



Inventar der Luftemissionen auf der Flughafenplattform EuroAirport®

Bezugsjahr 2019

VERBREITUNG

Uneingeschränkte Verbreitung zur Weiterverwendung der Daten unter folgenden Bedingungen:

- Die von ATMO Grand Est erzeugten Daten sind für die Allgemeinheit lizenzfrei («OdbL V. 1.0») 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: *Matthieu Bosansky, stellvertretender Leiter der Einheit Emissionen/Energie*
Revision: *Camille Weisse, Leiterin der Einheit Emissionen/Energie*
Genehmigung: *Cyril Pallares, Direktor*

Berichtsvorlage: COM-FE-001_6

Projektreferenz: 00586

Berichtsreferenz: EE-EN-015

Datum der Veröffentlichung: März 2022

ATMO Grand Est

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

Tel.: +33 (0)3 88 19 26 66

Mail: contact@atmo-grandest.eu

INHALT

EINLEITUNG	4
RAHMEN UND ZIEL	5
A. DIREKTE SCHADSTOFF- UND THG-EMISSIONEN	6
1. VERWENDETE METHODE UND MITTEL	6
1.1. EMISSIONSINVENTAR: GRUNDSÄTZE, DEFINITIONEN.....	6
1.2. METHODE	7
1.3. UNSICHERHEITEN DER EMISSIONSBERECHNUNG	12
1.4. BESONDERHEITEN DES VORLIEGENDEN LUFTEMISSIONSINVENTARS	13
1.4.1. Geografische Ausdehnung und räumliche Auflösung	13
1.4.2. Arten der Emissionsquellen	15
1.4.3. Zeitliche Basis und Auflösung	15
1.4.4. Besonderheiten des Inventars der Flugzeugemissionen.....	16
2. ERGEBNISSE DES INVENTARS	22
2.1. BODENEMISSIONEN (OHNE FLUGZEUGE)	22
2.1.1. Bodenemissionen total (ohne Flugzeuge)	22
2.1.2. Versauerung, Eutrophierung und photochemische Verschmutzung.....	23
2.1.3. Treibhausgasemissionen.....	29
2.1.4. Feinstaubemissionen (TSP, PM10, PM2.5, PM1)	33
2.1.5. Persistente organische Schadstoffe	36
2.1.6. Schwermetalle	39
2.2. ANTEIL DER FLUGZEUGEMISSIONEN AN DEN GESAMTEMISSIONEN DES FLUGHAFENS	40
2.3. VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT DER UMGEBUNGSZONE	45
2.3.1. Gesamtemissionen.....	46
2.3.2. Emissionen aus dem Fahrzeugverkehr	46
2.3.3. Emissionen von Verbrennungsprozessen aus stationären Quellen	48
2.4. VERGLEICH DER ERGEBNISSE MIT GRÖßEREN GEBIETEN	49
2.4.1. Mit den Gesamtemissionen des Departements und der Region.....	49
2.4.2. Mit den Emissionen der Flugzeuge in Grand Est.....	50
2.5. VERGLEICH MIT DEM LUFTEMISSIONSINVENTAR 2015	51
2.5.1. Bodenquellen (ohne Flugzeuge).....	51
2.5.2. Flugzeuge.....	53
B. INDIREKTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN	54
1. STUDIENBEREICH UND METHODE	54
1.1. ARBEITSWEG DER MITARBEITENDEN DES FLUGHAFENS BASEL-MULHOUSE	54
1.2. ARBEITSWEG DER MITARBEITENDEN VON DRITTUNTERNEHMEN	55
1.3. DIENSTREISEN DER MITARBEITENDEN DES FLUGHAFENS BASEL-MULHOUSE	55
1.4. AN- UND ABREISEN DER PASSAGIERE ZUM/VOM FLUGHAFEN	55
2. ERGEBNIS DER INDIREKTEN THG-EMISSIONEN	57
SCHLUSSFOLGERUNG	60

EINLEITUNG

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 für die Überwachung mit Zeithorizont bis 2021 ein Mehrjahresprogramm mit folgenden vier Schwerpunkten definiert:

- A. Erfüllung des Beobachtungsbedarfs
- B. Bereitstellung von Expertise und handlungsorientierten Instrumenten
- C. Aktive Berücksichtigung neu aufkommender Themen
- D. Entfaltung einer innovativen Kommunikation mit Mobilisierungspotenzial

Schwerpunkt B umfasst die Mitwirkung von ATMO Grand Est an der Ausarbeitung von Aktionsplänen für die privatwirtschaftlichen Akteure der emittierenden Sektoren (Aktion 13). In diesem Sinne steuert ATMO Grand Est sein Fachwissen und die verfügbaren Daten bei, um die Fragestellungen von Anrainerinnen und Anrainern sowie Verbänden zu beantworten (Wissensvermittlung) und den Wissensstand über die Beiträge dieser emittierenden Sektoren zu verbessern.

Direkte Schadstoff- und Treibhausgasemissionen

In den Jahren 2005, 2010 und 2016 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 und 2015 in Auftrag gegeben, um die Auswirkungen der Luftemissionen zu ermitteln und deren Quellen zu hierarchisieren.

Für 2020 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-Zyklus¹).

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.

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

Zusätzlich zu einer vollständigen Aktualisierung des Inventars der direkten Emissionen, die durch die Flughafenaktivitäten verursacht werden, strebt der Flughafen Basel-Mulhouse eine Auswertung seiner indirekten Treibhausgasemissionen (Scope 3) an, die sich aus der Mobilität des Personals und der Passagiere ergibt. Diese Auswertung ermöglicht eine erweiterte Diagnose, inwiefern die Flughafenaktivitäten klimawirksam sind, und wird in die ACA-Bewertung des Flughafens einfließen.

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:

$$Es,a,t = Aa,t \times Fs,a$$

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.²
 - 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 daher 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*

² Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, *Guide méthodologique pour l'élaboration des inventaires territoriaux des émissions atmosphériques*. www.lcsqa.org/fr/rapport/guide-methodologique-pour-lelaboration-des-inventaires-territoriaux-des-emissions

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 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	Heizzentralen
2	Klima- und Kühltechnik
3	Treibstofflagerung
4	Abgabe von Flüssigbrennstoffen und Benzin
5	Gasverteilnetze
6	Schaltanlagen (SF ₆)
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 Flughafenzonen
20	Strassenverkehr

Tabelle 1: Liste der im Inventar berücksichtigten Aktivitäten nach CITEPA-Leitfaden.

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

Gruppe	Chemischer Stoff
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	• Schwefeldioxid (SO₂) • Stickoxide (NO_x = NO + NO₂) • Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC), generell ohne Spezifizierung • Ammoniak (NH₃) • Kohlenmonoxid (CO)
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	• Methan (CH₄) • Kohlendioxid (CO₂) ohne Senken • Distickstoffmonoxid (N₂O) • Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) • Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) • Schwefelhexafluorid (SF₆)
FEINSTAUB	• Gesamtstaub (TSP) • Feinstaub mit Durchmesser unter 10 µm (PM₁₀) • Feinstaub mit Durchmesser unter 2,5 µm (PM_{2.5}) • Feinstaub Durchmesser unter 1,0 µm (PM₁)
BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN	• Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK): ○ Benzo(a)pyren (BaP) ○ Benzo(b)fluoranthren (BbF) ○ Benzo(k)fluoranthren (BkF) ○ Indeno(1,2,3)pyren (Ind(1,2,3)Py oder IndPy oder Ind(1,2,3-cd)Py) ○ Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe insgesamt (PAKinsg) in Fällen ohne Detailinformationen • Polychlorierte Biphenyle (PCB) • Hexachlorbenzol (HCB) • Dioxine und Furane (PCDD-F)
BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN	• Arsen (As) • Cadmium (Cd) • Chrom (Cr) • Kupfer (Cu) • Quecksilber (Hg) • Nickel (Ni) • Blei (Pb) • Selen (Se) • Zink (Zn)

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

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.

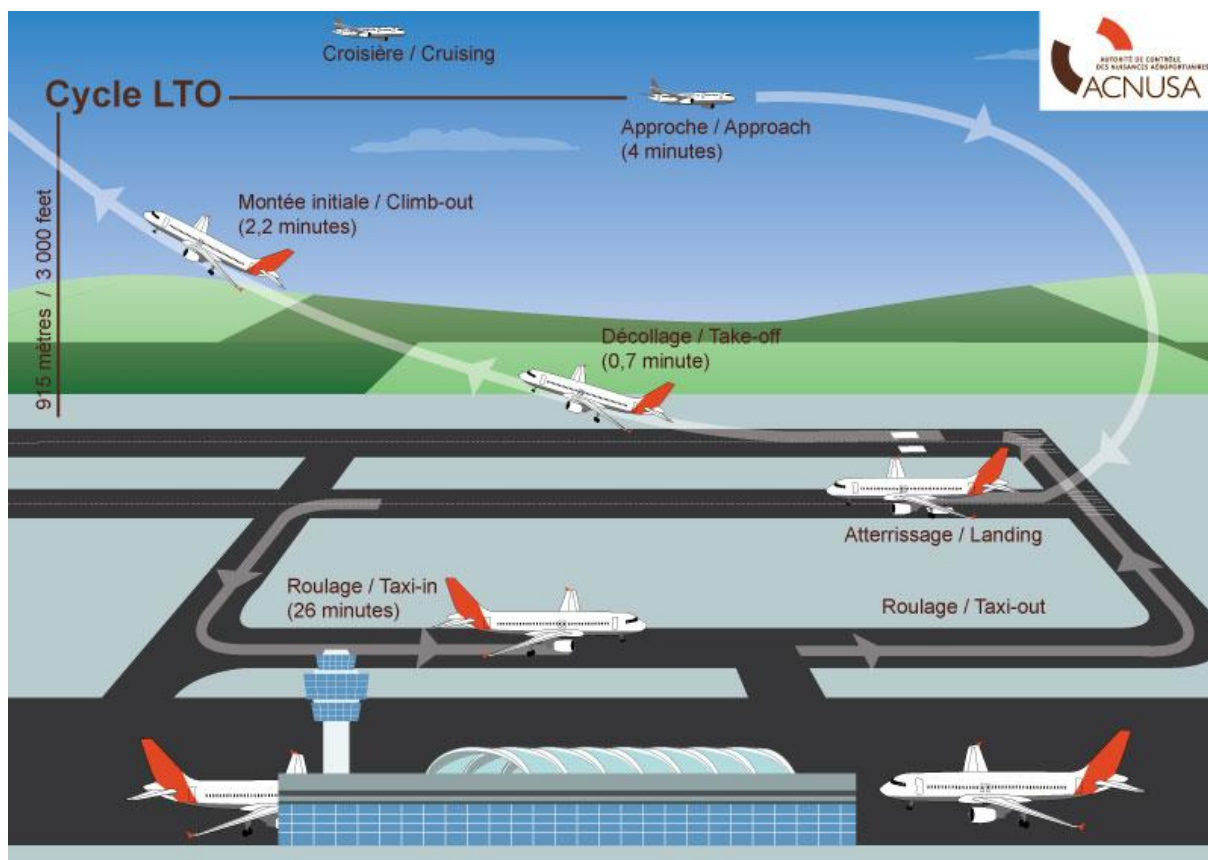


Abbildung 1: Schema der verschiedenen Phasen eines LTO-Zyklus. Quelle: ACNUSA.

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 SO₂ und CO₂ 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 als bevorzugte Erschliessungswege betreffen (vgl. Abbildung 2). Dieses Gebiet umfasst die schweizerische Zollstrasse bis zur Grenze. Für die Berücksichtigung der Emissionen aus dem Strassenverkehr beginnt die Berechnungszone beim nördlichen Kreisverkehr in der Richtung Mulhouse–Basel (ohne D12b1 und Autobahnausfahrt) und erstreckt sich bis zum zweiten südlichen Kreisverkehr, der um die Autobahnein- und -ausfahrt verlängert wurde, aber ohne die Strasse am Hellhof. Sie umfasst auch alle Parkplätze und Frachtzonen des Flughafens sowie die Ein- und Aussteigebereiche für die Passagiere. Alle Zählpunkte, die zur Berechnung des Strassenverkehrs herangezogen wurden, finden sich in Abbildung 3.

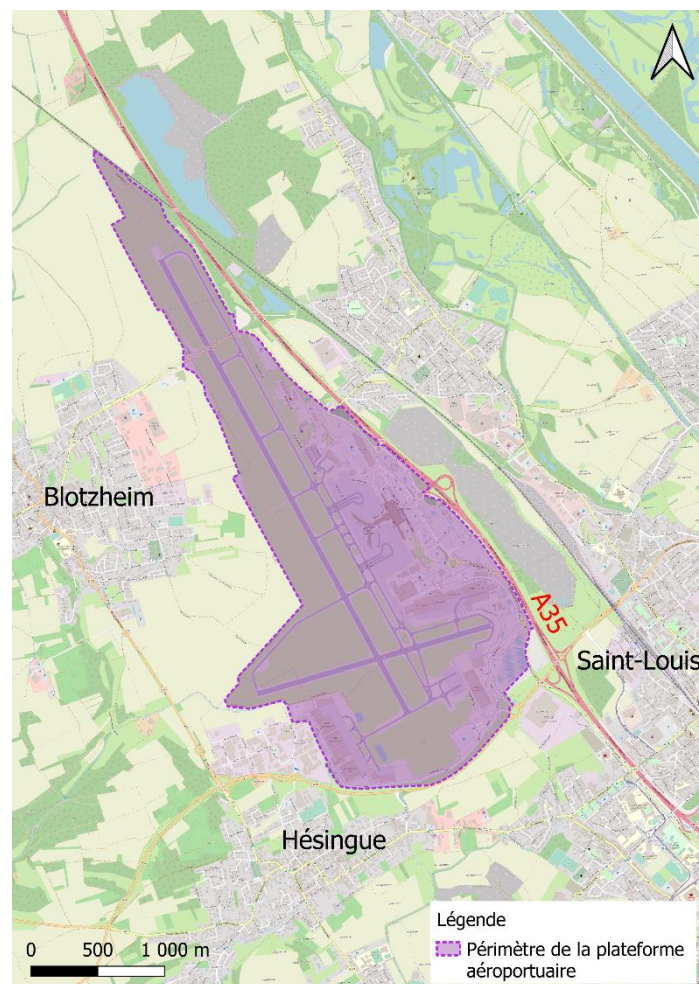


Abbildung 2: Räumliche Begrenzung des inventarisierten Gebiets für Bodenquellen (ohne Autobahn A35, die nicht über das Flughafengelände verläuft).



Abbildung 3: Zählpunkte, die für die Berechnung der flughafenbedingten Strassenverkehrsemissionen berücksichtigt wurden.

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 -abgabanlagen, 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 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 2019 erstellt. Als Zeitschritt wird das Kalenderjahr gewählt. Für jede Aktivität, für die keine Daten für 2019 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 Radardaten ermittelt. Tatsächlich spiegeln die in den ICAO-Standards vorgeschlagenen Phasendauern nicht den Stand der LTO-Zyklen am Flughafen Basel-Mulhouse wider. Die durchschnittlichen Phasendauern der IFR-Bewegungen³ finden sich in der folgenden Tabelle. Zu Vergleichszwecken werden auch die Durchschnittswerte aus den Emissionsinventaren von 2009 und 2015 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.

1.4.4.1. 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 mit knapp 32 Prozent 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).

³ 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.

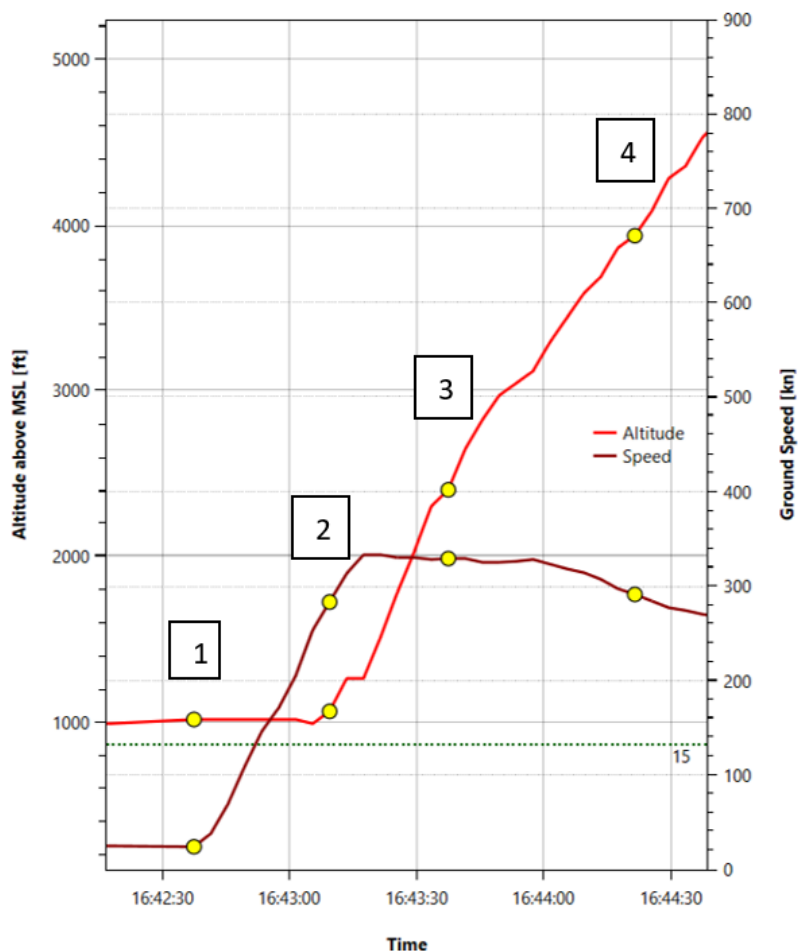


Abbildung 4: Höhen- und Geschwindigkeitsprofil eines A320.

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.

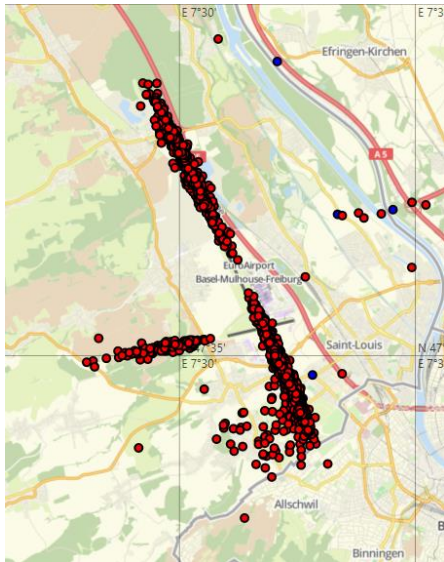


Abbildung 5: Radardaten der Starts bei 1500 ft, die zwischen dem 1. und dem 3. Januar 2019 durchgeführt wurden.

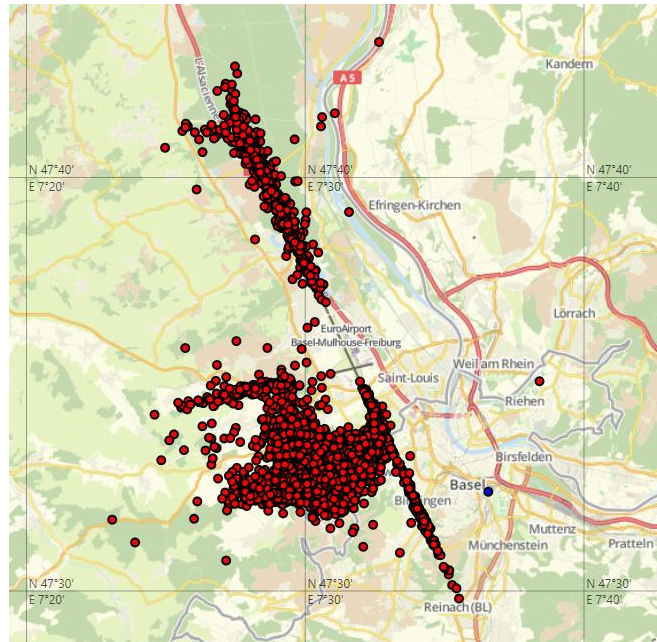


Abbildung 6: Radardaten der Starts bei 3'000 ft, die zwischen dem 1. und dem 3. Januar 2019 durchgeführt wurden.

Zu beachten ist hierbei, dass die Radardaten nicht vollständig sind und besonders im Bodennähe 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.

1.4.4.2. 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).

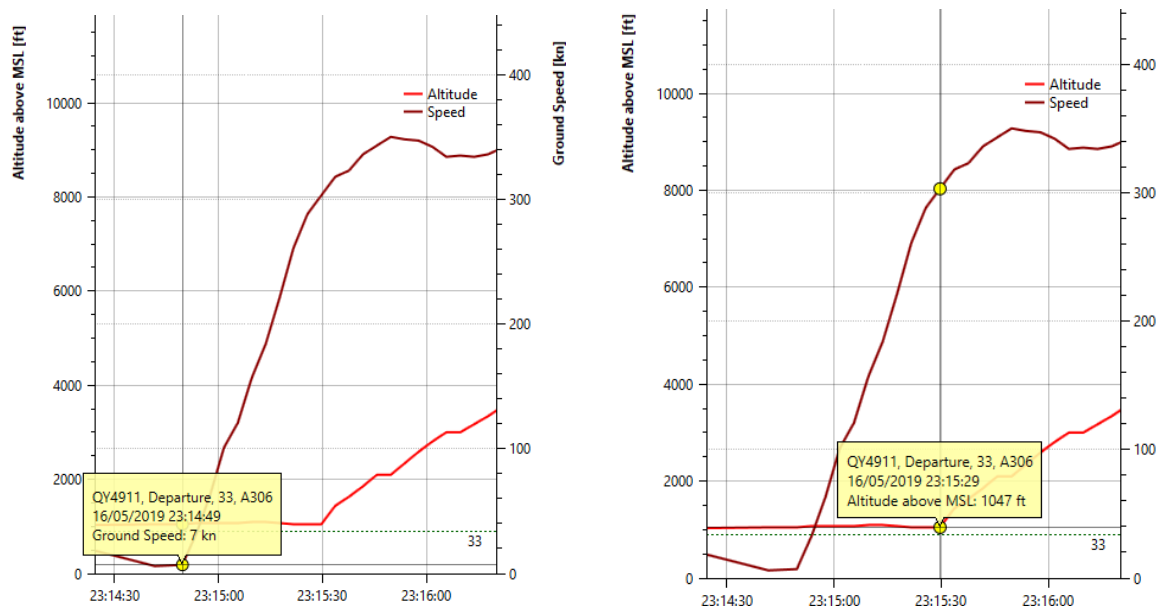


Abbildung 7: Höhen- und Geschwindigkeitsprofile eines A300-600. Die gelben Punkte bezeichnen den Zeitpunkt des Beginns der Beschleunigung (links) bzw. den Zeitpunkt des Starts (rechts).

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 3 aufgelistet.

1.4.4.3. 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	

1.4.4.4. Berücksichtigung der VFR-Flüge (Visual Flight Rules)

Im Gegensatz zu den 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:

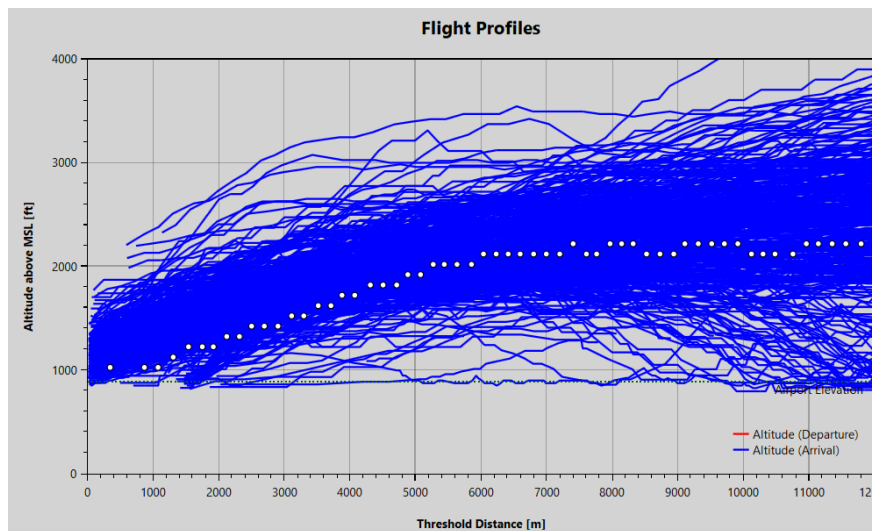


Abbildung 8: Höhenprofile der Landungen von VFR-Flügen im April 2021.

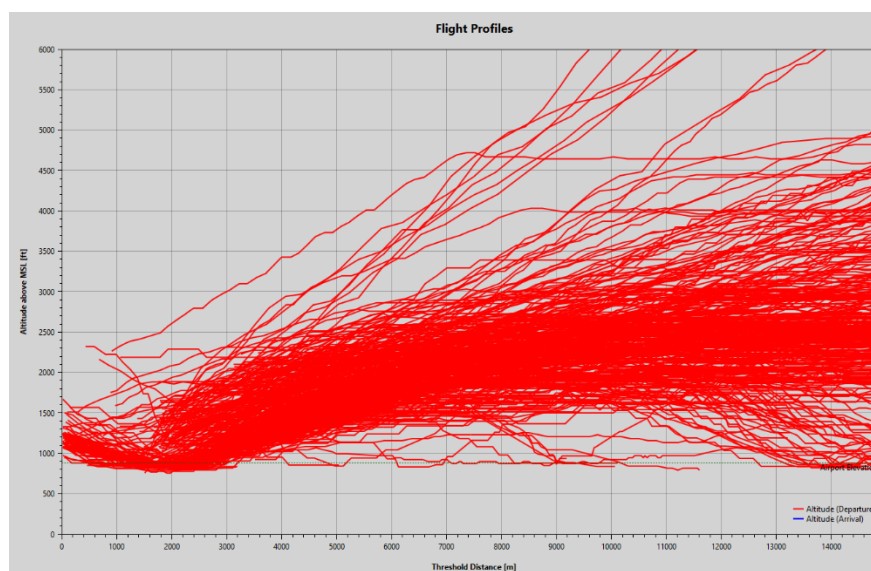


Abbildung 9: Höhenprofile der Starts von VFR-Flügen im April 2021.

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:

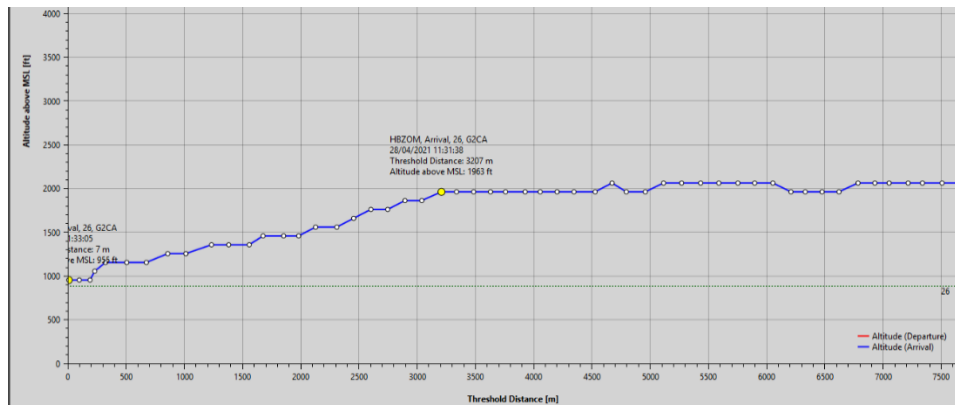


Abbildung 10: Höhenprofil einer VFR-Landung.

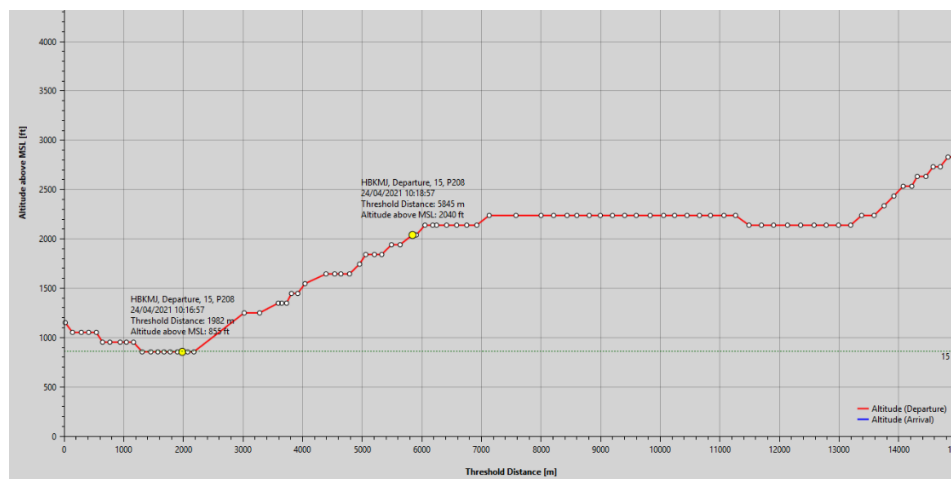


Abbildung 11: Höhenprofil eines VFR-Starts.

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	

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).

2.1.1. Bodenemissionen total (ohne Flugzeuge)

	Schadstoff	Emissionen Bodenquellen	Einheit
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	138	kg
	NO _x	36 514	kg
	NMVOC	144 281	kg
	CO	27 212	kg
	NH ₃	124	kg
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	CH ₄	2105	kg
	CO ₂	15 200 339	kg
	N ₂ O	998	kg
	FKW	24 834	kg CO ₂ e
	PFC	-	kg CO ₂ e
	SF ₆	-	kg CO ₂ e
FEINSTAUB	TSP	23 500	kg
	PM ₁₀	6023	kg
	PM _{2.5}	2958	kg
	PM ₁	1725	kg
BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN	PCB	0,003	g
	HCB	0,06	g
	PCDDF	0,0003	g
	BaP	46	g
	BbF	56	g
	BkF	46	g
	IndPy	43	g
	PAKinsg	-	g
BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN	As	59	g
	Cd	5	g
	Cr	56	g
	Cu	9855	g
	Hg	6	g
	Ni	55	g
	Pb	3278	g
	Se	16	g
	Zn	11 398	g

Tabelle 4: Gesamtemissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafengelände 2019 (ohne Flugzeuge).

Von den Fluorverbindungen wurden im Inventar nur die FKW aus der Kälteproduktion erfasst. Auf dem Flughafengelände wird kein PFC oder SF₆ 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. SO₂-Emissionen

SO₂ entsteht durch Oxidation des in fossilen Brennstoffen enthaltenen Schwefels und bildet einen aussagekräftigen Indikator für die industrielle Belastung in einer Agglomeration oder Region.

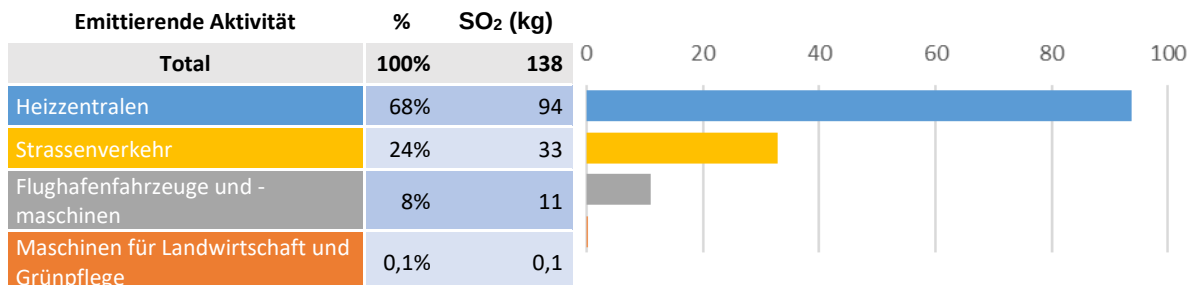


Abbildung 12: SO₂-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafengelände Basel-Mulhouse 2019.

Da es keine Anlagen gibt, die schwefelhaltige Brennstoffe verbrauchen (z. B. Schweröl, Kohle), ist die emittierte Menge relativ gering (138 kg). Sie geht hauptsächlich auf Aktivitäten von heizöl- oder dieselbetriebenen mobilen und stationären Quellen zurück. Seit Ende 2011 müssen in Frankreich alle nicht für den Strassenverkehr bestimmten Fahrzeuge einen spezifischen Diesel statt Heizöl verwenden. Dadurch nimmt der Emissionsfaktor für SO₂ 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.

Heizzentralen und Strassenverkehr sind aufgrund der Verbrennung fossiler Energieträger für praktisch alle SO₂-Emissionen auf dem Flughafen verantwortlich (94 bzw. 33 kg SO₂).

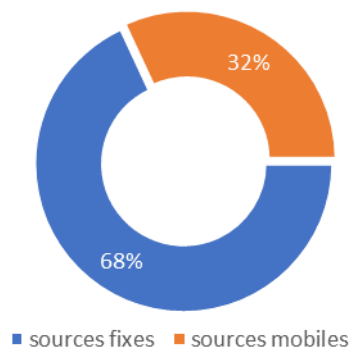
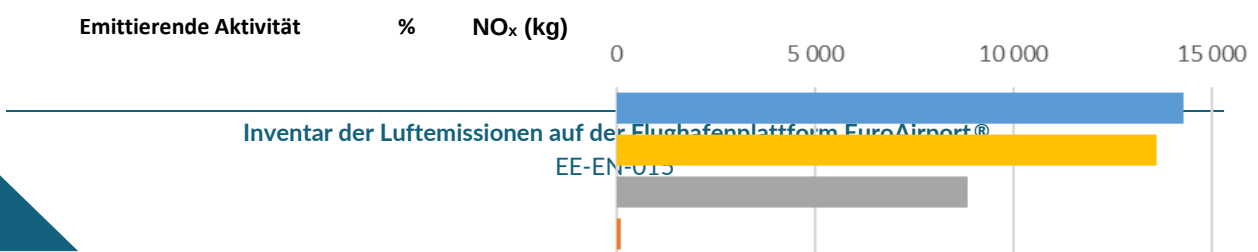


Abbildung 13: Einteilung der SO₂-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Stationäre Quellen (Heizzentralen) sind mit 68 Prozent die grössten SO₂-Emittenten. Die verbleibenden 32 Prozent Schadstoffemissionen entfallen auf alle übrigen Aktivitäten, die mobilen Quellen zuzuordnen sind.

2.1.2.2. NO_x-Emissionen



Total	100%	36 514
Strassenverkehr	39%	14 267
Heizzentralen	36%	13 274
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	24%	8857
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	<1%	116

Abbildung 14: NO_x-Emissionen aus Bodenquellen des Flughafens Basel-Mulhouse 2019.

NO_x-Emissionen entstehen bei Verbrennungsvorgängen, die mehrheitlich mit Transportaktivitäten zusammenhängen: 39 Prozent entfallen auf den Strassenverkehr. Zweitgrösster Emittent sind die Heizzentralen mit 36 Prozent. Die übrigen Schadstoffemissionen werden durch Flughafenfahrzeuge und -maschinen verursacht und in geringerem Umfang durch Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege.

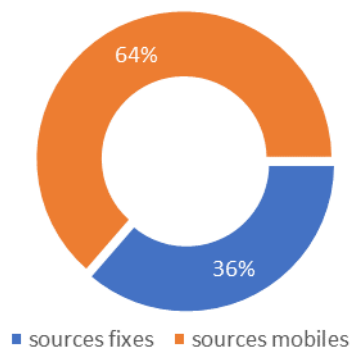


Abbildung 15: Einteilung der NO_x-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Ähnlich wie bei den Agglomerationen stammt NO_x hauptsächlich aus mobilen Quellen. Während die Heizzentralen mit ihrem Brennstoffverbrauch die zweitgrössten NO_x-Emittenten (36%) sind, zeichnen die mobilen Quellen mit allen übrigen Aktivitäten für 64 Prozent der Emissionen verantwortlich (Abbildung 15).

2.1.2.3. NMVOC-Emissionen

NMVOC werden auf verschiedenste Art ausgestossen, weshalb ihre Emissionsquellen zahlreich sind (Abbildung 16):

- 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.

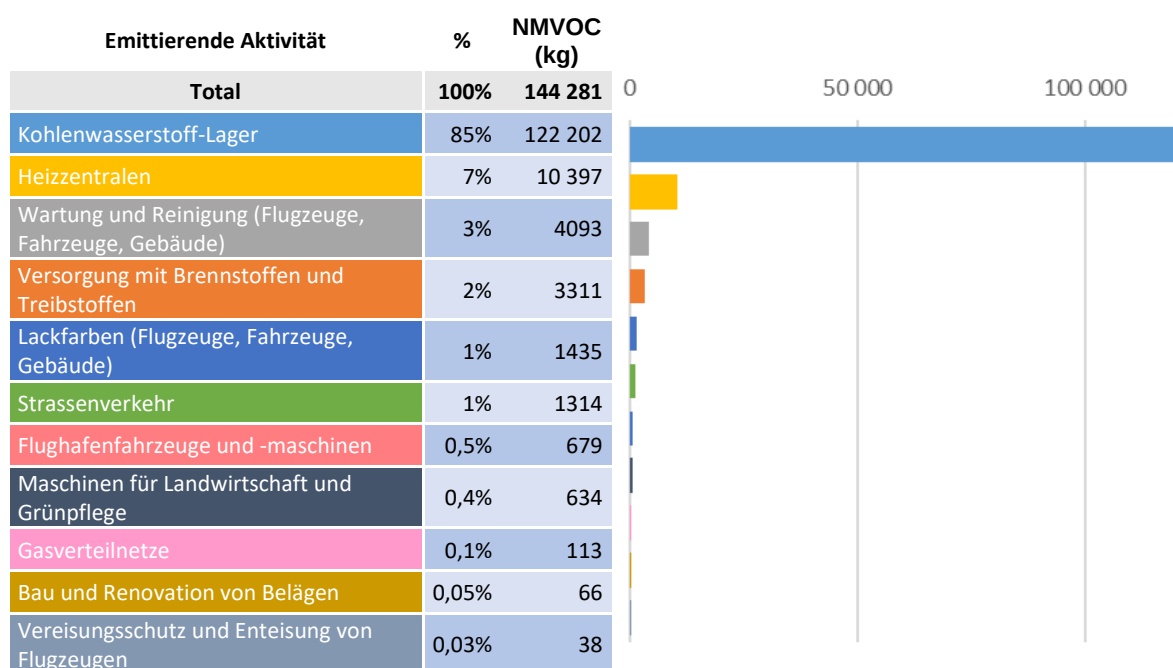


Abbildung 16: NMVOC-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Von den insgesamt 144 281 kg NMVOC-Emissionen auf dem Flughafengelände im Jahr 2019 stammt der Löwenanteil, nämlich 85 Prozent, aus der Lagerung von Kohlenwasserstoffen. Die anderen wichtigsten Verursacher von NMVOC-Emissionen sind die Verbrennung in den Heizzentralen (7%), Wartungs- und Reinigungsvorgänge (3%) sowie die Treibstoffversorgung (2%).

Hinweis: Die Studie von 2015 wies deutlich niedrigere NMVOC-Emissionen aus. Es zeigte sich jedoch, dass diese aufgrund unvollständiger Informationen zur Kohlenwasserstoff-Lagerung unterschätzt worden waren. Mit der Erhebung 2019 konnte diese Aktivität genauer berücksichtigt werden. Diese Informationen wurden in die entsprechende Neuberechnung der Emissionen einbezogen.

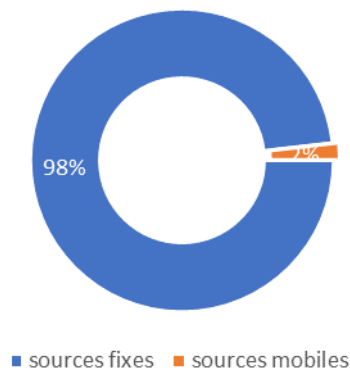


Abbildung 17: Einteilung der NMVOC-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Die Aktivitäten der stationären Quellen sind mit 98 Prozent bei weitem die grössten Verursacher. Die restlichen 2 Prozent stammen aus den mobilen Quellen.

2.1.2.4. CO-Emissionen

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

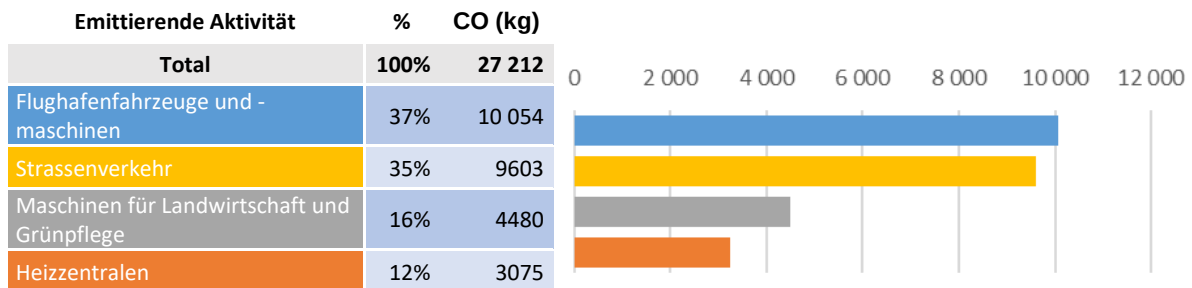


Abbildung 18: CO-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Wie SO₂ und NO_x stammt dieser Schadstoff aus emittierenden Aktivitäten der mobilen Quellen und der Heizzentralen. Hauptemittent von CO sind die Flughafenfahrzeuge und -maschinen (37% der 27,2 t Emissionen 2019). Auf den Strassenverkehr entfallen 35 Prozent der Emissionen, auf landwirtschaftliche Maschinen 16 Prozent und auf die Heizzentralen die restlichen 12 Prozent.

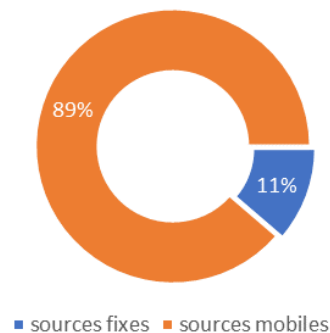


Abbildung 19: Einteilung der CO-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Insgesamt steuern die mobilen Quellen 89 Prozent der Schadstoffemissionen bei. Die stationären Quellen (ausschliesslich Heizzentralen) machen 11 Prozent der Emissionen aus.

2.1.2.5. NH₃-Emissionen

Im Inventar wurde nur eine einzige Ammoniak-Quelle (NH₃) erfasst. Die Rede ist vom 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 ₃ (kg)
Total	100%	124
Strassenverkehr	100%	124

Abbildung 20: NH₃-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Nur eine weitere Quellenart kann signifikante Mengen an NH₃ 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.

2.1.3. Treibhausgasemissionen

2.1.3.1. CO₂-Emissionen

Dieser Abschnitt ist nur den CO₂-Emissionen gewidmet. Die Gesamtheit der Treibhausgase wird in Abschnitt 2.1.3.5 GWP (THG total) beschrieben.

Sämtliche CO₂-Emissionen der auf dem Flughafengelände stattfindenden Aktivitäten hängen mit dem Verbrauch von Treib- oder Brennstoffen zusammen.

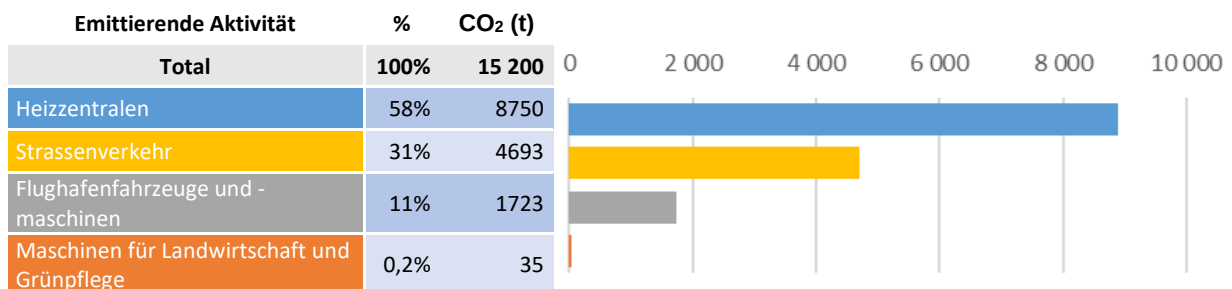


Abbildung 21: CO₂-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Die Heizzentralen sind die grösste CO₂-Quelle. Aufgrund ihres erheblichen Energieverbrauchs für den Flughafenbetrieb steuern sie 58 Prozent der CO₂-Emissionen bei. An zweiter Stelle folgt der Strassenverkehr mit 31 Prozent, von den gesamten 15 200 t.

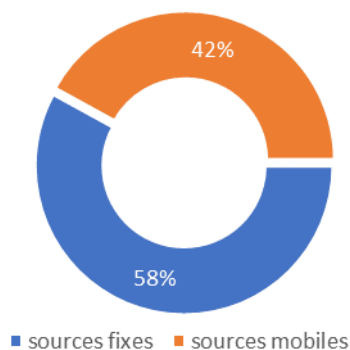


Abbildung 22: Einteilung der CO₂-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Die Heizzentralen sind die einzigen stationären Quellen der Plattform, die CO₂ ausstossen. Die stationären Quellen steuern 58 Prozent der Emissionen bei. Auf die mobilen Quellen (Strassenverkehr, Flughafen- und Landwirtschaftsfahrzeuge) entfallen 42 Prozent der Emissionen.

2.1.3.2. CH₄-Emissionen

Auf Makroebene (Agglomeration, Departement usw.) gehen die Methanemissionen grösstenteils auf landwirtschaftliche Aktivitäten zurück (enterische Fermentation und Güllewirtschaft). Diese machten 2019 in der Region Grand Est rund 69 Prozent aus.

Emittierende Aktivität	%	CH ₄ (kg)
Total	100%	2105
Gasverteilnetze	51%	1096
Heizzentralen	34%	731
Strassenverkehr	10%	216
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	3%	61
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	1%	27

Abbildung 23: CH₄-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Anders als beim CO₂ ist das Erdgasverteilnetz für die Methanemissionen der Hauptverursacher. Bei fast sechs Kilometern Leitungen auf dem Gelände werden die flüchtigen Emissionen auf 1096 kg oder 51 Prozent der insgesamt emittierten 2131 kg geschätzt. Heizzentralen verursachen 34 Prozent der Treibhausgasemissionen, gefolgt vom Strassenverkehr (10%), von Flughafenfahrzeugen und -maschinen (3%) und den Landwirtschaftsfahrzeugen (1%).

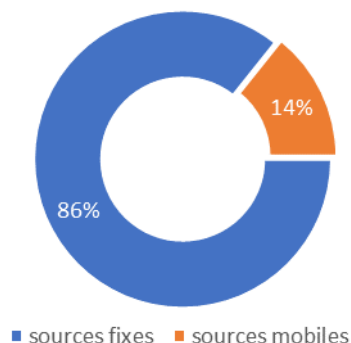


Abbildung 24: Einteilung der CH₄-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Zu den stationären Quellen, die CH₄ emittieren, gehören die Gasverteilnetze und die Heizzentralen. Sie verursachen 86 Prozent der Gesamtemissionen. Auf die mobilen Quellen entfallen 14 Prozent der Emissionen.

Hinweis: Für dieses neue Inventar wurden die im Inventar berücksichtigten Leitungslängen von 5,9 km gegenüber 7,7 km aus dem Jahr 2015 reevaluiert. Diese Differenz entspricht Erdgasleitungen, die zwar über das Flughafengelände verlaufen, aber hier keine Verteilerpunkte aufweisen. Dieser Abschnitt wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

2.1.3.3. N₂O-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 2019 rund 89 Prozent der Distickstoffmonoxid-Emissionen aus.

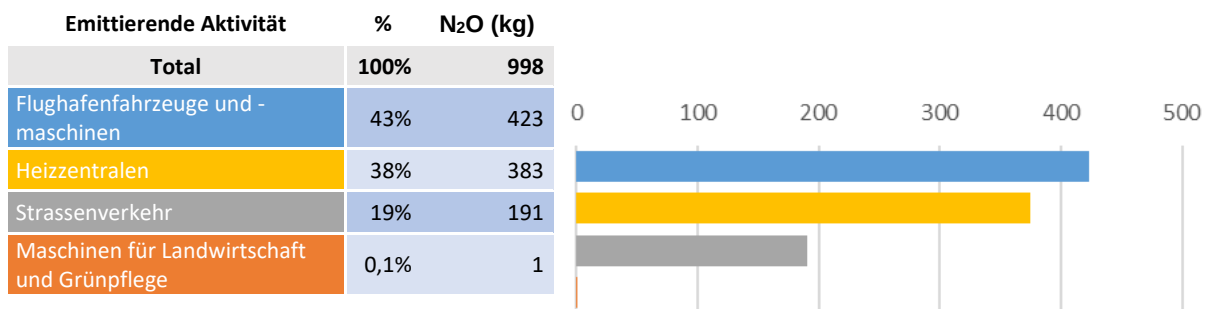


Abbildung 25: N₂O-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

In Bezug auf die Plattform sind die Flughafenfahrzeuge und -maschinen (43%) und die Heizzentralen (38%) die Hauptemittenten der insgesamt 998 kg N₂O. 19 Prozent der Gesamtemissionen gehen auf den Strassenverkehr zurück, weniger als 1 Prozent auf die übrigen Aktivitäten.

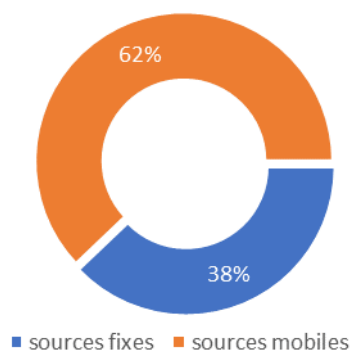


Abbildung 26: Einteilung der N₂O-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Die mobilen Quellen (Flughafenfahrzeuge und -maschinen, Strassenverkehr und Landwirtschaftsfahrzeuge) steuern 62 Prozent der N₂O-Emissionen bei. Die restlichen 38 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.), Feuerlöscher 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 CO₂e 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 CO₂-Äquivalenten ausgewiesen.

Emittierende Aktivität	%	FKW (t CO ₂ e)
Total	100%	25
Klima- und Kühltechnik	100%	25

Abbildung 27: FKW-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

2019 fanden auf der Plattform nur wenige Wartungsarbeiten statt, bei denen FKW-haltige Kühlmittel aufgefüllt werden mussten. Diese flüchtigen Emissionen belaufen sich auf 25 Tonnen CO₂e.

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 CO₂-Äquivalent (CO₂e) 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 (CO₂), Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃). Üblicherweise wird CO₂ 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 (in CO₂e) fallen für das Inventar der Plattform relativ gering aus. CO₂ ist für 97,6 Prozent der THG-Emissionen verantwortlich.

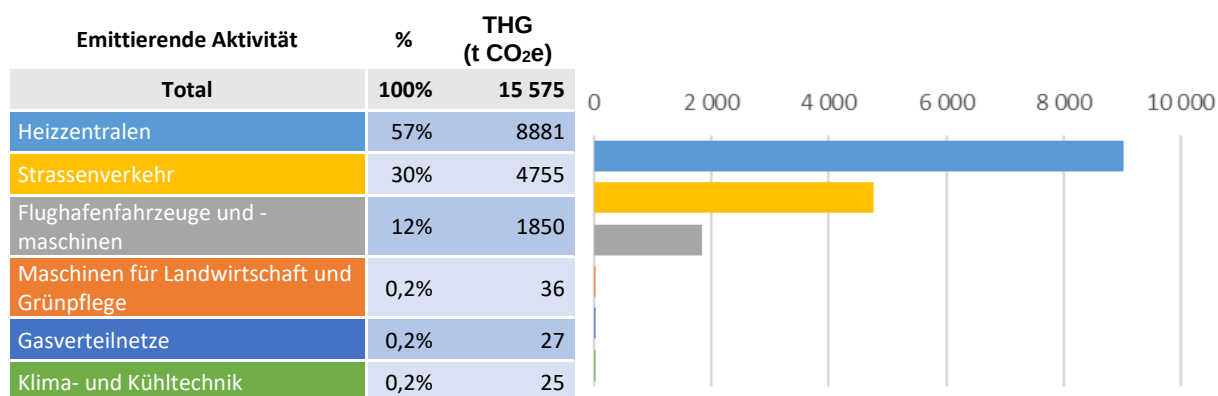


Abbildung 28: THG-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Nach Aktivitäten aufgeschlüsselt sind die 15,6 kt CO₂e THG-Emissionen des Inventars überwiegend auf die Verbrennung der Heizzentralen zurückzuführen (57%). Der Strassenverkehr ist der zweitwichtigste Emittent (30%), gefolgt von den Flughafenfahrzeugen und -maschinen (12%). Die restlichen 0,6 Prozent entfallen auf landwirtschaftliche Maschinen, Erdgasverteilnetze sowie Klimaanlage und Kühlung.

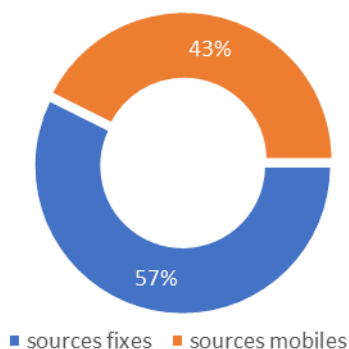
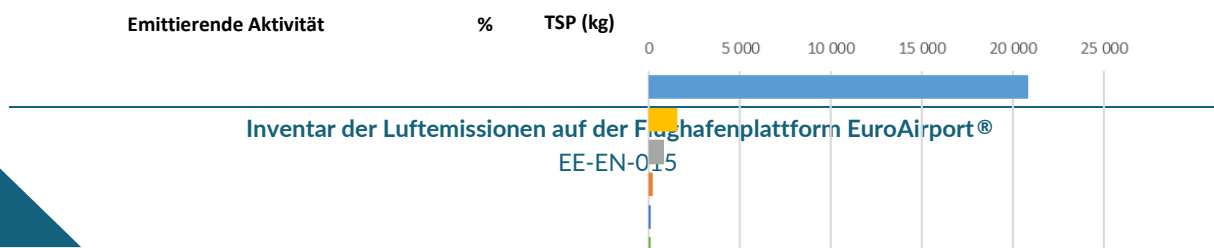


Abbildung 29: Einteilung der THG-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Stationäre Quellen (hauptsächlich Heizzentralen) verursachen mit 58 Prozent etwas über die Hälfte der THG-Emissionen des Flughafens, gegenüber 42 Prozent für mobile Quellen.

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



Total	100%	23 500
Baustellen und Bauen	89%	20 848
Strassenverkehr	7%	1535
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	4%	825
Heizzentralen	0,6%	140
Bau und Renovation von Belägen	0,4%	91
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0,3%	62
Industriemaschinen	0,0001%	0,02

Emittierende Aktivität	%	PM10 (kg)
Total	100%	6023
Baustellen und Bauen	64%	3870
Strassenverkehr	18%	1119
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	13%	759
Heizzentralen	2,3%	139
Bau und Renovation von Belägen	1,5%	91
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0,7%	45
Industriemaschinen	0,0002%	0,01

Emittierende Aktivität	%	PM2.5 (kg)
Total	100%	2958
Baustellen und Bauen	42%	1248
Strassenverkehr	25%	745
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	24%	706
Heizzentralen	4,7%	138
Bau und Renovation von Belägen	2,6%	76
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	1,5%	43
Industriemaschinen	0,0002%	0,01

Emittierende Aktivität	%	PM1 (kg)
Total	100%	1725
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	39%	680
Baustellen und Bauen	27%	462
Strassenverkehr	20%	339
Heizzentralen	8,0%	138
Bau und Renovation von Belägen	3,6%	63
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	2,5%	43
Industriemaschinen	0,00006%	0,001

Abbildung 30: Feinstaubemissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

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

Der Anteil der Emissionsquellen variiert nämlich nach Grössenklassen. Einige Quellen emittieren mehrheitlich grobe und mittlere Stäube (TSP und PM10), während andere vor allem feinere ausstossen (PM2.5 und PM1).

Abbildung 30 zeigt, dass Baustellen und das Bauen eine der wichtigsten Quellen für TSP (89% der Emissionen) und PM10 (64%) sind. Bei dieser Aktivität fallen durch den Umschlag von Bauschutt und Baustoffen grosse Staubmengen an. Der Anteil dieser Quelle nimmt mit zunehmender Feinheit der Stäube ab.

Im Gegenzug generieren Aktivitäten wie die Verbrennung von Treib- und Brennstoffen tendenziell feinere Staubemissionen. Der Eintrag des Strassenverkehrs und der Flughafenfahrzeuge und -maschinen nimmt daher mit abnehmender Grösse der emittierten Stäube zu. So verursachen etwa die Flughafenfahrzeuge und -maschinen 4 Prozent der TSP, aber 39 Prozent der PM1.

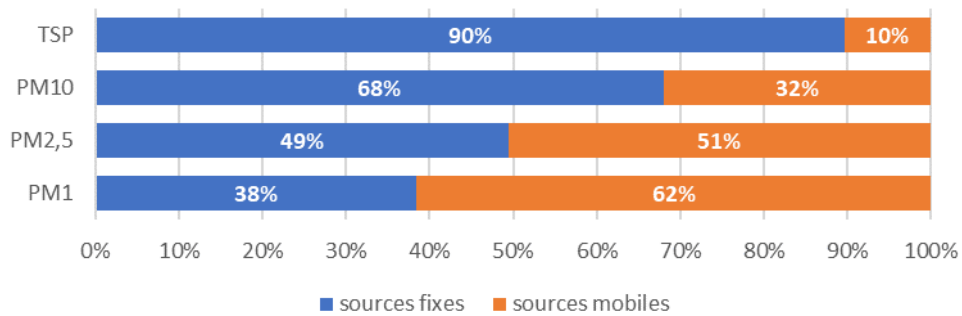


Abbildung 31: Einteilung der Feinstaubemissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Die Feinstaubemissionen werden wie oben nach Quellenart (stationär und mobil) gruppiert und betrachtet. Die stationären Feinstaubquellen (Baustellen und Bauen, Heizzentralen) machen 90 Prozent der gesamten Feinstaubemissionen aus. Mit sinkender Feinstaubgrösse nimmt ihr Anteil progressiv bis auf 38 Prozent (PM1) ab. Im Gegensatz dazu verursachen die Emissionen aus mobilen Quellen, für die vor allem die Flughafenfahrzeuge und -maschinen und der Strassenverkehr stehen, 10 Prozent der TSP und 62 Prozent der PM1.

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 in Übereinstimmung mit der EWG-Verordnung Nr. 315/93 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.

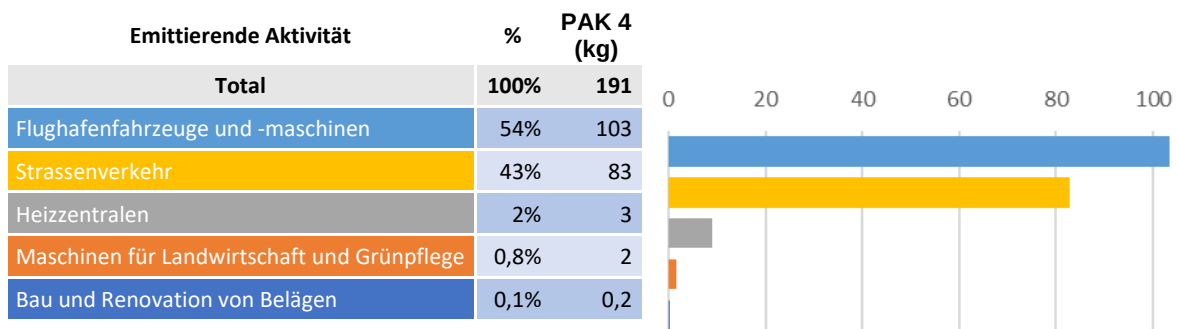


Abbildung 32: PAK 4-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

2019 betrugen die PAK 4-Emissionen des Flughafens insgesamt 191 g. Die wichtigsten PAK-Emittenten sind die Flughafenfahrzeuge und -maschinen mit 54 Prozent der Schadstoffe. Der zweitgrösste Anteil stammt aus dem Strassenverkehr (43%). Die restlichen 3 Prozent Emissionen entfallen auf Heizzentralen, landwirtschaftliche Maschinen sowie Massnahmen zu Bau und Renovation von Belägen (Asphalteinbau). Der letzte Verursacher, der von untergeordneter Bedeutung ist, hängt als einziger PAK-Emittent nicht unmittelbar mit dem Energieverbrauch zusammen. Der Energieverbrauch für die Asphaltherstellung erfolgt ausserhalb des Flughafenstandorts und damit ausserhalb des Studienbereichs.

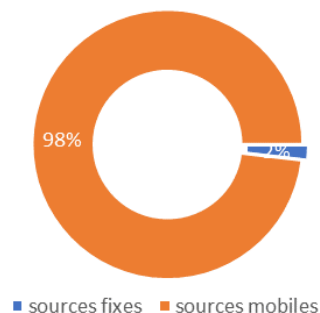


Abbildung 33: Einteilung der PAK 4-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

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)
Total	100%	3,3
Heizzentralen	97,2%	3,2
Strassenverkehr	2,8%	0,1

Abbildung 34: PCB-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

2019 betrugen die Emissionen von polychlorierten Biphenylen (PCB) auf der Plattform 3,3 mg. Sie stammten praktisch ausschliesslich aus Heizzentralen.

2.1.5.3. HCB-Emissionen

Emittierende Aktivität	%	HCB (mg)
Total	100%	56,6
Flughafenfahrzeuge und -maschinen	97%	55,1
Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	3%	1,5

Abbildung 35: HCB-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Flughafen- und Landwirtschaftsfahrzeuge sind die beiden Emissionsquellen von Hexachlorbenzol (HCB) auf dem Flughafen. 97 Prozent der 57 mg HCB-Emissionen entfallen auf die Flughafenfahrzeuge und -maschinen.

2.1.5.4. PCDD-F-Emissionen

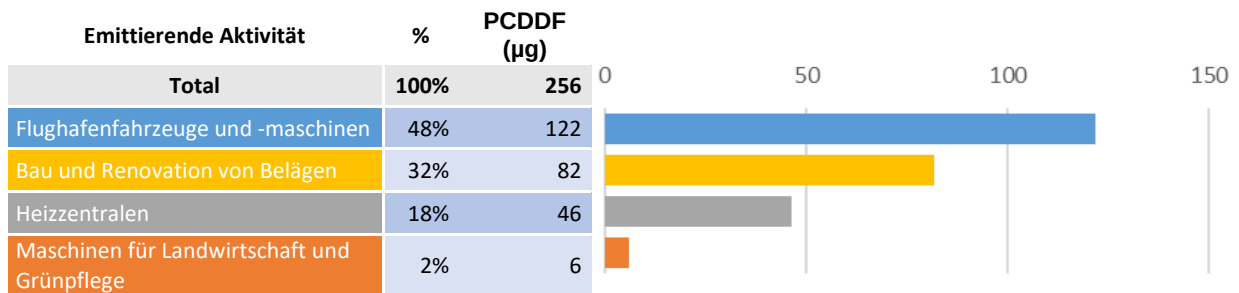


Abbildung 36: PCDD-F-Emissionen aus Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

2019 wurden auf der Plattform 256 Mikrogramm polychlorierte Dibenzo(p)dioxine und Dibenzofurane (PCDD-F) emittiert. Hauptverursacher sind mit 122 µg oder 48 Prozent der Emissionen die Flughafenfahrzeuge und -maschinen. An zweiter bzw. dritter Stelle folgen Bau und Renovation von Belägen (Asphalteinbau) sowie Heizzentralen (32 bzw. 18% der Schadstoffemissionen). Die landwirtschaftlichen Maschinen tragen 2 Prozent der Emissionen bei.

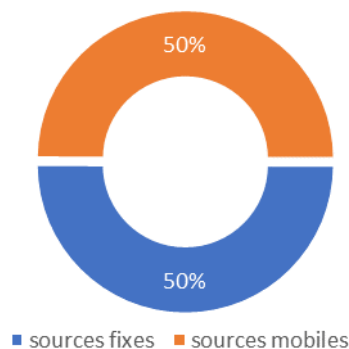


Abbildung 37: Einteilung der PCDD-F-Emissionen nach Art der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Stationäre und mobile Emissionsquellen sind mit jeweils 50 Prozent gleich stark an den PCDD-F-Emissionen beteiligt. Wie für die PAK bilden die Aktivitäten Bau und Renovation (Asphalteinbau) die einzige Emissionsquelle, die nicht mit dem Energieverbrauch zusammenhängt.

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	Total	Einheit
As	59 420	-	-	59 420	mg
Cd	4 525	0,1	39	4564	mg
Cr	55 887	1	214	56 102	mg
Cu	9 847 744	23	7 513	9 855 280	mg
Hg	5 910	-	-	5910	mg
Ni	54 798	1	311	55 110	mg
Pb	3 277 754	-	-	3 277 754	mg
Se	15 621	0,1	39	15 660	mg
Zn	11 393 340	14	4 418	11 397 771	mg

Tabelle 5: Schwermetallemissionen nach Aktivitätsquelle auf der Flughafenplattform 2019.

Die Schwermetallemissionen stammen also überwiegend – je nach Metall zu 99,1 bis 100 Prozent – aus dem Strassenverkehr. Die beiden übrigen Quellen (Flughafen- und Landwirtschaftsfahrzeuge) sind für 0 bzw. 0,8 Prozent der Emissionen verantwortlich.

2.2. Anteil der Flugzeugemissionen an den Gesamtemissionen des Flughafens

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
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	138	22 945	23 082	kg
	NO _x	36 514	264 309	300 823	kg
	NMVOC	144 281	16 313	160 594	kg
	CO	27 212	250 439	277 651	kg
	NH ₃	124	-	124	kg
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	CH ₄	2 105	1813	3 917	kg
	CO ₂	15 200 339	72 275 795	87 476 135	kg
	N ₂ O	998	2019	3 017	kg
	FKW	24 834	-	24 834	kg CO ₂ e
	PFC	-	-	-	kg CO ₂ e
	SF ₆	-	-	-	kg CO ₂ e
FEINSTAUB	TSP	23 500	28 972	52 472	kg
	PM ₁₀	6 023	20 010	26 033	kg
	PM _{2.5}	2 958	14 542	17 499	kg
	PM ₁	1 725	7667	9 391	kg
BELASTUNG MIT PERSISTENTEN ORGANISCHEN SCHADSTOFFEN	PCB	0,003	-	0,00	g
	HCB	0,06	-	0,06	g
	PCDDF	0,0003	-	0,0003	g
	BaP	46	-	46	g
	BbF	56	-	56	g
	BkF	46	-	46	g
	IndPy	43	-	43	g
	PAKinsg	-	-	-	g
	As	59	-	59	g
BELASTUNG MIT SCHWERMETALLEN	Cd	5	-	5	g
	Cr	56	58 502	58 558	g
	Cu	9 855	-	9 855	g
	Hg	6	-	6	g
	Ni	55	-	55	g
	Pb	3 278	15 633	18 911	g
	Se	16	-	16	g
	Zn	11 398	-	11 398	g

Tabelle 6: Gesamtemissionen (Bodenquellen + Flugzeuge) auf dem Flughafengelände 2019.

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

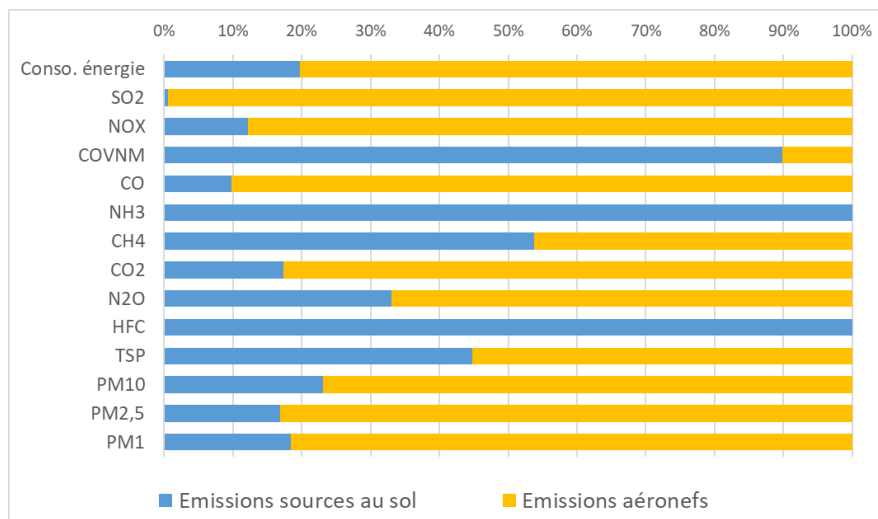


Abbildung 38: Einteilung der wichtigsten Schadstoffemissionen nach Bodenquellen und Flugzeugen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

Emissionen mehrheitlich von Flugzeugen:

Ohne Bodenquellen, die schwefelhaltige Brennstoffe wie Schweröl oder Kohle verbrauchen, sind die Flugzeuge die Hauptquelle der SO₂-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 SO₂, NO_x und CO sowie Feinstaub (TSP, PM₁₀, PM_{2.5} und PM₁).

Knapp 80 Prozent des Feinstaubs mit einer Korngrösse von unter 10 Mikrometer (PM₁₀, PM_{2.5} und PM₁) sind auf die Flugzeuge zurückzuführen. Hauptursache ist auch hier der erhebliche Treibstoffverbrauch.

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 (CH₄, CO₂ und N₂O) werden grösstenteils durch die Flugzeuge verursacht. Bei Methan ist jedoch das Erdgasverteilnetz als Bodenquelle Hauptverursacher. An den N₂O- und CO₂-Emissionen aus Bodenquellen sind vor allem die Flughafenfahrzeuge und -maschinen, die Heizzentralen und der Strassenverkehr beteiligt.

Die NH₃- 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.

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 ₂	5,1 (22%)	7,1 (31%)	4,7 (21%)	3,2 (14%)	2,9 (13%)	22,9 (100%)	t
NO _x	45,2 (17%)	30,6 (12%)	106,5 (40%)	56,6 (21%)	25,5 (10%)	264,3 (100%)	t
NM VOC	0,7 (4%)	14,2 (87%)	0,3 (2%)	0,1 (1%)	0,9 (6%)	16,3 (100%)	t
CO	19,9 (8%)	202,2 (81%)	11,5 (5%)	1,9 (1%)	14,9 (6%)	250,4 (100%)	t
NH ₃	-	-	-	-	-	-	-
CH ₄	0,1 (4%)	1,6 (87%)	0 (2%)	0 (1%)	0,1 (6%)	1,8 (100%)	t
CO ₂	16 (22%)	22,3 (31%)	15 (21%)	10 (14%)	9,1 (13%)	72,3 (100%)	kt
N ₂ O	0,4 (22%)	0,6 (31%)	0,4 (21%)	0,3 (14%)	0,3 (13%)	2 (100%)	t
FKW	-	-	-	-	-	-	-
PFC	-	-	-	-	-	-	-
SF ₆	-	-	-	-	-	-	-
TSP	2,4 (8%)	21,3 (74%)	2,3 (8%)	1,5 (5%)	1,4 (5%)	29 (100%)	t
PM ₁₀	2,4 (12%)	12,4 (62%)	2,3 (11%)	1,5 (8%)	1,4 (7%)	20 (100%)	t
PM _{2.5}	2,1 (14%)	8,1 (56%)	1,9 (13%)	1,3 (9%)	1,2 (8%)	14,5 (100%)	t
PM ₁	1,7 (22%)	2,4 (31%)	1,6 (21%)	1,1 (14%)	1 (13%)	7,7 (100%)	t
Cr	12,9 (22%)	18 (31%)	12,1 (21%)	8,1 (14%)	7,3 (13%)	58,5 (100%)	kg
Pb	4 (25%)	4,1 (26%)	6,7 (43%)	0,9 (6%)	0 (0%)	15,6 (100%)	kg

Tabelle 7: Unterscheidung der Flugzeugemissionen nach LTO-Phase und APU auf dem Flughafen 2019.

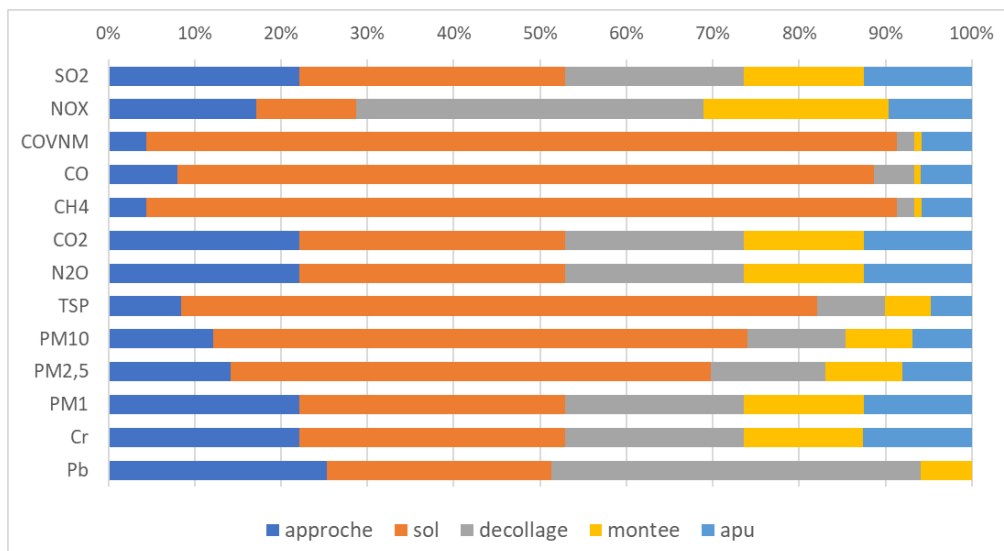


Abbildung 39: Beitrag der einzelnen Phasen des LTO-Zyklus und der APUs von Flugzeugen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019.

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 Bremsscheiben und der Bremsbeläge der Fahrwerke. Darauf entfallen 62 Prozent der TSP, 45 Prozent der PM10, 35 Prozent der PM2.5 und 6 Prozent des Black Carbon (aber kein PM1).

		SO ₂	NO _x	NM VOC	CO	TSP	PM10	PM2.5	PM1
IFR	Total IFR	22 908	264 077	16 006	236 710	27 073	19 051	13 979	7654
	Anflug	5060	45 129	697	17 948	2436	2436	2056	1691
	APUs	2875	25 425	941	14 895	1384	1384	1168	961
	Start	4731	106 329	239	2564	2278	2278	1923	1581
	Steigflug	3182	56 649	146	1895	1532	1532	1293	1063
	Boden	7059	30 545	13 984	199 408	19 443	11 421	7539	2359
VFR	Total VFR	37	232	307	13 730	1899	958	563	12
	Anflug	7	50	22	1981	3	3	3	2
	APUs	4	28	3	43	2	2	2	1
	Start	16	126	84	8904	8	8	6	5
	Steigflug	-	-	-	-	-	-	-	-
	Boden	10	29	198	2802	1886	945	552	3
Gesamttotal		22 945	264 309	16 313	250 439	28 972	20 010	14 542	7667

		CH ₄	CO ₂	N ₂ O	Pb	Cr
IFR	Total IFR	1778	72 159 309	2016	3	58
	Anflug	77	15 939 486	445	1	13
	APUs	105	9 057 814	253		7
	Start	27	14 904 057	416	1	12
	Steigflug	16	10 021 797	280	1	8
	Boden	1554	22 236 154	621	1	18
VFR	Total VFR	34	116 486	3	13	0
	Anflug	2	21 939	1	3	0
	APU	0	13 650	0		0
	Start	9	49 378	1	6	0
	Steigflug	-	-	-	-	-
	Boden	22	31 519	1	3	0
Gesamttotal		1813	72 275 795	2019	16	59

Tabelle 8: Unterscheidung der Flugzeugemissionen in Kilogramm nach LTO-Phase und Flugtyp (IFR bzw. VFR) auf dem Flughafen 2019.

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.

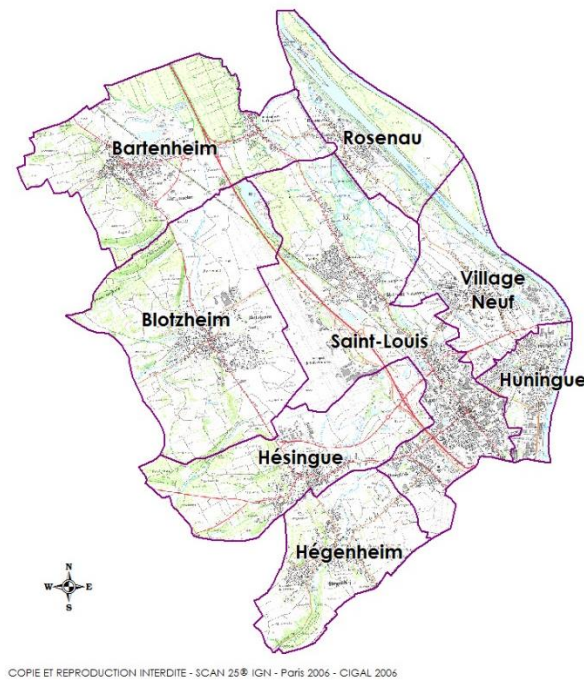


Abbildung 40: Karte der Umgebungszone des Flughafens Basel-Mulhouse.

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) 20 Aktivitäten, die potenziell Luftschadstoffe emittieren. Gemäss den Berechnungen und den früher vorgestellten Ergebnissen stehen dabei fünf Aktivitäten im Vordergrund:

- Strassenverkehr (reservierte Zone und öffentliche Zone)
- Spezielle Flughafenfahrzeuge und -maschinen
- Brennstoffverbrauch der Heizzentralen
- Kohlenwasserstoff-Lagerung
- 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 2019 (t/Jahr)	Total Emissionen Flughafen (Bodenquellen + Flugzeuge) 2019 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	35	23	66%
	NO _x	682	301	44%
	NM VOC	573	161	28%
	CO	1340	278	21%
	NH ₃	75	0,1	0,2%
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	254 347	88 498	35%
	CH ₄	218	3,9	1,8%
	CO ₂	229 583	87 476	38%
	N ₂ O	24	3,0	12%
	FKW	12 102	25	0%
	PFC	-	-	-
	SF ₆	135,4	-	-
FEINSTAUB	TSP	283	52	19%
	PM ₁₀	138	26	19%
	PM _{2.5}	86	17	20%
	PM ₁	65	9	15%

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 SO₂- und NO_x-Emissionen entsprechen 66 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 12 bis 38 Prozent der übrigen Schadstoffemissionen (Feinstaub, CO, NM VOC und CO₂) in der Umgebungszone.

Für CH₄ gehen nur 1,8 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. Die auf dem Flughafen zurückgelegte Fahrstrecke beträgt 23 Millionen Kilometer. Der Strassenverkehr in der Umgebungszone legt 3,6 Milliarden Kilometer zurück.

Der Strassenverkehr der Umgebungszone umfasst auch den flughafenbedingten Verkehr (insb. auf der A35) für die Zu- und Wegfahrt von der Plattform (Passagiere und Personal).

	Schadstoff	Emissionen Strassenverkehr UZ 2019 (t/Jahr)	Emissionen Fahrzeuge Flughafen 2019 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	1	0,03	6%
	NO _x	281	14	5%
	NMVOC	70	1,3	2%
	CO	257	10	4%
	NH ₃	3	0,1	4%
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	84 648	4755	6%
	CH ₄	2	0,2	12%
	CO ₂	81 523	4693	6%
	N ₂ O	3	0,2	7%
	FKW	2296	-	-
	PFC	-	-	-
	SF ₆	-	-	-
FEINSTAUB	TSP	23	1,5	7%
	PM ₁₀	17	1,1	7%
	PM _{2.5}	12	0,7	6%
	PM ₁	7	0,3	5%

Tabelle 10: Emissionen des Strassenverkehrs auf dem Flughafen Basel-Mulhouse 2019 und in der Umgebungszone 2019, Vergleich.

Die Strassenverkehrsemissionen auf der Plattform sind im Vergleich zu denjenigen in der Umgebungszone relativ gering und betragen je nach Schadstoff zwischen 2 und 12 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 2019 (t/Jahr)	Emissionen Heizzentralen Flughafen 2019 (t/Jahr)	% Flughafen / UZ
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	14	0,1	1%
	NO _x	76	13	17%
	NM VOC	82	10	13%
	CO	671	3,1	0,5%
	NH ₃	11	-	-
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	78 179	8881	11%
	CH ₄	33	0,7	2%
	CO ₂	77 088	8750	11%
	N ₂ O	0,9	0,4	43%
	FKW	-	-	-
	PFC	-	-	-
	SF ₆	-	-	-
FEINSTAUB	TSP	38	0,1	0,4%
	PM ₁₀	36	0,1	0,4%
	PM _{2.5}	35	0,1	0,4%
	PM ₁	35	0,1	0,4%

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 43 Prozent der verbrennungsbezogenen Emissionen des Wohn- und Dienstleistungssektors in der UZ.

Der mit 43 Prozent auffallend hohe Anteil N₂O-Emissionen des Flughafens geht in Wirklichkeit auf eine abweichende Erhebungsmethode zurück. In der Berechnung der Emissionen der Heizzentralen des Flughafens beträgt der N₂O-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 N₂O-Emissionen von 0,015 t/Jahr ergeben, was nur 1,7 Prozent der verbrennungsbezogenen Emissionen im Wohn- und Dienstleistungssektor der UZ entspricht.

Die NO_x- und NM VOC-Emissionen aus den Heizzentralen des Flughafens sind für 17 bzw. 13 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 CO₂-Emissionen, von denen der Flughafen im Wohn- und Dienstleistungssektor der UZ 11 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, SO₂ 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) 2019 (t/Jahr)	Total Emissionen Haut-Rhin 2019 (t/Jahr)	% Flughafen / Haut-Rhin	Total Emissionen Grand Est 2019 (t/Jahr)	% Flughaf en / Grand Est
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCH E VERSCHMUTZUNG	SO ₂	23	702	3,3%	8934	0,3%
	NO _x	301	9289	3,2%	68 881	0,4%
	NM VOC	161	9038	1,8%	67 160	0,2%
	CO	278	26 268	1,1%	233 616	0,1%
	NH ₃	0,1	3781	0,003%	70 188	0,0002%
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	88 498	5 485 910	1,6%	45 378 491	0,2%
	CH ₄	3,9	8858	0,04%	188 938	0,002%
	CO ₂	87 476	4 733 959	1,8%	35 006 467	0,2%
	N ₂ O	3,0	1196	0,3%	14 567	0,02%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF ₆)	25	174 218	0,01%	1 307 758	0,002%
FEINSTAUB	TSP	52	5506	1,0%	89 008	0,1%
	PM ₁₀	26	2566	1,0%	31 001	0,1%
	PM _{2.5}	17	1766	1,0%	16 604	0,1%
	PM ₁	9	1407	0,7%	11 923	0,1%

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 0,003 bis 3,3 Prozent. Den höchsten Anteil verzeichnen SO₂ und NO_x mit 3,3 bzw. 3,2 Prozent. Auf Feinstaub entfällt rund 1 Prozent der Emissionen.

Auf Ebene der Region Grand Est machen die Flughafenaktivitäten global nur einen geringen Anteil der Emissionen aus; den Höchstwert verzeichnet NO_x mit 0,4 Prozent.

2.4.2. Mit den Emissionen der Flugzeuge in Grand Est

Schadstoff		Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2019 (t/Jahr)	Emissionen Flugzeuge Grand Est 2019 (t/Jahr)	% Basel- Mulhouse / Grand Est
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	23	32	71%
	NO _x	264	368	72%
	NM VOC	16	36	45%
	CO	250	866	29%
	NH ₃	-	-	-
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	72 923	103 261	71%
	CH ₄	2	4	45%
	CO ₂	72 276	102 211	71%
	N ₂ O	2	3	63%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF ₆)	-	25	-
FEINSTAUB	TSP	29	42	69%
	PM ₁₀	20	29	70%
	PM _{2.5}	15	20	72%
	PM ₁	8	11	70%

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 60 bis 72 Prozent der Schadstoffe SO₂, NO_x, TSP, PM₁₀, PM_{2.5} und PM₁. Der Anteil des Flughafens an den CO- und NMVOC-Emissionen liegt zwischen 29 und 45 Prozent.

Bei den THG-Emissionen (GWP, CO₂, CH₄ und N₂O) tragen die auf der Plattform abgefertigten Flugzeuge 71, 71, 45 bzw. 63 Prozent zu den Gesamtemissionen der Flugzeuge der Region Grand Est bei.

2.5. Vergleich mit dem Luftemissionsinventar 2015

2.5.1. Bodenquellen (ohne Flugzeuge)

Bei der Erstellung des neuen Inventars für den Flughafen Basel-Mulhouse 2019 wurden die Dateneinträge des vorherigen Inventars 2015 übernommen und in die Berechnungen einbezogen. Dank der für 2019 erhobenen Informationen konnten einige unvollständige oder ungenaue Daten von 2015 berichtigt werden. Das 2019 für den Strassenverkehr verwendete detaillierte Berechnungsinstrument (Circul'Air) wurde nachträglich auch auf die gesamten Daten 2015 angewendet. Damit verfügt der Flughafen Basel-Mulhouse, ausgenommen der Emissionen der LTO-Zyklen, die 2019 präzisiert wurden, über zwei Inventare mit identischer Berechnungsmethode. So lassen sich die beiden Inventare methodisch also vergleichen. Doch weist die Datenerhebung in den Flughafenunternehmen systembedingte Grenzen auf:

- Die Rücklaufquoten der beiden Datenerhebungen waren unterschiedlich: 26 Prozent (2019) bzw. 37 Prozent (2015). So war die Rücklaufquote 2020 (für 2019) niedriger als 2016 (für 2015). Dies erklärt sich aus dem eingeschränkten Betrieb der Unternehmen auf der Plattform während der Gesundheitskrise. Allerdings fielen die Antworten 2020 vollständiger aus.
- Da die beiden Inventare einige Jahre auseinander liegen, haben bei den Unternehmen nicht unbedingt die gleichen Personen auf die Fragebögen geantwortet.
- Es ist auch denkbar, dass für ein und denselben Fragebogen der zwei Inventare nicht dieselbe Antwort gegeben wurde.
- Auch können sich die Indikatoren, die den Befragten jahresweise zur Verfügung stehen, ändern.

Schadstoff		Emissionen Bodenquellen 2019 (t/Jahr)	Emissionen Bodenquellen 2015 (t/Jahr)	Entwicklung 2019/2015
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	0,14	0,12	12%
	NO _x	37	36	1%
	NM VOC	144	139	4%
	CO	27	25	10%
	NH ₃	0,1	0,2	-30%
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	15 575	14 391	8%
	CH ₄	2,1	2,0	3%
	CO ₂	15 200	14 030	8%
	N ₂ O	1,0	0,7	34%
	FLUORVERBINDUNGEN (FKW, PFC, SF ₆)	25	87	-71%
FEINSTAUB	TSP	24	27	-12%
	PM ₁₀	6,0	6,5	-7%
	PM _{2.5}	3,0	3,0	-3%
	PM ₁	1,7	1,8	-2%

Tabelle 14: Gesamtemissionen der Bodenquellen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse in Bezug auf die Inventarjahre 2015 und 2019, Vergleich.

Allgemein liegen den beiden Inventarjahren die gleichen Grössenordnungen zugrunde. 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 2015 und 2019.

Für die Schadstoffe SO₂, NO_x, NMVOC, CO, CH₄, CO₂ und N₂O wurde zwischen 2015 und 2019 ein Anstieg der Emissionen um 1 bis 34 Prozent festgestellt. Einige dieser Schadstoffemissionen werden weitgehend durch den Energieverbrauch verursacht:

- Der Verbrauch der Heizzentralen (grösster Energieverbraucher des Flughafens) nahm um 3 Prozent zu. Da in beiden Inventaren ein relativ ähnlicher Energie-Mix verwendet wurde, entwickelten sich die Emissionen mehrerer Schadstoffe (CO, CO₂, CH₄, N₂O, PM) parallel zum Verbrauch.
- Zweitgrösster Verbraucher ist der Strassenverkehr. Das Verkehrswachstum führte zwischen 2015 und 2019 zu 15 Prozent mehr Treibstoffverbrauch. Diese Tendenz ist auch für die Emissionen von SO₂, CH₄, N₂O und CO₂ festzustellen. Dagegen ist bei den NO_x-, NMVOC- und CO-Emissionen eine Abnahme festzustellen, weil der Fahrzeugpark tendenziell weniger umweltschädliche Motoren aufweist.
- Drittgrösster Energieverbraucher sind die am Flughafen eingesetzten Spezialfahrzeuge und -maschinen. Der Verbrauch und die Emissionen mehrerer Schadstoffe haben im Durchschnitt um 30 bis 40 Prozent zugenommen. 2015 wurden 153 Flughafenfahrzeuge und -maschinen gezählt, 2019 waren es 164. Die Tendenz zu steigenden Emissionen stimmt mit der Flughafenaktivität überein (Flug- und Passagierzahl), doch die zwecks Berechnung übermittelten stündlichen Verbrauchswerte und Betriebszeiten bilden teilweise grobe Schätzungen der Unternehmen mit entsprechend hoher Unsicherheit.

Andere Schadstoffemissionen wie NH₃, Fluorverbindungen und Feinstaub haben zwischen den beiden Inventaren tendenziell abgenommen.

- Die Emissionen von NH₃, von Feinstaub PM_{2.5} und PM₁ aus dem Strassenverkehr sind zurückgegangen. Dieser Trend erklärt sich damit, dass der Fahrzeugpark zwischen 2015 und 2019 energieeffizienter geworden ist (Motoren mit effizienterer Verbrennung, mehr Fahrzeuge mit Teilchenfilter).
- In puncto Feinstaubemissionen geben die Aktivitäten Baustelle und Bauen den Takt an. Diese Emissionen entwickeln sich direkt proportional zum Umfang der im Inventarjahr durchgeführten Bauarbeiten. 2019 verursachten diese Aktivitäten 15 Prozent weniger Feinstaubemissionen (hauptsächlich TSP und PM₁₀) als noch 2015.
- Die Emissionen von Fluorverbindungen sind zwischen 2015 und 2019 um 71 Prozent zurückgegangen. Auf dem Flughafen wurden nur die in den Kälteproduktionsanlagen verwendeten FKW erfasst. Diese Emissionen werden anhand der Erfassung der Fluidauffüllungen (Äquivalente der realen flüchtigen Emission von flüssigem FKW der Anlage) bei den Wartungsvorgängen verbucht. Diese Auffüllungen finden nur sporadisch statt. 2019 wurden bei den Wartungsvorgängen niedrigere Mengen nachgefüllt als 2015 (14 kg bzw. 26 kg).

2.5.2. Flugzeuge

Wie erläutert, bot das Inventar 2019 dem Flughafen Basel-Mulhouse die Gelegenheit, eine präzise, gezielte Methode für die Berücksichtigung der Flugzeugemissionen einzuführen. Die Datenerhebung lieferte fein aufgeschlüsselte Informationen zur Identifizierung der in jedem Flugzeug verwendeten Motoren und zur spezifischen Dauer der einzelnen LTO-Phasen.

Die nachstehende Grafik zeigt die Ergebnisse des Flugzeuginventars 2019, das eigens für diese Studie erstellt wurde (sog. detaillierte Methode) sowie die Ergebnisse des jährlich von ATMO Grand Est durchgeführten Inventars (sog. Standardmethode) für 2019 und 2015.

Schadstoff		Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2019 (t/Jahr) Detaillierte Methode	Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2019 (t/Jahr) Standardmethode	Emissionen Flugzeuge Basel- Mulhouse 2015 (t/Jahr) Standardmethode
VERSAUERUNG, EUTROPHIERUNG, PHOTOCHEMISCHE VERSCHMUTZUNG	SO ₂	23	20	18
	NO _x	264	208	181
	NMVOC	16	17	19
	CO	250	243	233
	NH ₃	-	-	-
BEITRAG ZUM TREIBHAUSEFFEKT	GWP ₂₀₀₇	72 923	64 528	57 756
	CH ₄	1,8	2	2
	CO ₂	72 276	63 947	57 228
	N ₂ O	2	2	2
	FKW	-	-	-
	PFC	-	-	-
	SF ₆	-	-	-
FEINSTAUB	TSP	29	27	26
	PM10	20	18	17
	PM2.5	15	13	12
	PM1	8	7	6

Tabelle 15: Flugzeugemissionen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse zwischen den Inventaren 2019 (detaillierte Methode) sowie 2019 und 2015 (Standardmethode), Vergleich.

Die Ergebnisse der Standardmethode zeigen für die meisten Schadstoffe zwischen 2015 und 2019 einen Anstieg der Emissionen um 4 bis 12 Prozent. Nur die CH₄- und die NMVOC-Emissionen sind um 6 Prozent zurückgegangen. Der insgesamt steigende Trend ist auf die intensivere Flughafenaktivität zurückzuführen: 2015 wurden 94 000 Flugbewegungen verzeichnet, 2019 bereits 99 000, d. h. 5 Prozent mehr.

Der Vergleich der Ergebnisse 2019 (detaillierte Methode) mit den Ergebnissen 2019 (Standardmethode) lässt gleiche Grössenordnungen ersehen, wobei die detaillierte Methode generell um 3 bis 27 Prozent (durchschnittlich +9%) höhere geschätzte Werte ergibt. Der Hauptgrund der Zunahme liegt in der Dauer der LTO-Phasen «Steigflug» und «Start», die um 26 Sekunden bzw. 18 Sekunden länger sind. Da in diesen Phasen mehr Energie verbraucht wird, fallen die Schätzungen der Schadstoffemissionen entsprechend höher aus.

B. INDIREKTE TREIBHAUSGASEMISSIONEN

1. STUDIENBEREICH UND METHODE

Inventare zu indirekten Emissionen betreffen ausschliesslich Treibhausgasemissionen.

Der berücksichtigte Studienbereich der Aktivitäten kann im Umfang sehr weit gefasst sein und eine ganze Reihe von Aktivitäten einbeziehen:

- vorgelagerte Aktivitäten für die Herstellung und Bereitstellung von Gütern und Energie sowie Dienstleistungen, die für die Aktivität der juristischen Person erforderlich sind
- nachgelagerte Aktivitäten, die durch den Eigenbetrieb der juristischen Person verursacht werden (Fahrten/Reisen, Lebensende von Gütern und Verbrauchsmaterialien usw.)

Dieser Studienbereich muss im Vorfeld bestimmt werden und im Einklang mit den Verantwortlichkeiten und Massnahmen stehen, welche die juristische Person für ihr Klimaschutzmanagement eingeleitet hat.

Im Rahmen des ACA-Prozesses (Airport Carbon Accreditation) hat sich der Flughafen Basel-Mulhouse für die Bewertung der indirekten THG-Emissionen aus Arbeitsweg/Dienstreisen der Mitarbeitenden und An-/Abreisen der Passagiere entschieden. Genauer wurde der Studienbereich anhand der folgenden vier Positionen definiert:

- Arbeitsweg der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse (*Domicile-travail_EAP*);
- Arbeitsweg der Mitarbeitenden von Drittunternehmen des Flughafens (*Domicile-travail_Plateforme*);
- Dienstreisen der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse (*Déplacements_PRO_EAP*);
- An- und Abreisen der Passagiere zum/vom Flughafen (*Passenger_Placements*). Die Emissionen der Passagiere während der LTO-Zyklen und der Reiseflugphasen der Flugzeuge sind in dieser Position nicht erfasst.

Wie beim Inventar der direkten Emissionen gilt als Referenzjahr 2019.

1.1. Arbeitsweg der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse

Zur Erfassung der Emissionen dieser Position wurden verschiedene Informationen über die Mitarbeitenden des Flughafens Basel Mulhouse zusammengestellt:

- die Wohngemeinden der Mitarbeitenden in der Schweiz, in Frankreich bzw. in Deutschland;
- der Modalsplit der Mitarbeitenden (Arbeitsweg/Dienstreisen) nach Wohnsitzland;
- die Mitarbeitenden, die im öffentlichen Verkehr anreisen;
- der Anteil der Teilzeitmitarbeitenden;
- die Anzahl der Fahrten pro Mitarbeiter/in und Tag;
- die Anzahl der Arbeitstage im Jahr 2019;
- die Auslastung der Fahrzeuge.

Ausgehend davon wurden Einheitsdistanzen für das Erreichen des Flughafens von den Wohngemeinden, Bahnhöfen und Busbahnhöfen ermittelt. Diese Distanzen wurden mit anderen Informationen abgeglichen, womit sich die gesamten zurückgelegten Distanzen pro Verkehrsträger ermitteln liessen.

Land	Auto	Zug	Bus
Frankreich	4 050 665	185 556	17 792

Schweiz	339 588	171 668	56 256
Deutschland	4693	0	1383
Total	4 394 945	357 225	75 431

Tabelle 16: Gesamtdistanzen pro Verkehrsträger, die 2019 für den Arbeitsweg der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse zurückgelegt wurden (in km).

1.2. Arbeitsweg der Mitarbeitenden von Drittunternehmen

Zur Erfassung der Emissionen dieser Position wurden verschiedene Informationen über die Mitarbeitenden zusammengestellt, die auf dem Flughafen arbeiten:

- die Anzahl der Mitarbeitenden jedes Unternehmens, die auf der Plattform arbeiten;
- der Modalsplit der Mitarbeitenden nach Wohnsitzland;
- die jeweiligen Anteile der in der Schweiz, Frankreich bzw. Deutschland wohnhaften Mitarbeitenden des Flughafens;
- die durchschnittliche Distanz des Arbeitswegs eines/einer Mitarbeitenden nach Wohnsitzland (Schweiz, Frankreich bzw. Deutschland). Diese Information, die in den Statistiken zu den Mitarbeitenden von Drittunternehmen nicht bereitsteht, wurde aus den durchschnittlichen Entfernungen übernommen, die anhand der Informationen zu den Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse berechnet wurden;
- die Anzahl Fahrten pro Mitarbeiter/in und Tag;
- die Anzahl Arbeitstage 2019;
- die Auslastung der Fahrzeuge.

Land	Auto	Zug	Bus
Frankreich	52 569 564	6 649 283	637 558
Schweiz	8 033 377	4 061 027	1 330 798
Deutschland	1 115 668	0	328 798
Total	61 718 609	10 710 310	2 297 154

Tabelle 17: Gesamtdistanzen, die 2019 pro Verkehrsträger für den Arbeitsweg der Mitarbeitenden von Drittunternehmen des Flughafens zurückgelegt wurden (in km).

1.3. Dienstreisen der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse

Diese Position bezieht sich auf Dienstreisen der Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse, d. h. ausschliesslich im Rahmen der Arbeit unternommene Fahrten ohne Arbeitsweg. Zur Bestimmung der 2019 zurückgelegten Distanzen pro Verkehrsträger wurden folgende Informationen erfasst:

- die gefahrenen Kilometer von Privatautos, die für Dienstreisen genutzt wurden;
- die Kosten in Euro für Zug- und Flugreisen, unterschieden zwischen Frankreich und der Schweiz;
- die durchschnittlichen Kilometerkosten, unterschieden nach Zug Frankreich, Zug Schweiz und Flugzeug.

Die mit dem Zug und dem Flugzeug zurückgelegten Distanzen wurden auf der Grundlage von Durchschnittstarifen pro Entfernungseinheit geschätzt.

	Auto	Zug Frankreich	Zug Schweiz	Flugzeug
Zurückgelegte Kilometer	91 969	127 670	504	680 862

Tabelle 18: Gesamtdistanzen, die 2019 pro Verkehrsträger für Dienstreisen von Mitarbeitenden des Flughafens Basel-Mulhouse zurückgelegt wurden (in km).

1.4. An- und Abreisen der Passagiere zum/vom Flughafen

Diese Position der indirekten Emissionen erfasst die An-/Abreisen der Passagiere zum und vom Flughafen. Die Flugzeug-Emissionen werden nicht hier erfasst, sondern in den direkten Emissionen der Flugzeuge während der LTO-Zyklusphasen (vgl. **2.2 Anteil der Flugzeugemissionen** an den Gesamtemissionen des Flughafens).

Für die Schätzung der Emissionen dieser Position wurden folgende Daten erhoben:

- der Modalsplit der An-/Abreisen der Passagiere nach Herkunfts- und Zielland (Schweiz, Frankreich und Deutschland);
- Herkunft und Ziel der Passagiere, die über den Flughafen gereist sind;
- der Anteil der Bahn- und Busfahrgäste an den ÖV-Nutzenden;
- die Gesamtzahl der Passagiere, die 2019 über die Plattform gereist sind;
- der Auslastungsgrad der Autos;
- die Berücksichtigung der Fahrten von Begleitpersonen.

Im Folgenden sind die zurückgelegten Distanzen nach Verkehrsträger sowie Herkunfts- und Zielland ausgewiesen. Der Verkehrsträger «Transferdienst» entspricht den Shuttle-Bussen der Rheinkreuzfahrtangebote, die Passagiere am Flughafen abholen und wieder zurückbringen.

Land	Auto	Taxi	Transferdienst	Zug	Bus
Frankreich	98 710 432	17 180 873	4 207 619	33 097 598	3 677 511
Schweiz	89 524 986	35 783 936	5 333 215	153 384 266	17 042 696
Deutschland	45 640 650	8 677 216	3 706 759	39 349 181	4 372 131
Total	233 876 067	61 642 025	13 247 593	225 831 045	25 092 338

Tabelle 19: Gesamtdistanzen pro Verkehrsträger 2019 für Passagiere, die vom/zum Flughafen Basel-Mulhouse abfahren/ankommen (in km).

2. ERGEBNIS DER INDIREKTEN THG-EMISSIONEN

Die THG-Emissionen wurden anhand der oben dargelegten Schätzungen zu den zurückgelegten Distanzen sowie einer Reihe verkehrsträgerspezifischer Emissionsfaktoren berechnet. Alle Faktoren stammen aus der «Base Carbone» der ADEME, einem Referenzwerk für Emissionsfaktoren für THG-Bilanzen und -Diagnosen. In dieser Studie wurden folgende Emissionsfaktoren berücksichtigt.

Verkehrsträger	Emissionsfaktor	Einheit
PKW	0,17800	kg CO ₂ e/km
Mittelgrosser Bus (alle Kraftstoffe)	0,13700	kg CO ₂ e/Pkm
Zug Deutschland	0,06680	kg CO ₂ e/Pkm
Zug Frankreich	0,01327	kg CO ₂ e/km
Zug Schweiz	0,00374	kg CO ₂ e/Pkm
Flugzeug	0,10200	kg CO ₂ e/Pkm

Tabelle 20: Emissionsfaktoren, die für die Berechnung der THG-Emissionen von Mitarbeitenden und Passagieren des Flughafens Basel-Mulhouse berücksichtigt wurden (Quelle: «Base Carbone»).

Distanzen (km)	
Auto	361 723 616
Zug	237 026 752
Bus	40 712 516
Flugzeug	680 862

Tabelle 21: Gesamtdistanzen pro Verkehrsträger für Fahrten/Reisen der Mitarbeitenden und Passagiere des Flughafens Basel-Mulhouse 2019. (Die Flugdistanzen beziehen sich nur auf die Geschäftsreisen der Mitarbeitenden des Unternehmens EuroAirport.)

Die Resultate werden in CO₂-Äquivalent (CO₂e) angegeben, welche die Emissionen aller Treibhausgase zusammenfasst (CO₂, CH₄, N₂O und fluorierte Verbindungen).

Die gesamten indirekten THG-Emissionen der vom Flughafen Basel-Mulhouse verursachten Fahrten/Reisen (Mitarbeitende und Passagiere) belaufen sich 2019 auf **73 704 Tonnen CO₂e**.

Indirekte THG-Emissionen nach Position

In diesem Teil werden die indirekten THG-Emissionen des Flughafens Basel-Mulhouse nach den in **Teil 1 Studienbereich und Methode** definierten Emissionspositionen dargestellt.

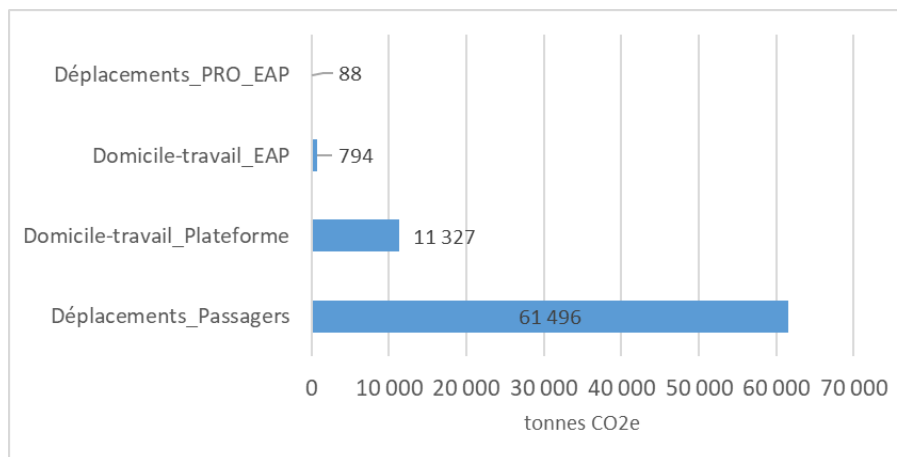


Abbildung 41: Indirekte THG-Emissionen 2019 nach Position.

Nach Positionen aufgeschlüsselt lassen sich die indirekten THG-Emissionen mehrheitlich auf die Fahrten/Reisen der Passagiere (und ihrer Begleitpersonen) zurückführen. Sie belaufen sich auf 61 496 Tonnen CO₂e, d. h. 83 Prozent der indirekten THG. Die zweitgrösste Position bildet der Arbeitsweg der Mitarbeitenden der Plattform, mit einem Beitrag von 11 327 Tonnen CO₂e, d. h. 15 Prozent der Gesamtmenge. Arbeitswege und Dienstreisen der EAP-Mitarbeitenden tragen mit 1,1 bzw. 0,1 Prozent zu den Emissionen bei.

Diese Verteilung korreliert mit dem Aktivitätsumfang der einzelnen Emissionspositionen. Tatsächlich bilden die über den Flughafen gereisten Passagiere mit 9 090 312 Personen die grösste Gruppe für das Jahr 2019. Die Drittunternehmen der Plattform beschäftigen rund 6000 Mitarbeitende, das Unternehmen Flughafen Basel-Mulhouse rund 400 Mitarbeitende.

Indirekte THG-Emissionen nach Verkehrsträger

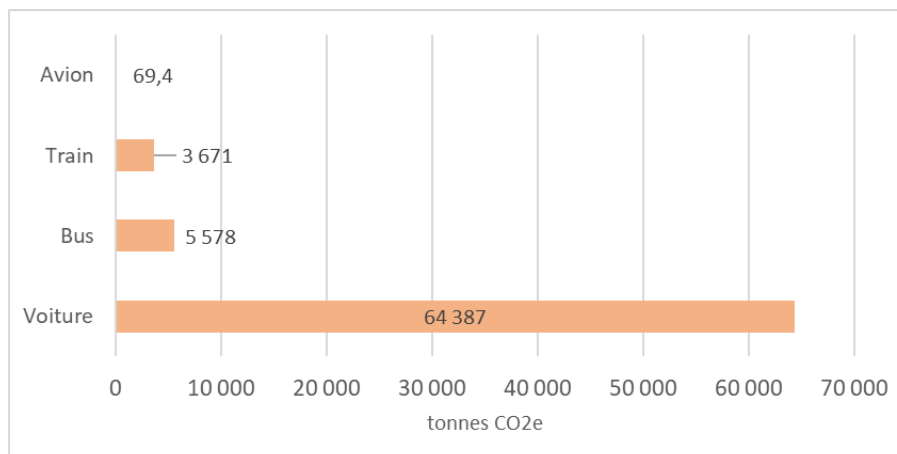


Abbildung 42: Indirekte THG-Emissionen der Aktivitäten des Flughafens Basel-Mulhouse 2019 nach Verkehrsträger.

Autos sind für die Anreise zur Plattform der häufigste und THG-intensivste Verkehrsträger. Seine Emissionen sind mit 67 397 Tonnen CO₂e mit 87 Prozent an den gesamten indirekten THG-Emissionen beteiligt. Bus und Zug sind mit 5 578 Tonnen CO₂e bzw. 3 671 Tonnen CO₂e für 8 bzw. 5 Prozent der THG verantwortlich.

Der Zug ist das Verkehrsmittel mit den niedrigsten THG-Emissionen. 2019 wurde er für die Anreise zum Flughafen am zweithäufigsten genutzt (237 Mio. km) und war nach Auto und Bus der drittgrösste THG-Emittent.

Indirekter THG-Beitrag nach Verkehrsträger und Emissionsposition

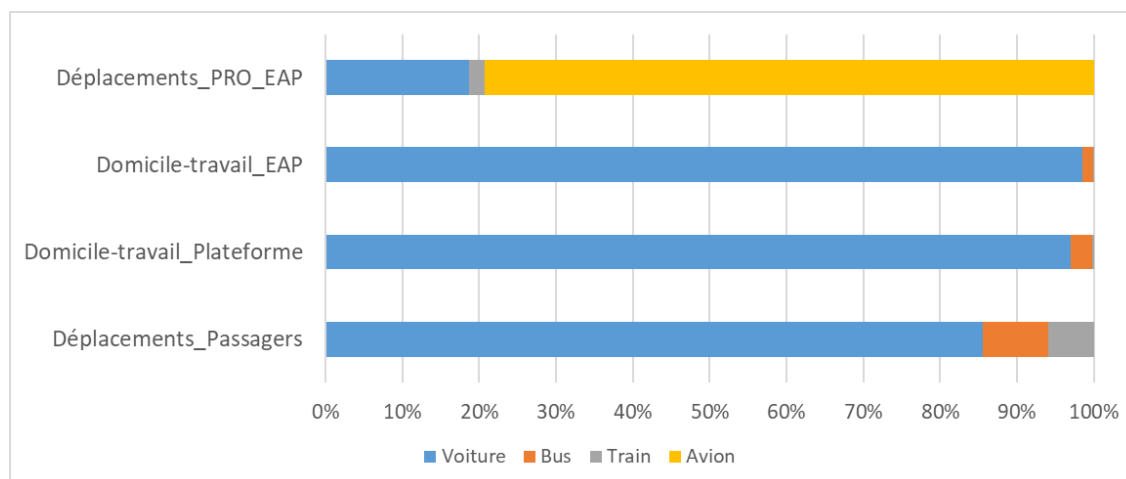


Abbildung 43: Indirekter THG-Beitrag nach Verkehrsträger und Emissionsposition 2019.

Abgesehen von den Dienstreisen bleibt das Auto das wichtigste Verkehrsmittel und mit 85 bis 99 Prozent der THG-Emissionen je nach Position der grösste Emittent.

Vergleich mit den direkten Emissionen von Bodenquellen und Flugzeugen

Die nachstehende Abbildung stellt die direkten THG-Emissionen (Bodenquellen und Flugzeuge auf dem Flughafen Basel-Mulhouse) den indirekten THG-Emissionen aus Fahrten und Reisen von Mitarbeitenden

und Passagieren gegenüber. Es gilt zu beachten, dass direkte und indirekte THG-Emissionen aufgrund von Doppelzählungen nicht summiert werden können. So finden sich die Emissionen des Strassenverkehrs im Bodenquelleninventar des Flughafens teilweise auch in den indirekten Emissionen aus Fahrten und Reisen der Mitarbeitenden und Passagiere wieder.

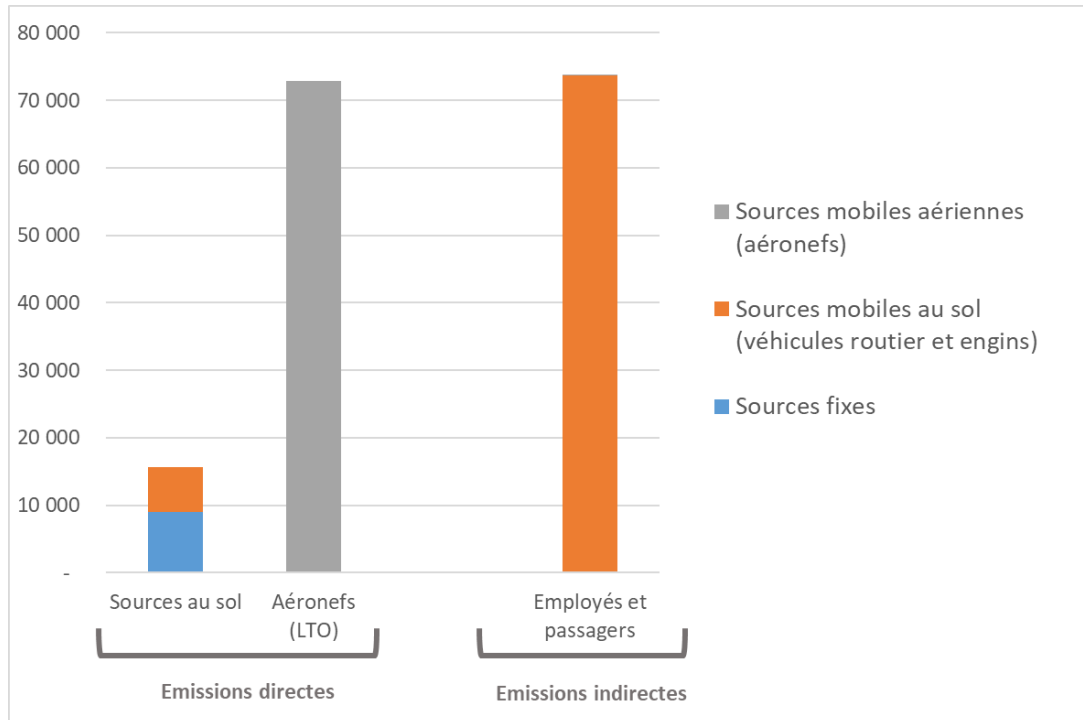


Abbildung 44: Direkte und indirekte THG-Emissionen von Fahrten und Reisen für den Flughafen Basel-Mulhouse 2019 (in t CO₂e)

Die teilweise Auswertung der indirekten THG-Emissionen des Flughafens – im vorliegenden Fall die Emissionen aus Fahrten und Reisen von Mitarbeitenden und Passagieren – verdeutlicht den hohen Stellenwert der indirekten Aktivitäten verglichen mit den eigentlichen Aktivitäten einer juristischen Person. Im Fall des Flughafens Basel-Mulhouse entspricht der Beitrag aus Fahrten und Reisen von Passagieren und Mitarbeitenden (74 000 t CO₂e) für das Jahr 2019 dem Beitrag der Flugzeuge für die LTO-Zyklusphasen (73 000 t CO₂e).

SCHLUSSFOLGERUNG

Diese Studie befasste sich mit der Freisetzung von Schadstoffen und Treibhausgasen aus den Aktivitäten auf dem Flughafen Basel-Mulhouse. Hierzu wurden 2 Emissionsinventare erstellt:

- 1. Ein Inventar der direkten Schadstoff- und THG-Emissionen. Dieses Inventar wurde gemäss methodischem Leitfaden der französischen Fachstelle für die Erforschung der Luftverschmutzung CITEPA für die Bestimmung der Luftemissionen im Flughafenbereich ohne Flugzeuge durchgeführt. Die Schadstoff- und THG-Emissionen beziehen sich auf die Bodenquellen des Flughafens. Zur Beurteilung der Gesamtwirkung wurden auch die Emissionen aus dem LTO-Zyklus (< 915 m Höhe) von Flugzeugen berücksichtigt, die hier abgefertigt wurden. Die Resultate der Arbeiten wurden schliesslich mit den Emissionen der Umgebung und mit denen grösserer Gebiete verglichen.
- 2. Ein Inventar speziell zu den indirekten THG-Emissionen. Die Aktivitäten des Flughafens Basel-Mulhouse selber induzieren andere – so genannte indirekte – Aktivitäten, die sich ebenfalls auf die THG-Emissionen auswirken. Der Studienbereich für diese Studie bezieht sich ausschliesslich auf die Fahrten und Reisen der Mitarbeitenden und der Passagiere, die über den Flughafen reisen.

Zu den Luftemissionswerten auf dem Flughafen ohne Flugzeuge:

Die Emissionen des Flughafens (ohne Flugzeuge) wurden für das Bezugsjahr 2019 und für 20 verschiedene Aktivitäten geschätzt.

- Die drei Hauptemissionsquellen für die Mehrzahl der inventarisierten Schadstoffe sind: Strassenverkehr, Heizzentralen sowie Spezialfahrzeuge und -maschinen.

Einige Schadstoffe weisen eine besondere Verteilung auf die Emissionsquellen auf:

- Die meisten Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC) stammen aus der Kohlenwasserstoff-Lagerung (85%) und aus den Heizzentralen (7%).
- Die Kohlendioxidemissionen, hauptsächlich aus Verbrennungsquellen, sind im Wesentlichen auf die Heizzentralen und den Strassenverkehr zurückzuführen.
- Schwefeldioxid wird zwar nicht in grossen Mengen freigesetzt, ist aber ein Schadstoff, der bei der Verbrennung von Brenn- oder Kraftstoffen entsteht. Auf dem Flughafen sind mehrheitlich die Heizzentralen dafür verantwortlich.
- Kohlenmonoxid, Stickoxide und die Feinstäube PM2.5 und PM1 werden hauptsächlich von den Heizzentralen, dem Strassenverkehr sowie von den Spezialfahrzeugen und -maschinen emittiert.
- Die grössten Stäube (TSP und PM10) stammen vorwiegend von den Bau- und Baustellenaktivitäten, die 2019 auf dem Flughafen durchgeführt wurden. Da diese Aktivitäten von Jahr zu Jahr stark variieren, sind auch die dadurch verursachten Emissionen grossen Schwankungen ausgesetzt.
- Die Methanemissionen stammen grossteils (52%) aus theoretischen Lecks im Erdgasverteilungsnetz.

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)

Die Emissionen von Flugzeugen auf dem Flughafen Basel-Mulhouse wurden für das Referenzjahr 2019 mit einer differenzierten Methode geschätzt, bei der die spezifischen Informationen für jeden Flug berücksichtigt werden. Die Ergebnisse wurden mit den Emissionen aus den Bodenquellen gemäss vorliegender Studie verglichen.

Der Beitrag der Flugzeugemissionen ist in der Gesamtwirkung der vom Flughafen erzeugten Luftemissionen signifikant. Die verbrennungsspezifischen Schadstoffe (SO₂, NO_x, CO, THG sowie Feinstaub PM₁₀, PM_{2.5} und PM₁) stammen zu einem grossen Teil von den Flugzeugen. Bei den anderen Schadstoffen wie Ammoniak, NMVOC und fluorierten Gasen stammen die Beiträge überwiegend aus den Bodenquellen.

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:

- 66 Prozent der SO₂- und 44 Prozent der NO_x-Emissionen gehen auf die Flughafenaktivitäten zurück. Dies ist auf die grossen Mengen an Brenn- und Treibstoffen zurückzuführen, die von den Bodenquellen (Heizzentralen, Flughafenfahrzeuge und -maschinen, Strassenverkehr) und den Flugzeugen verbraucht werden.
- Der Feinstaub stammt zu 15 bis 20 Prozent aus den Flughafenaktivitäten. Diese rühren zu einem grossen Teil vom Energieverbrauch der Flugzeuge her.
- Je nach Schadstoff macht der Strassenverkehr des Flughafens 2 bis 12 Prozent der Emissionen des Strassenverkehrs in der Umgebungszone aus, wobei die Auswirkungen der A35 auf die Emissionen des Strassenverkehrs in der Umgebungszone erheblich sind.
- Die NO_x und CO₂-Emissionen aus den Heizzentralen der Plattform entsprechen 17 bzw. 11 Prozent der Emissionen aus der Verbrennungstätigkeit des Wohn- und Dienstleistungssektors in der Umgebungszone.

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_x-) Emissionen.

Flugzeugemissionen des Flughafens Basel-Mulhouse an den gesamten Flugzeugemissionen der Region Grand Est

Der Flughafen Basel-Mulhouse erzeugt erhebliche Flugverkehrsaktivitäten (99 000 Flugbewegungen 2019). Daher ist der Anteil der von den hier verursachten Flugzeug-Emissionen am gesamten Flugverkehr der Region Grand Est beträchtlich. Ihr Beitrag beläuft sich je nach Schadstoff auf 45 bis 90 Prozent der Emissionen.

Vergleich der Ergebnisse der Inventare 2019 und 2015

Angesichts der Grenzen einer Datenerhebung im 4-Jahres-Rhythmus (Erhebung 2015: 2016–2019; Erhebung 2019: 2020–2021) wurde bei der vorliegenden Studie eine Neuberechnung der Emissionen 2015 mit den aktuellen Methoden vorgenommen.

Generell sind die Emissionen der wichtigsten Schadstoffe für alle Aktivitäten zwischen beiden Inventarjahren konsistent. Die Werte 2019 sind grösser als die Werte 2015, was mit der grösseren Flughafenaktivität im Jahr 2019 zusammenhängt.

Diese Studie ermöglichte auch einen Vergleich zwischen dem Flugzeuginventar mit seiner detaillierten Methode und der Standardmethode, die von ATMO Grand Est jährlich für die Berücksichtigung von Luftfahrzeugen in der Region Grand Est verwendet wird. Hierdurch konnte gezeigt werden, dass die Standardmethode eine gute Schätzung der Emissionen ermöglicht. Die detaillierte Methode ermöglichte jedoch eine Neuberechnung der durchschnittlichen LTO-Phasenzeiten, die sich in Zukunft ebenfalls für das Inventar der Region Grand Est verwenden lassen.

Die indirekten THG-Emissionen

Die teilweise Auswertung der indirekten THG-Emissionen des Flughafens – im vorliegenden Fall die Emissionen aus Fahrten und Reisen von Mitarbeitenden und Passagieren – verdeutlicht den hohen Stellenwert der indirekten Aktivitäten verglichen mit den eigentlichen Aktivitäten einer juristischen Person. Im Fall des Flughafens Basel-Mulhouse entspricht der Beitrag aus Fahrten und Reisen von Passagieren und Mitarbeitenden (74 000 t CO₂e) für das Jahr 2019 dem Beitrag der Flugzeuge für die LTO-Zyklusphasen (73 000 t CO₂e).

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 ³ 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 ₆)	Hermetisch abgeschlossene Schaltanlagen. Keine Emissionen
7	Feuerlöschposten	Keine Aktivität, keine Emissionen
8	Bau und Renovation von Belägen	Asphalteinbau auf 27 000 m ²
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 ²
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

ANHANG 2 – GESAMTEMISSIONEN DER BODENQUELLEN AUF DEM FLUGHAFEN BASEL MULHOUSE GEMÄSS INVENTARE 2015 UND 2019, IN KG

JAHR	ID DATENBLATT	SO ₂	NO _x	NM VOC	CO	NH ₃	CH ₄	CO ₂	N ₂ O	FKW	GWP	TSP	PM10	PM2.5	PM1
2015	Heizzentralen	85	13305	11096	2989	-	691	8509074	373	-	8637454	135	135	134	134
2015	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	86794	86794	-	-	-	-
2015	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	115950,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	1844,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Gasverteilnetze	-	-	112,5	-	-	1096	-	-	-	27396	-	-	-	-
2015	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Bau und Renovation von Belägen	-	-	16,2	-	-	-	-	-	-	-	22,45	22,40	18,90	15,53
2015	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	27,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	3712,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	3429,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24482	4545	1466	542
2015	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0,31	340	296	1885	-	13	54634	1	-	55312	62	34	31	26
2015	Industriemaschinen	0,70	271	199	375	-	15	48134	1	-	48884	19	17	16	14
2015	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	8,22	6640	497	8247	-	40	1284250	235	-	1355313	652	601	560	546
2015	Strassenverkehr	28,61	15733	1542	11263	177	189	4134391	136	-	4179752	1441	1102	821	484
2019	Heizzentralen	93,74	13274	10397	3075	-	705	8749638	383	-	8881435	140	139	138	138
2019	Klima- und Kühltechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	24834	24834	-	-	-	-
2019	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	122202,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	3310,89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Gasverteilnetze	-	-	112,51	-	-	1096	-	-	-	27396	-	-	-	-
2019	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Bau und Renovation von Belägen	-	-	65,51	-	-	-	-	-	-	-	91	91	76	63
2019	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	37,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	4093,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	1435,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20848	3870	1248	462
2019	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	0,13	116	634	4480	-	27	35050	1	-	35994	62	45	43	43
2019	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,017	0,010	0,007	0,001
2019	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	11	8857	679	10054	-	61	1722866	423	-	1850422	825	759	706	680
2019	Strassenverkehr	33	14267	1314	9603	124	216	4692786	191	-	4754976	1535	1119	745	339

JAHR	ID DATENBLATT	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	PCB	HCb	PCDDF	BaP	BbF	BkF	IndPy	HAP4
2015	Heizzentralen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000002	-	0,000000047	0,001	0,0001	0,0001	0,001	0,0031
2015	Klima- und Kühlttechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Gasverteilnetze	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Bau und Renovation von Belägen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000000020	0,000003	0,00003	0,00001	0,000002	0,00005
2015	Vereisungsschutz und Enteisung von Flugzeugen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Enteisung von Strassen und Parkplätzen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Wartung und Reinigung (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Lackfarben (Flugzeuge, Fahrzeuge, Gebäude)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Brandversuche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Baustellen und Bauen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Schienenverkehr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	Maschinen für Landwirtschaft und Grünpflege	-	0,00002	0,0001	0,003	-	0,0001	-	0,00002	0,002	-	0,00	0,000000004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0031
2015	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000004	0,00	0,000000001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,0021
2015	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	-	0,00001	0,00004	0,002	-	0,0001	-	0,00001	0,001	-	0,00	0,000000091	0,019	0,022	0,019	0,017	0,0769
2015	Strassenverkehr	0,05	0,003	0,04	6,81	0,005	0,04	2,49	0,01	8,76	0,0000001	-	-	0,021	0,026	0,019	0,020	0,0866
2019	Heizzentralen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000003	-	0,000000046	0,002	0,0001	0,0001	0,002	0,0033
2019	Klima- und Kühlttechnik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Kohlenwasserstoff-Lager	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Versorgung mit Brennstoffen und Treibstoffen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Gasverteilnetze	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Elektrische Schaltanlagen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Feuerlöschposten	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Bau und Renovation von Belägen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,000000082	0,00001	0,0001	0,0001	0,00001	0,0002
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	-	0,00004	0,0002	0,01	-	0,0003	-	0,00004	0,004	-	0,000001	0,000000006	0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0016
2019	Industriemaschinen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	Flughafenfahrzeuge und -maschinen	-	0,0000001	0,000001	0,00002	-	0,000001	-	0,000000	0,00001	-	0,0001	0,000000122	0,03	0,03	0,03	0,02	0,1034
2019	Strassenverkehr	0,06	0,005	0,06	9,85	0,01	0,05	3,28	0,02	11,39	0,0000001	-	-	0,02	0,03	0,02	0,02	0,0830

ANHANG 3 – BESCHLEUNIGUNGSDAUERN DER FLUGZEUGE AUF DER STARTBAHN VOR DEM ABHEBEN, BASIEREND AUF RADARDATEN

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
Höchstsdauer [s]	41
Durchschnitt	31



Air • Climat • Energie • Santé

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

Tel.: 03.88.19.26.66 – contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

Akkreditierte Organisation für die Überwachung der Luftqualität