungen der von der Plattform erzeugten Luftemissionen signifikant. Die spezifischen Schadstoffe aus der Verbrennung (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, THG sowie die Partikel PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>1</sub>) stammen zu einem großen Teil von den Luftfahrzeugen. Bei den anderen Schadstoffen Ammoniak, NMVOCs und fluorierten Gasen ist der Beitrag von Quellen am Boden am größten.

### **Anteil des Flughafens an den Gesamtemissionen der Umgebungszone und umliegenden Dörfer**

Parallel zu den Arbeiten am Inventar finden regelmässige Luftqualitäts-Messkampagnen auf der Plattform und in den umliegenden Gemeinden statt, welche die «Umgebungszone» bilden (8 Gemeinden: Bartenheim, Blotzheim, Hégenheim, Hésingue, Huningue, Rosenau, Saint-Louis, Village-Neuf). Die Ergebnisse des Flughafen-Inventars wurden mit den Emissionen dieser Umgebungszone verglichen, deren Daten im Rahmen des regionalen jährlich von ATMO Grand Est durchgeführten Inventars berechnet werden.

Der Beitrag der Flughafen-Emissionen (Bodenquellen + Flugzeuge) an den Gesamtemissionen der Umgebungszone hängt vom betrachteten Schadstoff ab. Einige Werte sind beachtenswert:

- Die SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen stammen zu 67% bzw. 44% aus den Aktivitäten des Flughafens. Dies ist auf die großen Mengen an Brenn- und Treibstoffen zurückzuführen, die von den Quellen am Boden (Heizzentralen, Flughafenmaschinen und Straßenfahrzeugverkehr) und den Flugzeugen verbraucht werden.
- Die Schwebstoffe stammen zu 3% bis 8% aus den Aktivitäten auf der Plattform. Ein großer Teil dieser Schadstoffe stammt aus dem Energieverbrauch der Flugzeuge.
- Je nach Schadstoff macht der Straßenverkehr auf der Plattform zwischen 2 und 13 % der Emissionen des Straßenverkehrs in der Umgebung aus, wobei die Auswirkungen der A35 auf die Emissionen des Straßenverkehrs in der Umgebung erheblich sind.
- Die NO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen, die von den Heizzentralen auf der Plattform erzeugt werden, entsprechen 21% bzw. 17% der Emissionen aus der Verbrennung von Wohn- und Dienstleistungssektoren in der Umgebung.

### **Beitrag des Flughafens an die Gesamtemissionen des Departements und der Region**

Die Flughafenaktivitäten haben einen geringfügigen Einfluss auf die Gesamtemissionen des Departements Haut-Rhin und der Region Grand Est. In der Region Grand Est erreichen die Flughafenaktivitäten einen Höchstwert von 0,4 Prozent der regionalen (NO<sub>x</sub>-) Emissionen.

## **Flugzeugemissionen des Flughafens Basel-Mulhouse im Vergleich zu den gesamten Flugzeugemissionen der Region Grand Est**

Die Flughafenplattform Basel Mulhouse generiert einen erheblichen Flugverkehr (64.193 kommerzielle Flugbewegungen im Jahr 2022). Daher ist der Anteil der von den Flugzeugen dieser Plattform verursachten Emissionen im Vergleich zum gesamten Flugverkehr der Region Grand Est erheblich. Der Beitrag schwankt je nach Schadstoff zwischen 50 und 75 % der Emissionen. Lediglich der Beitrag der Plattform zu den Emissionen von Grobpartikeln (TSP, PM10 und PM2.5), die hauptsächlich durch den Abrieb von Bremsen und Reifen entstehen, ist aufgrund der Berücksichtigung dieser Emissionen bei kleineren Flugzeugen geringer (21 % bis 24 %).

### **Vergleich der Ergebnisse des Inventars 2022 mit den Ergebnissen des Inventars 2019**

Generell sind die Emissionen der wichtigsten Schadstoffe über alle Aktivitäten hinweg zwischen den beiden Inventarjahren angesichts des Rückgangs des Verkehrs zwischen 2019 und 2022 konsistent. So sind die Ergebnisse für 2022 insgesamt niedriger als die für 2019, mit Ausnahme der Emissionen von Fluoriden, deren Anstieg auf die Berichterstattung zurückzuführen ist.

Im Rahmen dieser Studie wurde auch die detaillierte Methode als Standardmethode für die Bestandsaufnahme berücksichtigt. So wird bei der jährlichen Emissionsberechnung des regionalen Emissionsinventars von ATMO Grand Est die genaueste Methode für das Emissionsinventar der Flughafenplattform Basel Mulhouse verwendet. Dies ermöglicht es, genaue und konsistente Jahresergebnisse zu erhalten, ohne die Anzahl der Studien und Berechnungsmethoden zu vervielfachen.

**Die vorliegenden Arbeiten konzentrierten sich auf die Beschreibung der Emissionen des Flughafens Basel-Mulhouse für das Jahr 2019. Das damit erstellte Inventar bildet neben den bereits auf dem Flughafen durchgeführten Luftqualitätsstudien eine Quelle von Indikatoren für die Auswirkungen der Flughafenaktivitäten auf die Atmosphäre, dank der sich sowohl die Massnahmen zur Verbesserung der Luftqualität auf und um den Flughafen Basel-Mulhouse ergänzen, als auch ermöglicht, auf Ebene der Klimaauswirkung der Aktivitäten zu handeln.**



## ANHANG 1 –BERÜCKSICHTIGTE DATEN NACH EMISSIONSQUELLE

Datenblatt	Aktivität	Beschreibung der Aktivität
1	Heizzentralen	Verbrauch (42 500 MWh) von Erdgas und Heizöl durch Heizungen und einen KWK-Motor, der Wärme und Strom erzeugt
2	Klima- und Kühltechnik	14 kg nachgefüllte Flüssigkeit in Klimaanlage
3	Treibstofflagerung	192 000 m <sup>3</sup> Treibstoff in Lagern
4	Abgabe von Flüssigbrennstoffen und Benzin	Tankstellen und Betankung: Transfer von 94 000 t Treibstoff
5	Gasverteilnetze	5,9 km Erdgasverteilnetz auf dem Gelände
6	Elektrische Schaltanlagen (SF <sub>6</sub> )	Hermetisch abgeschlossene Schaltanlagen. Keine Emissionen
7	Feuerlöschposten	Keine Aktivität, keine Emissionen
8	Bau und Renovation von Belägen	Asphalteinbau auf 27 000 m <sup>2</sup>
9	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	Einsatz von 505 000 l Enteisungs- und Vereisungsschutzmittel
10	Enteisung von Zufahrten und Parkbereichen	Einsatz von 50 000 Litern vollständig lösemittelfreier Enteisungsmittel
11	Wartungsarbeiten und Aussenreinigung von Flugzeugen, Bodenfahrzeugen und Räumlichkeiten	Einsatz von 3000 l Instandhaltungs- und Reinigungsmittel
12	Lackier-/Streichvorgänge an Flugzeugen, Bodenfahrzeugen und Räumlichkeiten	Aufbringen von ca. 700 l Lack/Farbe
13	Biotische Quellen (Vegetation und Grünflächen)	Keine Aktivitäten auf dem Standort (kein Ausbringen von Düngemitteln)
14	Brandversuche	Keine Brandversuche auf dem Standort
15	Baustellen	Grundfläche von Baustellen: 66 000 m <sup>2</sup>
16	Schienenverkehr	Keine Aktivität auf dem Standort
17	Spezialfahrzeuge und -maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	Verbrauch von 23 000 l Treibstoff für die Fahrzeuge
18	Spezialfahrzeuge und -maschinen für industrielle Zwecke (flugnahe Aktivitäten)	15 verzeichnete elektrisch angetriebene Fahrzeuge
19	Spezialfahrzeuge und -maschinen für Flughafenzonen	Verbrauch von 675 000 l Treibstoff durch die Fahrzeuge
20	Strassenverkehr	23 Mio. km zurückgelegt
21	Triebwerkstest von Luftfahrzeugen	750 Stunden von Triebwerkstests

## ANHANG 2 – CHARAKTERISIERUNG DER VERSCHIEDENEN LTO-PHASEN

### Radardaten

Anhand von Radardaten lassen sich die Positionen und Bewegungen von Flugzeugen, die auf dem Flughafen landen oder starten, im Zeitverlauf ermitteln. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Höhen- und Geschwindigkeitsprofile eines A320 (Hinweis dazu: Der A320 verzeichnete 2019 anteilmässig die meisten Flugbewegungen am Flughafen Basel-Mulhouse). Die Hauptetappen beim Start und Steigflug sind mit gelben Punkten und Nummern hervorgehoben. Es gilt zu beachten, dass sich die Höhenangaben in der Grafik auf die Meereshöhe und nicht auf die Höhe des Flughafens beziehen; dieser befindet sich auf 885 ft (270 m).

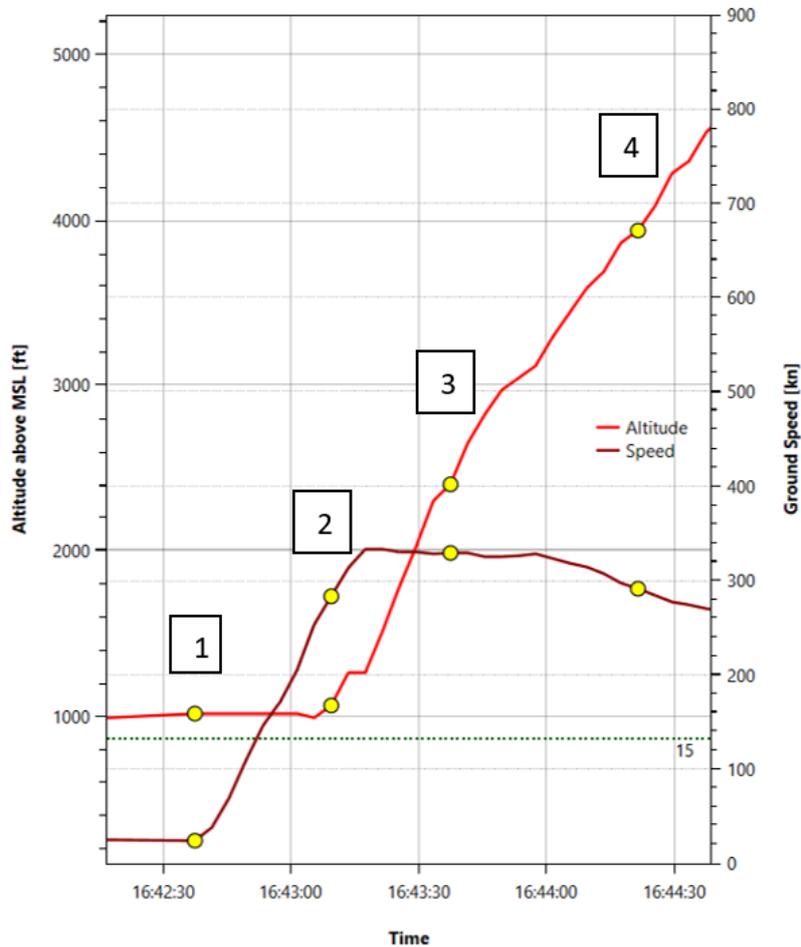


Abbildung 1: Höhen- und Geschwindigkeitsprofile eines A320

Die mit gelben Punkten dargestellten Etappen werden im Folgenden beschrieben:

Etappe	Beschreibung	Phase des LTO-Zyklus
1	Beginn der Beschleunigung auf der Startbahn. Das Flugzeug beschleunigt stark.	Start
2	Start des Flugzeugs. Das Höhenprofil wird steiler.	
3	Das Flugzeug erreicht 1500 ft über Grund (2385 ft über dem Meeresspiegel)	
4	Das Flugzeug erreicht 3000 ft über Grund (3885 ft über dem Meeresspiegel)	Steigflug

Im obigen Beispiel wurden folgende Zeiten und Dauern für die einzelnen Etappen angelegt:

Beschreibung	Zeit Beginn	Zeit Ende	Dauer [s]	LTO-Phase
Beschleunigung auf der Startbahn	16:42:37	16:43:09	32	Start (60 s)
Start (Take-Off)	16:43:09	16:43:37	28	
Steigflug (Climb)	16:43:37	16:44:21	44	Steigflug

Die Schätzung der Phasendauern für die Flugbewegungen erfolgte 2019, indem die verschiedenen Grenzen und Positionen ermittelt und zueinander in Beziehung gesetzt wurden. Zur Veranschaulichung der Methode sind in den folgenden Abbildungen die Positionen der Flugbewegungen über drei Tage dargestellt. Die Charakteristika der Flugbewegungen (Positionen, Zeiten, Flugzeugmodelle usw.) wurden für 1500 ft und 3000 ft Flughöhe über Grund ermittelt, so dass Steigflugdauern definiert werden konnten.

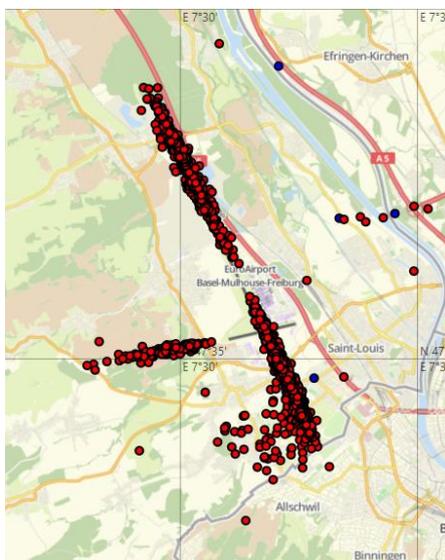


Abbildung 2: Radardaten der Starts bei 1500 ft, die zwischen dem 1. und dem 3. Januar 2019 durchgeführt wurden.

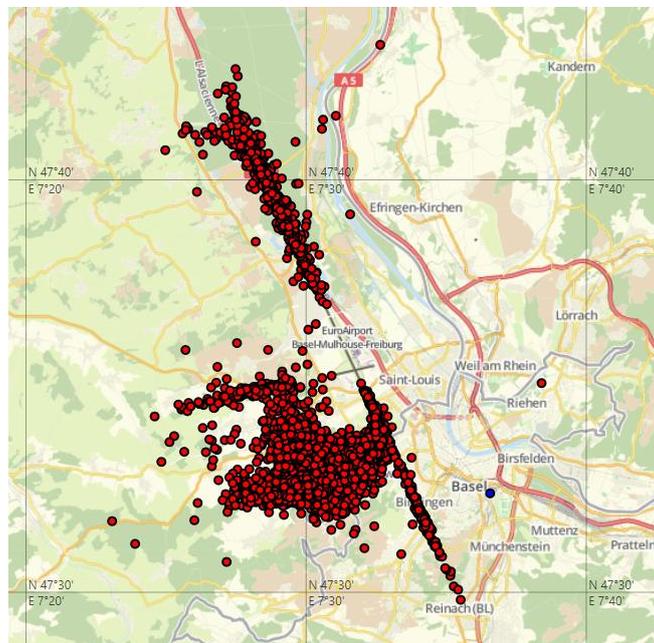


Abbildung 3: Radardaten der Starts bei 3'000 ft, die zwischen dem 1. und dem 3. Januar 2019 durchgeführt wurden.

Zu beachten ist hierbei, dass die Radardaten nicht vollständig sind und besonders im Bodenbereich Lücken aufweisen können. Die beiden zur Verfügung stehenden Radargeräte sind nämlich nicht für die Erfassung in Bodennähe geeignet. Auch die Positionierung der Radarantennen an den Flugzeugen spielt für die Erfassung eine Rolle, weshalb einige Flugzeuge am Boden erkannt werden, andere aber nicht. Dadurch ist es schwieriger, den tatsächlichen Zeitpunkt des Starts zu ermitteln. Aus diesem Grund basieren die Startzeiten bei dieser Methode auf den von den Fluglotsen manuell übertragenen Startinformationen.

#### Berücksichtigung der Beschleunigung auf der Startbahn

Das Beschleunigen der Flugzeuge auf der Startbahn vor dem Abheben der Räder (Take-Off) ist eine wichtige Etappe, die im Emissionsinventar der LTO-Zyklen zu berücksichtigen ist. Diese Etappe impliziert nämlich eine grosse Motorenleistung mit entsprechend grossen Treibstoffverbrauchs- und Emissionsfaktoren.

Die folgenden Abbildungen zeigen in grafischer Form die Beschleunigungsetappe eines A300-600 (Geschwindigkeit und Flughöhe des Flugzeugs). Die Sprechblase in der linken Abbildung weist die Zeit zu Beginn der Beschleunigung, diejenigen in der rechten Abbildung die Zeit zum Zeitpunkt des Starts aus. Die Beschleunigung dauert hier 40 Sekunden (Dauer zwischen Beginn der Beschleunigung und Start).

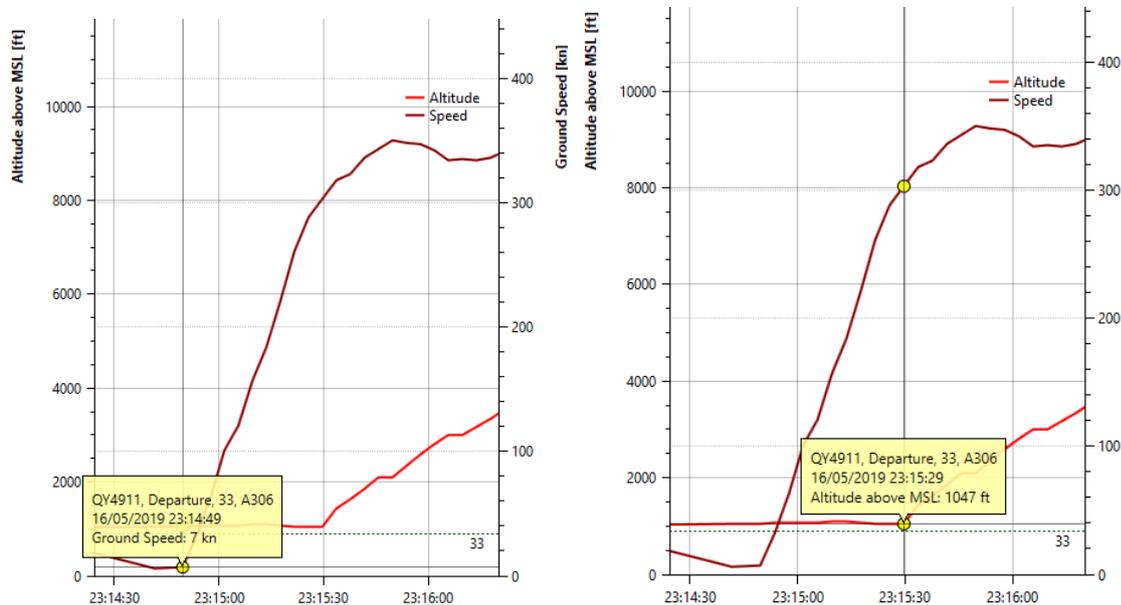


Abbildung 4: Höhen- und Geschwindigkeitsprofile eines A300-600. Die gelben Punkte bezeichnen den Zeitpunkt des Beginns der Beschleunigung (links) bzw. den Zeitpunkt des Starts (rechts).

Auf der Grundlage von Radardaten wurden die Beschleunigungsdauern von 41 Starts geschätzt. Sie variieren zwischen 20 und 41 Sekunden, mit einem Durchschnitt von 31 Sekunden. Zur Vereinfachung wurde dieser Durchschnittswert von 31 Sekunden auf alle Startphasen von 2019 angewendet.

Die Dauern nach Flugzeugmodell sind in Anhang 4 aufgelistet.

### Rollverkehr

Die Rollverkehrsdauer der Flugzeuge basiert auf den Ankunfts- und Abfahrtszeiten an der Parkposition (*On-block time* und *Off-block time*). Diese Daten meldet die TARMAC-Abteilung des Flughafens manuell. Die Taxi-in-Dauer ist definiert als die Zeit zwischen der Landung (Aufsetzen der Räder) und der Ankunft an der Parkposition. Die Taxi-out-Dauer ist definiert als die Zeit zwischen dem Verlassen der Parkposition und dem Beginn der Beschleunigung auf der Startbahn. Die Gesamtdauer des Rollverkehrs ist die Summe der Dauern des Taxi-in und Taxi-out.

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Dauer des Rollverkehrs für IFR-Flüge (Instrument Flight Rules):

Taxi-in [s]	Taxi-out [s]
189	658
Rollverkehr [s]	
847	

### Berücksichtigung der VFR-Flüge (Visual Flight Rules)

Wie für die früheren Emissionsinventaren am Flughafen Basel-Mulhouse wurde für die vorliegende Studie eine Schätzung der Emissionen für die VFR-Flüge (Sichtflüge) vorgenommen. Diese Analyse ermöglicht es, den Emissionsanteil der VFR-Flüge im Vergleich zu den IFR-Flügen besser einzuschätzen. Die Sichtflüge werden hauptsächlich von Flugzeugen mit Kolbenmotor oder von Hubschraubern ausgeführt. Doch gilt zu beachten, dass die VFR-Bewegungen in Basel-Mulhouse gegenüber den IFR-Bewegungen eine Minderheit darstellen (2019: ca. 10 000 VFR und ca. 84 000 IFR). Zudem werden VFR-Flügen von kleineren Flugzeugen ausgeführt als IFR-Flüge, weshalb die VFR-Flüge weniger Treibstoff verbrauchen und kleinere Emissionen verursachen.

Da VFR-Flüge häufig nicht bis auf 3000 ft über Grund (3885 ft über dem Meeresspiegel) aufsteigen, wurden für die Etappierung der LTO-Zyklen von VFR-Flügen neue Flughöhen definiert. Zur Erinnerung: Der LTO-Zyklus umfasst die Lande-, Start- und Steigflugphase der Flüge sowie die Rollzeiten am Boden. Die Reiseflugphase wurde bei dieser Emissionsberechnung nicht berücksichtigt, weil sie bei VFR-Flügen nicht unbedingt in Flughafennähe stattfindet. Da in der Literatur keine Empfehlungen für VFR-Flüge vorliegen, muss eine repräsentative Grenzhöhe für den Beginn und das Ende des LTO-Zyklus als Standard für die VFR-Flüge festgelegt werden.

Dazu wurden die Höhenprofile von VFR-Flügen analysiert und eine Standardhöhe von 1115 ft über Grund (2000 ft über dem Meeresspiegel) festgelegt. Die folgenden Abbildungen zeigen die VFR-Flugprofile aus dem April 2021:

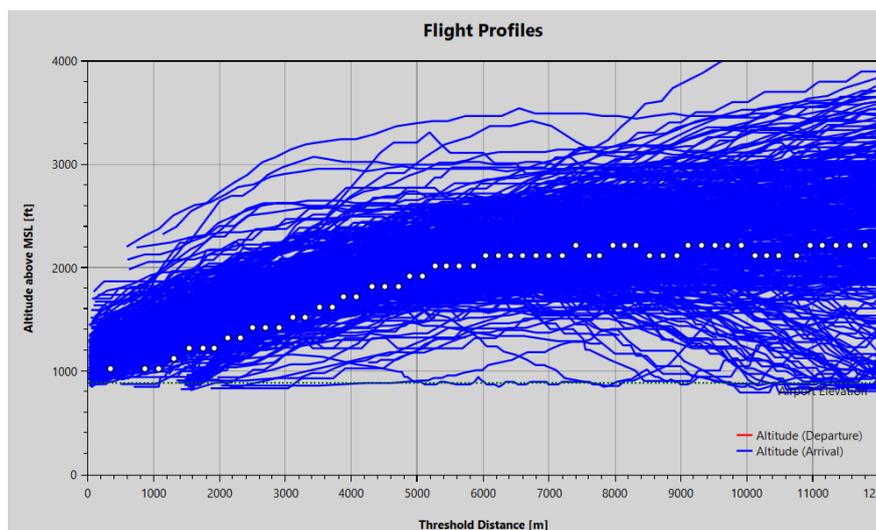


Abbildung 5: Höhenprofile der Landungen von VFR-Flügen im April 2021.

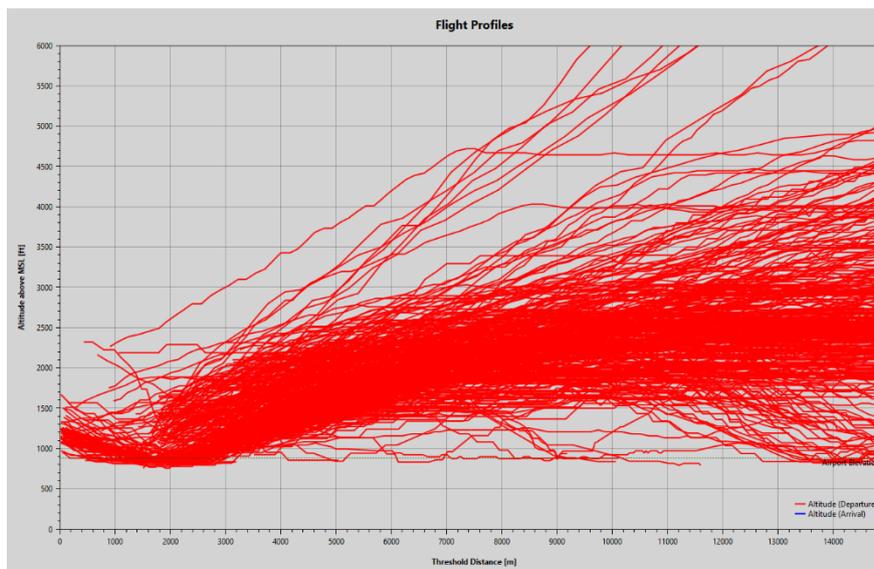


Abbildung 6: Höhenprofile der Starts von VFR-Flügen im April 2021.

Zur Vereinfachung wird für VFR-Flüge beim Abflug nur eine Phase definiert, während für IFR-Flüge zwei Flugphasen gegeben sind (Start und Steigflug).

Aufgrund der Analyse einiger repräsentativer Flüge (7 Ankünfte und 7 Abflüge) wurden durchschnittliche Lande- und Startdauern geschätzt. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Höhenprofile einer VFR-Landung und eines VFR-Starts:

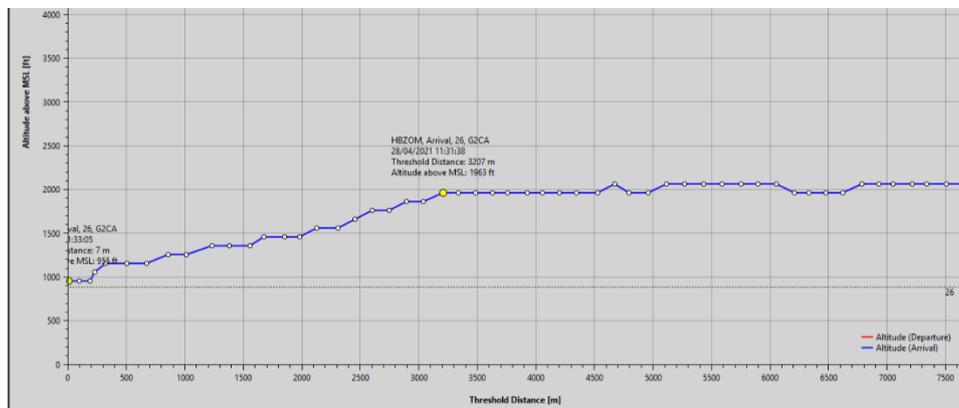


Abbildung 7: Höhenprofil einer VFR-Landung.

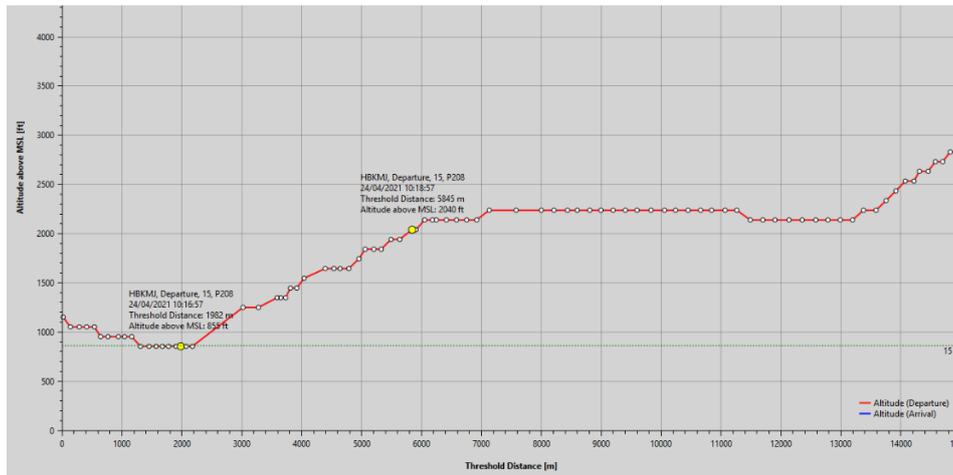


Abbildung 8: Höhenprofil eines VFR-Starts.

Für VFR-Flüge wurden folgende durchschnittliche Dauern berücksichtigt:

Phase	Durchschnittliche Dauer [s]
Landung aus einer Höhe von 1115 ft über Grund	94
Start bis in 1115 ft über Grund Inkl. 30 Sekunden Beschleunigung (Standard) auf Startbahn	140

Die folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Dauer des Rollverkehrs für VFR-Flüge:

Taxi-in [s]	Taxi-out [s]
130	373
Rollverkehr [s]	
504	



### ANHANG 3 – GESAMTEMISSIONEN DER BODENQUELLEN AUF DEM FLUGHAFEN BASEL MULHOUSE GEMÄSS INVENTARE 2015 UND 2019, IN KG

JAHR	ID-DATENBLATT	SO2	NOX	COVNM	CO	NH3	CH4	CO2	N2O	HFC	PRG	TSP	PM10	PM2,5	PM1
2019	Heizzentralen	94	13274	10397	3075	-	705	8 749 638	383	-	8 881 435	140	139	138	138
2019	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	24 834	24 834	-	-	-	-
2019	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	122 202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	3 311	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Gasverteilnetze	-	-	113	-	-	1 096	-	-	-	27 396	-	-	-	-
2019	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Bau und Renovation von Belägen	-	-	66	-	-	-	-	-	-	-	91	91	76	63
2019	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	4 093	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	1 435	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20 848	3 870	1 248	462
2019	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0	116	634	4 480	-	27	35 050	1	-	35 994	62	45	43	43
2019	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	0	0
2019	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	11	8 857	679	10 054	-	61	1 722 866	423	-	1 850 422	825	759	706	680
2019	Strassenverkehr	33	14 267	1 314	9 603	124	216	4 692 786	191	-	4 754 976	1 535	1 119	745	339
2019	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen	1 838	34 296	808	7 523	-	90	5 808 638	158	-	5 857 988	126	126	126	104
2022	Heizzentralen	60	7 222	301	2 407	-	602	6 860 959	301	-	6 965 678	108	108	108	108
2022	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	227 820	227 820	-	-	-	-
2022	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	109 088	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	1 694	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Gasverteilnetze	-	-	113	-	-	1 096	-	-	-	27 396	-	-	-	-
2022	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Bau und Renovation von Belägen	-	-	35	-	-	-	-	-	-	-	48	48	41	33
2022	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	734	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	10 075	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 190	592	191	71
2022	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0	50	184	1 265	-	8	12 736	0	-	13 026	23	14	13	12
2022	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	8	6 379	477	7 311	-	38	1 239 575	265	-	1 319 581	606	558	519	501
2022	Strassenverkehr	17	5 802	482	4 118	57	252	2 506 920	78	-	2 536 455	677	490	313	381
2022	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen	1 956	35 537	909	10 018	-	101	6 180 781	168	-	6 233 431	142	142	142	117

JAHR	ID-DATENBLATT	AS	CD	CR	CU	HG	NI	PB	SE	ZN	PCB	HCb	PCDDF	BAP	BBF	BKF	INDPY	HAP4
2019	Heizzentralen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2019	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Gasverteilnetze	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Bau und Renovation von Belägen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2019	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	-	0,00	0,00	0,01	-	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2019	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	-	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	-
2019	Strassenverkehr	0,06	0,00	0,06	9,85	0,01	0,05	3,28	0,02	11,39	0,00	-	-	0,02	0,03	0,02	0,02	-
2019	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen	-	-	0,67	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Heizzentralen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	-	-	0,00	-
2022	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Gasverteilnetze	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Bau und Renovation von Belägen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2022	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	-	0,00	0,00	0,01	-	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
2022	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2022	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	-	0,00	0,00	0,00	-	0,00	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	-
2022	Strassenverkehr	0,06	0,00	0,06	9,85	0,01	0,05	3,28	0,02	11,39	0,00	-	0,00	0,02	0,03	0,02	0,02	-
2022	Triebwerkstests von Luftfahrzeugen	-	-	0,67	-	-	-	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## ANHANG 4 – BESCHLEUNIGUNGSDAUERN DER FLUGZEUGE AUF DER STARTBAHN VOR DEM ABHEBEN, BASIEREND AUF RADAR DATEN

Flugzeugmodell	Beschleunigungsdauer [s]
B734	41
A320	26
B737	28
B753	29
B737	25
A320	28
B753	30
A320	28
B190	20
B734	29
A320	37
A320	35
A319	27
A306	23
A320	35
A320	34
B753	34
B738	32
A306	32
A320	30
A320	28
A306	36
B738	26
A306	34
A306	35
A306	37
A306	32
A306	30
B753	36
B739	26
A306	29
A306	40
B737	27
B739	30
B737	28
B739	32
CRJ9	25
B733	34
B737	32
B739	31
C525	26

Minstdauer [s]	20
Höchstdauer [s]	41
Durchschnitt	31



**Air • Climat • Energie • Santé**

Espace Européen de l'Entreprise - 5 rue de Madrid - 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73 - [contact@atmo-grandest.eu](mailto:contact@atmo-grandest.eu)

Siret 822 734 307 000 17 - APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air