



Stellungnahme der Wissenschaftlichen Qualitätssicherung

20.03.2025

Stellungnahme zum AP1-Bericht der Belastungsstudie

Mitglieder der WQS

Emanuel Fleuti	Flughafen Zürich AG
Dr. Martin Gysel-Ber	Paul Scherrer Institut Villigen
Prof. Dr. Christian Hasse	Technische Universität Darmstadt
Prof. Dr. Andreas Held	Technische Universität Berlin
Dr. Bryan Hellack	Umweltbundesamt
Prof. Dr. med. Wolfgang Hoffmann	Universitätsmedizin Greifswald
Dr. Anke Kniffka	Deutscher Wetterdienst
Theo Rindlisbacher	Bundesamt für Zivilluftfahrt
Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann	vormals Helmholtz-Zentrum München

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	4
1 Überblick	5
2 Bewertung des finalen Berichts durch die WQS	7
2.1 AP 1.1 – Emissionsfaktoren	7
2.2 AP 1.2 – Emissionsmessungen	9
2.3 AP 1.3 – Emissionsmodellierung	10
2.4 AP 1.4 – Iterativer Prozess zur Erzeugung einer validen Datenbasis	12
2.5 Gesamtbewertung	13

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
APU	Auxiliary Power Unit
FFR	Forum Flughafen und Region
ICAO	International Civil Aviation Organization
Lfz	Luftfahrzeug
NDA	Non-disclosure agreement (Vertraulichkeitsvereinbarung)
SOURCE FFR	Titel der UFP-Belastungsstudie
UFP	Ultrafeine Partikel
v/nv	volatile/non-volatile (flüchtig/nicht-flüchtig)
WQS	Wissenschaftliche Qualitätssicherung

1 Überblick

Zur wissenschaftlichen Arbeitsweise gehört es, Methoden und Ergebnisse von Dritten überprüfen zu lassen. Für die UFP-Studie übernimmt diese Funktion ein unabhängiges Gremium, das alle Studienteile bereits seit der Ausschreibungsphase begleitet: die externe wissenschaftliche Qualitätssicherung (WQS). Die Aufgabe der WQS ist es, die Methoden, ihre Anwendbarkeit in den Studien, sowie deren Angemessenheit kritisch zu überprüfen. Die WQS konstituierte sich auf ihrer Auftaktsitzung am 25.08.2021 und hat sich in der Folge eine eigene Geschäftsordnung gegeben. Die WQS wird zwar vom Koordinierungsrat des FFR berufen und arbeitet eng mit dem Forschungskonsortium und den Gremien des FFR zusammen, agiert darüber hinaus allerdings vollkommen unabhängig.

Zu den Aufgaben der WQS zählt es, Stellungnahmen zu Berichtsentwürfen sowie zu den finalen Berichten des Forschungskonsortiums zu erstellen. Das Forschungskonsortium wiederum ist verpflichtet, die Hinweise der WQS hinsichtlich des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns zu berücksichtigen und im Fall einer Nichtbeachtung ausführlich fachlich zu begründen, warum der Empfehlung nicht gefolgt wird.

Die vorliegende Stellungnahme befasst sich mit dem Zwischenbericht zum Arbeitspaket (AP) 1 der UFP-Belastungstudie SOURCE FFR – measurements & modelling mit dem Titel „**Bestimmung der UFP-Emissionen – AP 1 Bericht**“¹ (in folgendem abgekürzt als „AP1-Bericht“).

Der erste Entwurf des AP1-Berichts wurde am 02. Oktober 2024 vom Konsortium der Belastungsstudie² an das FFR gesendet. Anschließend wurde die WQS informiert, sichtete den Bericht und tagte am 24. Oktober 2024, um dem Konsortium anschließend das erste Feedback zuzusenden. Daraufhin hatte das Konsortium die Möglichkeit die Hinweise der WQS einzuarbeiten oder Stellung zu nehmen. Folgend auf diese Iteration erhielt das FFR am 13. März 2025 den finalen Berichtsentwurf, auf welchen sich diese finale Stellungnahme der WQS nun bezieht.

Zusätzlich zu den o. g. Berichtsentwürfen gab es einen begleitenden Austauschprozess zu verschiedenen fachlichen Fragen, die im Detail geklärt werden mussten. Hierzu gehörte insbesondere die Modellierung der APU-Emissionen. Um solche vertieften Fragestellungen möglichst effizient und valide zu bearbeiten, wurden mehrere Termine in Form von Videokonferenzen durchgeführt, um den direkten

¹ <https://www.ultrafeinstaub-studie.de/de/ergebnisse/ergebnisse-belastungsstudie/ergebnisse-ap1-bestimmung-der-ufp-emissionen/>

² Mitglieder des Konsortiums in alphabetischer Reihenfolge: Air Consulting Hellebrandt (ACH), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Oberpfaffenhofen (DLR-IPA), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart (DLR-VT), Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH und Co. KG, Dresden (LOH), Institut für Umweltingenieurwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH), Helmholtz-Zentrum Hereon, Geesthacht (HEREON), Institut für Atmosphäre und Umwelt - Goethe-Universität Frankfurt am Main (IAU-GUF), Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e.V., Duisburg (IUTA), IVU Umwelt GmbH, Freiburg (IVU), Niederländische Organisation für angewandte naturwissenschaftliche Forschung, Utrecht (TNO), Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS), Technische Universität Braunschweig (TUBS), Technische Universität Darmstadt (TUD)

Austausch zwischen dem Konsortium, der WQS und etwaigen weiteren relevanten Akteuren zu ermöglichen. Sämtliche so erarbeiteten Lösungen wurden final der gesamten WQS noch einmal zugesandt, um allen die fachliche Zustimmung bzw. den fachlichen Widerspruch zu ermöglichen. Die Ergebnisse dieser Austauschprozesse sind jeweils in den AP1-Bericht eingearbeitet worden.

Der nun vorliegende AP1-Bericht wurde von der WQS basierend auf der Leistungsbeschreibung³ bewertet, welche folgende Aufgaben des umfasste:

AP 1.1: UFP-Emissionsfaktoren: Bestimmung von Emissionsfaktoren

AP 1.2: UFP-Emissionsmessungen: Bestimmung von flüchtigen und nicht-flüchtigen UFP-Emissionen durch Flugzeuge

AP 1.3: UFP-Emissionsmodellierung: Erstellen eines leistungsbasierten Emissionsmodells bzgl. relevanter UFP-Emissionen

AP 1.4: Iterativer Prozess zur Erzeugung einer validen Datenbasis

Bei der Bewertung orientierte sich die WQS an folgenden Leitfragen gemäß der Geschäftsordnung (§ 6 Bewertungskriterien⁴):

- (1) Ist davon auszugehen, dass das Vorgehen des Konsortiums den in der Ausschreibung bzw. im weiteren Studienfortgang gemeinsam definierten Zielvorgaben entspricht? Wurden die vorgesehenen Methoden angewendet und wurden die verabredeten Zwischenziele erreicht?
- (2) Entspricht das Vorgehen des Konsortiums dem aktuellen Stand der Wissenschaft?
- (3) Sind eventuelle Modifikationen schlüssig und überzeugend begründet?
- (4) Ist die Darstellung der Ergebnisse in sich konsistent und ist die Herleitung ausreichend belegt?
- (5) Besteht aus Sicht der WQS vor dem Hintergrund dieser Fragestellungen Handlungsbedarf zur Überarbeitung seitens des Konsortiums? Wenn ja, wie sollte dieser grob umgesetzt werden?

Im Kapitel 2 der Stellungnahme befindet sich die Bewertung des Berichts hinsichtlich der einzelnen Arbeitspakete. Die WQS kommt insgesamt zu dem Ergebnis, dass das Konsortium die in der Leistungsbeschreibung geforderten Untersuchungsleistungen vollumfänglich adressiert hat. Auf die Anmerkungen und Fragen der WQS zum ersten Entwurfsbericht ist das Konsortium hinreichend eingegangen. Damit kann der AP1-Bericht als Grundlage für die weiteren Arbeitspakete der Belastungsstudie verwendet werden.

Die finale Stellungnahme wird dem FFR Arbeitskreis UFP sowie dem Koordinierungsrat zugestellt.

³ https://www.umwelthaus.org/download/?file=leistungsbeschreibung_belastungsstudie.pdf

⁴ https://www.umwelthaus.org/download/?file=geschaeftsordnung_wqs_ufp.pdf

2 Bewertung des finalen Berichts durch die WQS

Mit dem finalen Bericht „Bestimmung der UFP-Emissionen – AP 1 Bericht“ hat das Konsortium die in der Leistungsbeschreibung geforderten Untersuchungsleistungen für das AP1 aus Sicht der WQS umfänglich und hinreichend adressiert.

Der Bericht ist in sechs inhaltliche Kapitel gegliedert und umfasst 79 Seiten, davon 7 Seiten mit einem ausführlichen Literaturverzeichnis.

2.1 AP 1.1 – Emissionsfaktoren

Ziel gemäß Leistungsbeschreibung⁵:

Bestimmung von Emissionsfaktoren auf Basis existierender Daten. Für alle Quellen im Untersuchungsgebiet sollen Emissionsfaktoren bestimmt bzw. identifiziert werden. Dies umfasst in jedem Fall den Luftverkehr, Straßen-, Schiffs- und Schienenverkehr, die Industrie sowie den Hausbrand. Aber auch alle weiteren relevanten Quellen sind einzubeziehen. Die Emissionen sind jeweils in flüchtige und nicht-flüchtige Partikel zu unterteilen. (Leistungsbeschreibung, S. 8)

Bewertung des AP durch die WQS:

UFP-Emissionsfaktoren außerhalb des Luftverkehrs

- Die Emissionsfaktoren aller relevanten UFP-Quellen außerhalb des Luftverkehrs (u. a. Straßenverkehr, Schiffsverkehr, Industrie etc.) werden gemäß der im Bericht beschriebenen Vorgehen und Datenquellen als valide angenommen. **Die Auftragnehmenden werden aber, zum besseren Verständnis und der Nachvollziehbarkeit, gebeten, die Quellen sämtlicher Emissionsfaktoren (inkl. der des Luftverkehrs) überblicksartig in einer Tabelle zusammenzufassen.** Diese Tabelle soll mindestens enthalten: die Herkunft der Daten; eine kurze Beschreibung der Datenquelle; eine Einschätzung der Qualität der Daten im Sinne der mit diesen Daten einhergehenden Unsicherheiten (beispielsweise hinsichtlich eines unteren/oberen Cutoff-Limits der Partikelgrößenbereiche).

UFP-Emissionsfaktoren im Bereich des Luftverkehrs

- Für die verschiedenen Lfz-Muster werden in Rücksprache und auf explizite Empfehlung der WQS je nach Betriebszustand unterschiedliche Quellen für die Emissionsindizes genutzt: Bei niedrigen Lastzuständen sollen durch die Auftragnehmenden erhobene Messdaten verwendet werden; bei hohen Lastzuständen sollen Werte der ICAO-Datenbank genutzt werden

⁵ https://www.umwelthaus.org/download/?file=leistungsbeschreibung_belastungsstudie.pdf

(sind dort keine direkten UFP-Emissionswerte vorhanden, werden diese auf Basis von Zhang et al. 2019⁶ berechnet)

- Es ist allerdings davon auszugehen, dass Messdaten aus SOURCE FFR nicht für alle Luftfahrzeugmuster und insbesondere Triebwerkstypen vorliegen. Daher wird im Bericht (zusammengefasst) folgendes Vorgehen beschrieben: Liegen triebwerkspezifische Daten auf Basis der Messungen aus SOURCE FFR vor, werden diese vorzugsweise genutzt; ist dies nicht der Fall, werden triebwerkspezifische Literaturwerte für v/nv-Partikelanzahlen genutzt – oder (falls sie nicht getrennt vorliegen) berechnet; liegen auch in der wissenschaftlichen Literatur keine triebwerkspezifischen Daten vor, werden Literaturwerte für das jeweilige Flugzeugmuster genutzt oder berechnet; liegen auch diese nicht vor, werden ICAO-Daten genutzt. Dieses Vorgehen ist mit der WQS abgestimmt und erscheint aus wissenschaftlicher Sicht vertretbar, kann aber spätestens bei Nutzung von flugzeug- statt triebwerkspezifischer Werte größere Ungenauigkeiten mit sich bringen. Hintergrund ist, dass sich die Triebwerke hinsichtlich ihrer Emissionen auch innerhalb eines Flugzeugmusters stark voneinander unterscheiden können – das wiederum verhält sich je nach Flugzeugmuster anders. **Werden Emissionsfaktoren für Flugzeugmuster – statt Triebwerke – genutzt, ist aus Sicht der WQS zusätzlich zu prüfen/ abzuschätzen, wie groß die Unterschiede zwischen den Triebwerkstypen für das jeweilige Flugzeugmuster sind. Erscheinen die Unterschiede zu groß, um auf diese Art ein valides Ergebnis zu erhalten, ist ein alternatives Vorgehen zu prüfen.**
- Die Zustände des „Taxiing“ (Flugzeug in Bewegung) und „Idle“ (Flugzeug steht im Leerlauf) sind in der Modellierung zu berücksichtigen. Messdaten zu Taxiing liegen auch triebwerkspezifisch vor – es ist aber anzunehmen, dass diese aus Messungen stammenden Werte verschiedene Zustände abbilden (Taxiing ist kein einheitlicher Lastzustand, sondern reicht von höheren Schubwerten zu Beginn über geringere Schubwerte bis hin zum Leerlauf), reine Idle-Messungen gibt es hingegen nicht. **Die im Rahmen von SOURCE FFR ermittelten Messwerte für Taxiing sollen in Rücksprache mit der WQS daher sowohl für Taxiing als auch für Idle genutzt werden, da die Mittelwerte beides abbilden dürften. Da zusätzlich auch der reale Treibstoffverbrauch nicht bekannt ist, sollte der Treibstoffverbrauch des Lastzustands „7 % Schub“ aus der ICAO-Datenbank verwendet werden.** Hier sind bereits Effekte z. B. durch die Klimatisierung der Kabine mit inbegriffen. Aus Sicht der WQS bildet dieses Vorgehen die Realität zwar nicht eins zu eins ab, erscheint aber angemessen und hinreichend genau.
- Ideal wäre es, aus den Betriebszuständen den realen Treibstoffverbrauch („Fuel Flow“) für unterschiedliche Lastzustände zu ermitteln, um genaue Emissionen zu berechnen. Dies ist im Vorhaben für die Vielzahl an Flugzeugmustern aber nicht in angemessenem Rahmen umsetzbar. Somit bleibt lediglich der Rückgriff auf entsprechende Werte aus ICAO-Daten. Da aber

⁶ Zhang, X., Chen, X., & Wang, J.: A number-based inventory of size-resolved black carbon particle emissions by global civil aviation. *Nature Communications*, 10(1), 534, 2019.

bekannt ist, dass die hier unterstellten Lastzustände gegenüber der Realität häufig zu hoch angesetzt werden (z. B. wird der Start mit 100 % Schubleistung angesetzt, es ist aber bekannt, dass dieser mit geringerer Schubsetzung erfolgt), wird ein Korrekturfaktor angesetzt, der die realen Verhältnisse hinreichend abbildet.

- Eine weitere wesentliche Emissionsquelle sind die Hilfstriebwerke der Luftfahrzeuge (Auxiliary Power Units, APUs), die es auf jeden Fall zu berücksichtigen gilt. Für diese existieren allerdings keine direkten Messungen in SOURCE FFR. Es sind entsprechende Annahmen auf Basis der Literatur zu treffen.

2.2 AP 1.2 – Emissionsmessungen

Ziel gemäß Leistungsbeschreibung:

Bestimmung von flüchtigen und nicht-flüchtigen UFP-Emissionen durch Flugzeuge mittels Messungen. (Leistungsbeschreibung, S. 9)

Bewertung des AP durch die WQS:

- Bei den Emissionsmessungen in SOURCE FFR handelt es sich um Emissionsmessungen unter realen Betriebsbedingungen, wobei der Betriebszustand der Triebwerke nur bedingt bekannt ist – im Gegensatz zu Emissionsindizes, die im Rahmen der regulatorischen Vorgaben für präzise definierte Betriebszustände und mittels standardisierten Messvorschriften bestimmt werden. Unter den Bedingungen und im Hinblick auf die Ziele des Vorhabens ist das gewählte Vorgehen basierend auf dem „Delta CO₂ Ansatz“ als sinnvoll und wissenschaftlich valide zu betrachten.
- Messungen der UFP-Anzahlkonzentration sind nicht ohne Weiteres in der Lage, zwischen flüchtigen (volatile/ v) und nicht-flüchtigen (non-volatile/ nv) Partikeln zu unterscheiden. Eines der in der Leistungsbeschreibung formulierten Ziele ist aber genau diese Bestimmung der jeweiligen Anteile. Zur Beurteilung der Bestimmung des Anteils flüchtiger Partikel wurde ein neuer, für andere UFP-Quellen bereits angewandter, methodischer Ansatz basierend auf parallelen Messungen mit und ohne Einsatz eines Thermodenuders gewählt.
- **Mit den oben beschriebenen Messungen konnten Emissionsfaktoren für UFP unter realen Bedingungen bestimmt werden, sowohl für die Anzahlkonzentration nichtflüchtiger Partikel als auch deren Gesamtzahl. Im weiteren Verlauf der Studie soll zusätzlich zu den Resultaten auch deren Unsicherheit dokumentiert werden.**
- Emissionsmessungen wurden an verschiedenen Standorten auf dem Flughafengelände in Frankfurt durchgeführt, u. a. im A-Hof und an der sog. „Blastwall“ (Anfang der Startbahn West) und der Station „Flughafen Ost“. Während bei den Messungen im A-Hof von Anfang an klar war, dass die Identifizierung und Zuordnung der Messwerte zu einzelnen UFP-Quellen oder sogar Betriebszuständen aufgrund der Vermischung der Emissionen nicht möglich sein wird, sollten die Messungen an der Blastwall nach Einschätzung des Konsortiums zugeordnet

werden können. Nutzung und Zweck dieser Messungen wurden intensiv diskutiert. Entscheidend ist einerseits, ob die einzelnen Betriebszustände wirklich genau voneinander unterscheiden und sicher zugeordnet werden können, ohne ggf. von anderen – etwa in der Nähe vorbeifliegenden Flugzeugen – überlagert oder verzerrt zu werden. Andererseits muss auch sichergestellt sein, dass die Messwerte, die letztlich auf einigen wenigen Messungen basieren, nur dann herangezogen werden, wenn diese als valider angenommen werden als die in etablierten ICAO-Daten enthaltene Werte. **Die gemeinsam zwischen WQS und Konsortium getroffene Entscheidung ist, dass Messwerte an der Blastwall aus SOURCE FFR für niedrige Lastzustände verwendet werden (idle, taxiing) – da die ICAO-Daten hier größere Ungenauigkeiten enthalten. Für hohe Lastzustände sind hingegen ICAO-Daten zu nutzen**, da diese als valide gelten und nicht anzunehmen ist, dass die Messwerte aus SOURCE FFR dem gegenüber eine größere Aussagekraft enthalten. Eine Ausnahme von dieser Regel ist die transiente Phase am Anfang der Startbahn (das Hochfahren des Triebwerks im Stand). Diese ist in den ICAO-Daten gar nicht abgebildet, konnte aber in SOURCE FFR messtechnisch erfasst werden. **Für die transiente Phase sind daher ebenfalls Messwerte zu nutzen.**

- Ursprünglich waren drei Messkampagnen zur Messung der UFP-Emissionen auf dem Flughafen Gelände geplant. Im Laufe des Vorhabens wurde von den Auftragnehmenden der alternative Vorschlag entwickelt, auf die dritte Messkampagne zu verzichten. Hintergrund sind insbesondere die bereits durch die ersten zwei Messkampagnen vorliegenden Daten. Diese gehen in Bezug auf die Anzahl der Messungen und die Messzeiträume bereits über das hinaus, was in den meisten anderen UFP-Studien bislang geleistet wurde. Die Qualität der Messdaten wird ebenfalls als ausreichend erachtet. Alternativ zur dritten Messkampagne wurde ein zusätzlicher Modelllauf („ICAO-2019“) vorgeschlagen, der zusammen mit dem Modelllauf „Adaptiert-2019“ einen größeren Erkenntnisgewinn darstellt: Während im Modelllauf „ICAO-2019“ durchweg ICAO-Daten genutzt werden (abweichend von den o. g. Vereinbarungen), im Modelllauf „Adaptiert-2019“ hingegen auch Mess- und Literaturdaten (s. o.), erlaubt der Vergleich beider Modellläufe den Zugewinn an Information und Genauigkeit direkt miteinander zu vergleichen. Zusätzlich bietet der Vergleich beider Modellläufe einen weiteren Anhaltspunkt für mögliche Fehlerquellen. Den vorgenannten Gründen stimmte die WQS vollumfänglich zu, und beurteilt das Vorgehen als wissenschaftlichen Mehrwert.

2.3 AP 1.3 – Emissionsmodellierung

Ziel gemäß Leistungsbeschreibung:

Ziel des AP 1.3 ist es, auf Basis der Vorarbeiten aus AP 1.1 und 1.2 ein leistungsbasiertes Emissionsmodell hinsichtlich der flüchtigen und nicht-flüchtigen UFP-Emissionen aller relevanten Quellen zu erstellen. Das Modell soll in der Lage sein, die Immission nach einzelnen relevanten Quellgruppen (Flughafen, Straßenverkehr etc.) und wichtigen Betriebsfaktoren getrennt zu berechnen und etwaige Reduktionsmaßnahmen zu bewerten/ zu simulieren.

(Leistungsbeschreibung, S. 10)

Bewertung des AP durch die WQS:

- Jede Modellierung beinhaltet notwendigerweise Setzungen, da in Forschungsvorhaben – bedingt u. a. durch finanziell und zeitlich begrenzte Ressourcen, aber auch bestehende Wissenslücken – nicht sämtliche für den Idealfall notwendigen Daten vollumfänglich vorliegen. Wie gut eine Modellierung die Realität abbildet, zeigt sich erst nach Abschluss der ersten Modellierung und deren Validierung durch Messungen. Sollten sich größere Abweichungen zwischen Modell und Messwerten zeigen, ist es Aufgabe der Auftragnehmenden, die möglichen Ursachen dieser Abweichungen zu identifizieren und wenn möglich für den nächsten Modelllauf zu beheben. Das Vorgehen ist eng mit der WQS abzustimmen, da Anpassungen vom einen zum anderen Modelllauf unvermeidlich die Vergleichbarkeit der Modellläufe beeinträchtigen. Dies stellt gleichzeitig einen weiteren Vorteil des zusätzlichen Modelllaufs ICAO-2019 dar, da etwaige Anpassungen ggf. noch vor Durchführung der beiden adaptierten Modellläufe (2019 und 2024) erfolgen können.
- Wie bereits in Kapitel 2.1 dargelegt, sind die Emissionen der APUs der Luftfahrzeuge in der Modellierung zu berücksichtigen, da sie in wesentlichem Umfang zur Exposition beitragen. Neben den Ansätzen zu den Emissionsfaktoren (s. o.) ist entscheidend, welche Laufzeiten für APUs in die Modellierung eingehen: Diese unterscheiden sich je nach Flughafenstandort, Flugzeugtyp, aber auch in Abhängigkeit von Außentemperatur, Airline etc. Für eine exakte Berücksichtigung der realen Laufzeiten wären Airline-Daten notwendige Voraussetzung. Die Airlines sammeln diese Daten jedoch nicht immer einheitlich und getrennt nach Standort. Im engen fachlichen Austausch mit der WQS und weiteren Akteuren wurde durch die Auftragnehmenden ein Ansatz entwickelt, der teilweise Airline-Daten nutzt, teilweise aber auch Daten aus der wissenschaftlichen Literatur sowie Experteneinschätzungen berücksichtigt. Im Abgleich mit der Realität beinhaltet dieser Ansatz notwendigerweise Ungenauigkeiten, da auch die wissenschaftliche Literatur zu diesem Thema nur eine sehr geringe Anzahl von Veröffentlichungen aufweist. Er ist aus Sicht der WQS jedoch der aktuell beste Weg im Sinne der notwendigen Genauigkeit im Verhältnis zum dafür erforderlichen Aufwand. Der Ansatz erfolgt dabei nach bestem Wissen und Gewissen. Neben den APU-Emissionen bzw. -Laufzeiten ist auch das „Single Engine Taxiing“ (das Flugzeug nutzt lediglich ein Triebwerk statt mehreren/ allen zum Rollen auf dem Vorfeld) ein, in diesem Fall mindernder, Einflussfaktor auf die UFP-Emissionen. Wie bei den APUs liegen auch hier nur teilweise standortspezifische Daten je Airline und auch nicht immer für alle Luftfahrzeugmuster vor. Daher wurde von den Auftragnehmenden ein pauschaler Abschlag von 15 % des Treibstoffverbrauchs angesetzt, um den Single Engine Taxi Mode zu berücksichtigen. Hierbei handelt es sich um eine Abschätzung, da keine genauen Daten vorliegen. Aus Sicht der WQS ist das Vorgehen aber akzeptabel und wird durch Daten von anderen Standorten gestützt.
- Bereits in der Leistungsbeschreibung wurde offengelassen, ob neben dem Jahr 2019 eine Modellierung von 2023 oder 2024 erfolgen wird. Bereits zu Beginn des Vorhabens SOURCE FFR wurde aber vereinbart, dass Fraport Daten für das Jahr 2023 sammelt und liefert. Im Laufe des Vorhabens wurde vom Konsortium die Entscheidung getroffen, das Jahr 2024 zu modellieren. Gründe, die für diese Entscheidung sprachen, sind einerseits die Immissionsmessungen, die im Rahmen von SOURCE FFR im Jahr 2024 durchgeführt wurden und für dieses Jahr

somit die bestmögliche Validierung erlauben. Außerdem waren bei der UBA-Messstation Langen im Jahr 2023 längere Ausfallzeiten (mehrere Monate) zu verzeichnen, welche die Modellierung der Hintergrundemissionen beeinträchtigen würden. Auf der anderen Seite wirft die Modellierung des Jahres 2024 das Problem auf, dass die für 2023 gesammelten Daten im Bereich des Luftverkehrs auf das modellierte Jahr 2024 übertragen werden müssen. Das methodische Vorgehen hierfür ist, wie auch für die anderen Emissionsquellen, im AP1-Bericht beschrieben. Aus Sicht der WQS wird das beschriebene Vorgehen als wissenschaftlich vertretbar erachtet, um die Zeitverzögerung durch weitere Datenlieferung für 2024 zu vermeiden. Es wird aber auch darauf hingewiesen, dass die Diskrepanz zwischen Datenlieferung und Modellierung mit hoher Wahrscheinlichkeit Ungenauigkeiten verursacht.

- Ein wesentlicher Unterschied zwischen Immissionsmessungen und Immissionsmodellierung ist, dass in den Messungen die Partikelneubildung abgebildet wird (Messungen erfassen alle Partikel), in der in SOURCE FFR genutzten Modellierung (einem Chemie Transport Modell) wird diese Neubildung von Partikeln durch Vorläufersubstanzen nicht berücksichtigt. Jedoch findet die großräumige Partikelneubildung indirekt über die Messdaten zum regionalen Hintergrund Eingang ins Modell. Hintergrund ist, dass die Partikelneubildung im Bereich ultrafeiner Partikel ein hochkomplexer Prozess ist, der nicht ohne Weiteres modelliert werden kann und zudem deutlich mehr finanzielle und zeitliche Ressourcen in Anspruch nehmen würde. Von Seiten des Konsortiums wird davon ausgegangen, dass die nicht-Berücksichtigung der Partikelneubildung keinen wesentlichen Fehler verursacht. **Falls doch, würde sich dies aber im Zuge der Validierung/ des Abgleichs mit Messwerten zeigen: Sollten hier größere Abweichungen zwischen Messungen/ Modellierung auftreten, wäre zu klären, woher diese kommen und welche Rolle die Neubildung hierbei spielt. Eine weitere mögliche Fehlerquelle wären etwa lokale Quellen, die in der Modellierung aufgrund ihrer Vielzahl ebenfalls nicht berücksichtigt werden können (z. B. Straßenverkehr inkl. dem zugehörigen Management wie Ampeln bzw. Ampelphasung, Straßen an Hanglagen, Gastronomie etc.). Die Annahme ist auch hier, dass lokale Prozesse über regionale Hintergrundmessungen in der Modellierung enthalten sind, und dass sie im Vergleich z. B. zu den Emissionen des Flughafens quantitativ nur eine untergeordnete Rolle spielen. Auch hier zeigt sich aber erst nach der Modellierung, wie gut dies tatsächlich gelingt. Sollte es größere Abweichungen zwischen Modell und Messungen geben, wird gemeinsam zwischen WQS und Konsortium das weitere Vorgehen vereinbart.**

2.4 AP 1.4 – Iterativer Prozess zur Erzeugung einer validen Datenbasis

Ziel gemäß Leistungsbeschreibung:

Ziel dieses iterativen Prozesses ist es, insbesondere die Daten zur Verfügung zu stellen, die für die Aussagekraft des Vorhabens die größte Relevanz besitzen. Eine entsprechende Prioritätenliste an Datenfordernissen ist spätestens zu Beginn des Vorhabens durch die Auftragnehmenden zu erstellen. (Leistungsbeschreibung, S. 10)

Bewertung des AP durch die WQS:

- Im Laufe des iterativen Prozesses sind einige Verzögerungen aufgetreten, u. a. durch die Notwendigkeit, ein NDA abzuschließen, aber auch aufgrund fachlicher Klärungsprozesse, die sich in die Länge gezogen haben. Letztlich wurden aber alle geforderten/wesentlichen Daten von den beteiligten Akteuren geliefert, um das Vorhaben wie geplant durchzuführen. An allen Stellen, wo bestimmte Daten nicht geliefert werden konnten (weil Geheimhaltungsverpflichtungen, die Uneinheitlichkeit, oder auch der dadurch entstehende Aufwand es verhinderten), wurden mit der WQS abgestimmte und aus wissenschaftlicher Sicht nach bestem Wissen und Gewissen akzeptable Lösungen gefunden (siehe hierzu auch die vorstehenden Kapitel).
- **Aus Sicht der WQS wird an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass – wo immer möglich und inhaltlich sinnvoll – die gelieferten Daten in der Modellierung zu nutzen sind.**
- **Im Anschluss an die Modellierung (nach jedem Modellauf) muss ein Abgleich der modellierten Werte mit den Messwerten erfolgen, um die zugrunde gelegten Annahmen (Emissionsfaktoren und Ausbreitungsmodellierung) zu validieren. Treten bei diesem Abgleich größere Abweichungen auf, sind die Ursachen hierfür zu identifizieren und es ist im engen Austausch mit der WQS zu klären, wie darauf reagiert wird (z. B. ob Anpassungen vor dem nächsten Modellauf vorgenommen werden müssen).**

2.5 Gesamtbewertung

Ziel des AP 1: Die in Arbeitspaket 1 erhobenen Emissionsdaten sollen die Grundlage für die weiteren Arbeitspakete und die dort vorgesehene Ausbreitungsmodellierung bilden.

Bewertung des gesamten AP 1 durch die WQS:

- Insgesamt gilt es, die sehr gute und detaillierte Dokumentation des Vorgehens und der Ableitung von Emissionsfaktoren hervorzuheben, welche die transparente Nachvollziehbarkeit ermöglicht.
- Das Vorhaben nutzt an wesentlichen Punkten neue methodische Wege und integriert spezifische Emissionsmesskampagnen in SOURCE FFR mit vorhandenen Daten aus verschiedenen Quellen, um das bestmögliche Ergebnis in der anstehenden Modellierung zu erzielen und verschiedene Emissionsquellen umfassend zu berücksichtigen. Dieses differenzierte, komplexe Vorgehen ist ein zentrales Qualitätsmerkmal der hier durchgeföhrten Studie und trägt wesentlich zur validen Abbildung der UFP-Belastungssituation in der Region bei. In vielerlei Hinsicht stellt SOURCE FFR diesbezüglich einen methodischen Benchmark dar, an dem sich künftige Vorhaben orientieren werden.
- Gerade der sehr hohe Detailgrad im Bereich des Luftverkehrs (Boden und Luft) als wesentliche Quelle im Untersuchungsgebiet ermöglicht es, diesen Bereich besser als in bisherigen Studien abilden zu können.

- Gleichzeitig gilt es im weiteren Vorgehen darauf zu achten, dass dieser sehr hohe Detailgrad im Bereich Luftverkehr in den Auswertungen keine Verzerrungen verursacht. Die Erwartung ist aber, dass dies nicht der Fall ist, weil der höhere Detailgrad im Luftverkehr lediglich nötig war, um vorhandene Datenlücken zu schließen – die es so bei anderen vergleichbar relevanten UFP-Quellen nicht gibt. Ob sich diese Erwartung bestätigt, müssen die weiteren Arbeiten zeigen. Wesentlich wird die Validierung der verschiedenen UFP-Quellen sein – u. a. mittels quellspezifischer Messungen (etwa über zeitliche/ räumliche Zuordnung) im Abgleich mit den Modellierungsergebnissen – um sicherzustellen, dass es keine Verzerrung durch möglicherweise unterschiedlich ausgeprägte Detailgrade der Quellen (z. B. Luftverkehr vs. Straße) gibt. Dies ist insbesondere im Hinblick auf eine künftige Wirkungsstudie zu berücksichtigen, um in einer solchen keine Fehlattributierungen (Wirkungen werden fälschlich einer bestimmten Quelle zugeordnet, die eigentlich gar nicht verantwortlich für die Immissionen ist) zu erzeugen.

Insgesamt kommt die WQS zu dem Schluss, dass – unter Berücksichtigung der in dieser Stellungnahme dargelegten Hinweise – der AP1-Bericht eine fundierte und valide wissenschaftliche Grundlage für die weiteren Arbeitsschritte im Rahmen der UFP-Belastungsstudie SOURCE FFR – measurements & modelling darstellt. Aufgrund der Vielzahl an Datenquellen und der detaillierten Aufbereitung und Verwendung dieser Daten geht SOURCE FFR über das hinaus, was in vielen anderen Studien zu UFP derzeit Stand der Wissenschaft und Technik ist. Die WQS bedankt sich bei dem Forschungskonsortium für die enge und kooperative Zusammenarbeit sowie für die Berücksichtigung der inhaltlichen Anmerkungen.