

Anmerkungen zum 4. Bericht des HLNUG zu ultrafeinen Partikeln im Bereich des Flughafen Frankfurt

Diese Anmerkungen diskutieren überwiegend technische Aspekte des [HLNUG-Berichts](#). Eine allgemeine Bewertung des Berichts findet sich auf der BI-Webseite. Alle verwendeten Quellen sind verlinkt mit Stand 30.01.2022.

Der Bericht präsentiert nur mehr oder weniger plausible Überlegungen zu Meßdaten, aber keinerlei statistische Auswertungen, die über einfache Aufsummierung und Mittelwertbildung hinaus gingen. Da die verwendeten Basis-Daten überwiegend nicht verfügbar oder nur mit großem Aufwand zusammenzustellen sind, beschränkt sich auch die Kritik auf Plausibilitäts-Betrachtungen und methodisch ähnliche Vergleiche, wobei die Grafiken aus dem Bericht mit eigenen Ergänzungen genutzt werden. Zu den Schlussfolgerungen des Berichts werden mögliche Alternativen präsentiert; Beweise für die eine oder andere Aussage sind auf dieser Basis nicht möglich.

Alle Seitenangaben, Tabellen- und Abbildungs-Nummern (ohne 'A') beziehen sich, soweit nicht anders angegeben, auf den Bericht. Die Aufzählung der Kritikpunkte folgt dem Aufbau des Berichts, auch wenn dadurch am Anfang eher triviale Kritiken stehen.

Winddaten und -sektoren

Die Annahme (Abschnitt 2.3, S. 4), *"dass zu einem Zeitpunkt die Strömungsverhältnisse am Standort der UFP-Messung mit denen am Standort der Windmessung gleichzusetzen sind"*, wobei die Windmessungen am Flughafen durchgeführt werden, ist für die Flughafen-nahen Stationen sicherlich gerechtfertigt, müsste aber für Stationen wie Frankfurt-Riedberg oder -Friedberger Landstrasse überprüft werden, besonders wenn kurzzeitige Vergleiche angestellt werden.

Schon ein grober Vergleich der Winddaten am Flughafen mit öffentlich verfügbaren Daten der Stationen Frankfurt-West, Bad Vilbel-Dortelweil und Kleiner Feldberg zeigt, dass zwischen diesen Stationen kurzzeitig bedeutende Abweichungen in Windrichtung und -geschwindigkeit auftreten können.

In Tabelle 1 auf S.5 wird angegeben, dass der Wind an den Stationen Schwanheim und Riedberg nur zu 35,7% bzw. 38,8% der Zeit aus Richtungen wehte, die im 'Windsektor' der jeweiligen Station liegen, obwohl diese Sektoren sehr breit sind und die Hauptwindrichtungen am Flughafen vollständig beinhalten. Hier müssten zumindest über die lange Meßperiode in Schwanheim gemäß dem langfristigen Mittel Werte über 50% auftreten, selbst wenn hier die "Nicht-Betriebszeiten" des Flughafens (wahlweise 23:00 oder 0:00 Uhr bis 5:00 Uhr) generell ausgeschlossen sein sollten. Auch an anderen Stationen fallen die Werte teilweise erstaunlich niedrig aus.

Die Frage ist relevant dafür, über welche Zeiträume für diverse folgende Konzentrations-Betrachtungen tatsächlich summiert wurde.

Die Definition der 'Windsektoren' im Anhang 6.3, S. 30, und gleichlautend auch im [dritten Bericht](#), ist unpräzise und sachlich nicht begründet. Vergleichbare Windsektoren wurden erstmals im [zweiten Bericht](#) als Auswertungs-Hilfsmittel a priori mit eindeutigem Bezug auf die geographische Lage potentieller UFP-Quellen rund um vier Flughafen-nahe Meßstationen eingeführt. In die Definition der neuen 'Flughafen-Windsektoren' gehen nun neben der geographischen Lage zum Flughafen, die in unbestimmter Weise *"berücksichtigt"* (S. 5) bzw. *"in Betracht gezogen"* (S. 30) wird, auch Meßergebnisse ein, für deren Auswahl bereits ein Einfluß des Flughafens am jeweiligen Ort vorausgesetzt wird. Dieser Zirkelschluss führt zu unbegründeten, bei einigen weiter entfernten Stationen sogar zu offenkundig fragwürdigen Ergebnissen.

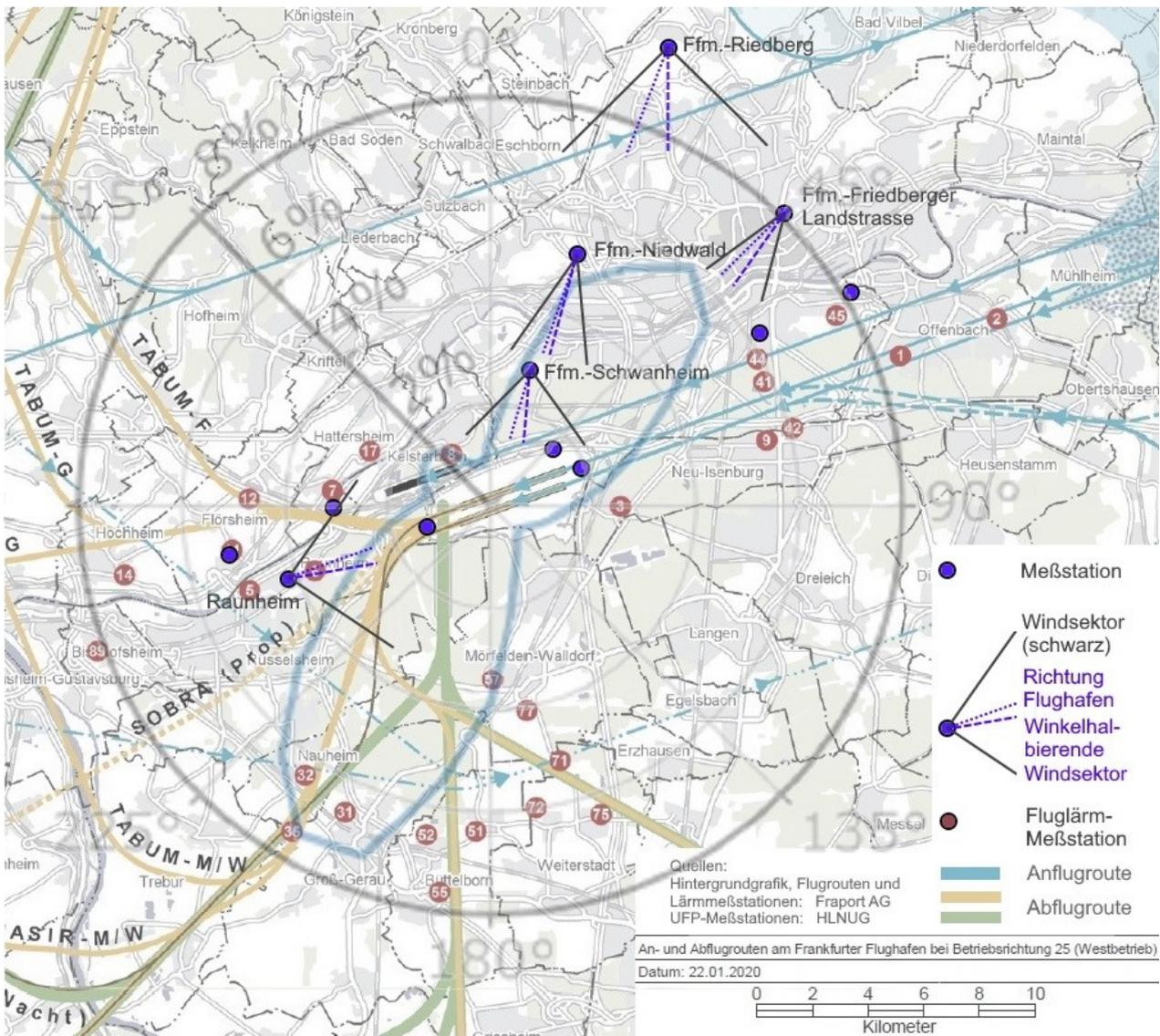


Abbildung A1: basiert auf Abb. 1 (S.6) des Berichts. Hinterlegt wurde eine Karte der Fraport AG, auf der die An- und Abflug-Routen des Flughafens zu sehen sind.

Für die im Bericht näher behandelten UFP-Meßstationen wurden die Windsektoren aus Tab.1 (S.5) eingetragen sowie das Zentrum dieses Sektors und die Richtung zum Flughafen markiert. Zu erwarten wäre, dass die beiden letztgenannten Richtungen annähernd überein stimmen. Abweichungen können darauf hinweisen, dass nicht (nur) das Flughafen-Gelände als Quelle der gemessenen Immissionen in Frage kommt.

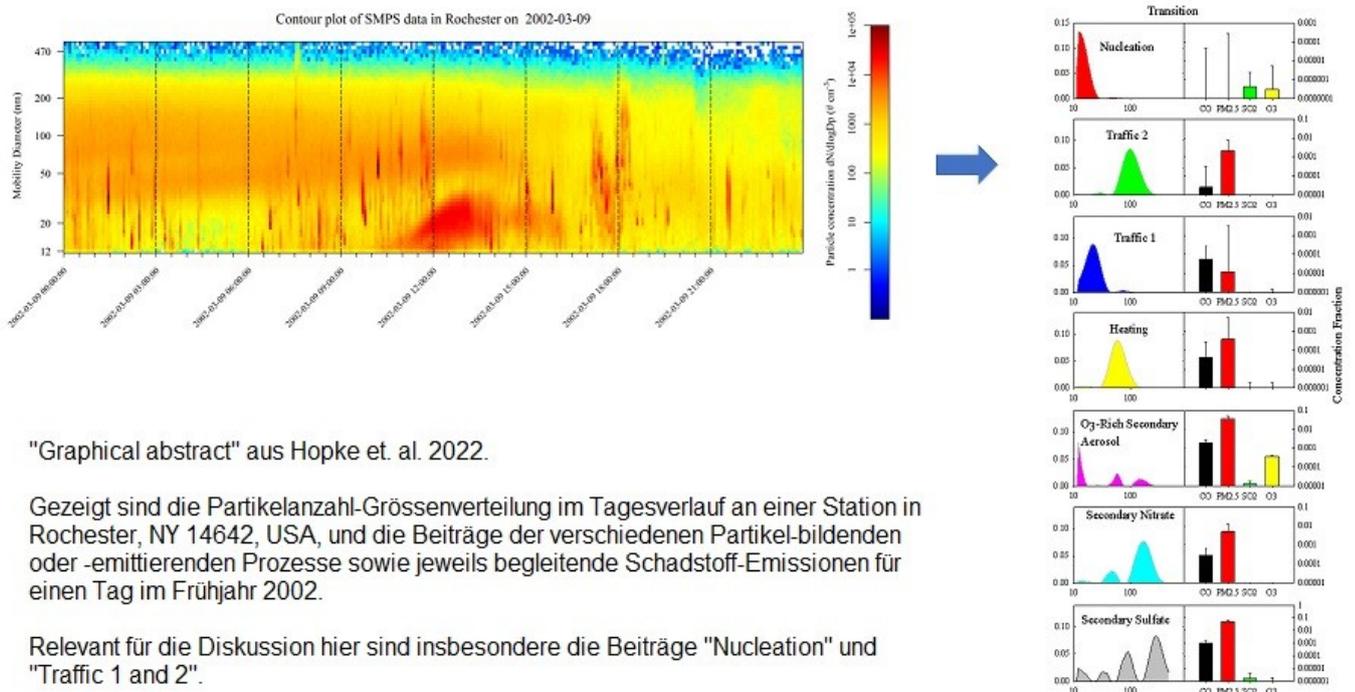
Besonders gut zeigt sich das an der Station Frankfurt-Riedberg. Hier weicht das Zentrum des Sektors (Winkelhalbierende) erheblich von der Richtung zum Flughafenzentrum ab. Der Flughafen liegt gerade noch am westlichen Rand des so definierten Windsektors, der im Osten bis zum Rodgau reicht. Wie aber der Wind, der über Neu-Isenburg oder Oberrad zum Riedberg bläst, von den Emissionen am Flughafen beeinflusst sein soll, dieser Einfluss an den dazwischen liegenden Stationen Oberrad und Friedberger Landstrasse aber nicht sichtbar wird, wird nicht erläutert.

Diese Windsektoren beeinflussen aber die meisten im Weiteren präsentierten Auswertungen, indem "alle Zeiträume, zu denen der Flughafen nicht in Betrieb ist (0-5 Uhr Ortszeit; inklusive Abklingphase nach Ende des Flugbetriebs) oder der Wind aus anderen Windrichtungen" als denen des Windsektors "weht, als stationstypische Hintergrundkonzentration definiert" werden (S. 5). Fehler in der Zuordnung der Meßwerte haben daher direkten Einfluss auf die Schlussfolgerungen aus den Konzentrations-Daten.

In Abschnitt 3.1 (S. 9) wird aus Unterschieden zwischen Konzentrationen bei "Messungen während des Flugbetriebs und bei Wind aus Richtung des Flughafensektors ... und Messungen bei allen anderen Bedingungen" direkt auf einen "Einfluss durch den Flugbetrieb gegenüber der Hintergrundkonzentration" geschlossen und abschließend konstatiert: "Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass an allen hier dargestellten Messstationen ein Einfluss durch den Flugbetrieb nachweisbar ist" (S. 11). Dieser Zusammenhang wäre allerdings erst einmal zu beweisen, denn gerade bei weiter vom Flughafen entfernten Stationen können natürlich auch andere Quellen Einflüsse aus vergleichbaren Richtungen und zu vergleichbaren Zeiten haben, wie weiter unten gezeigt wird.

Partikelanzahl-Größenverteilung, Partikel-Quellen und Tagesgang

Der Bericht benennt mehrfach (S. 11, 17,21, 22) "charakteristische Partikelanzahl-Größenverteilung" und "Tagesgang" als "typische Eigenschaften der UFP aus Flughafenemissionen". Im Kap. 4, "Diskussion und Schlussfolgerungen" wird "die typische Partikelanzahl-Größenverteilung mit ausgeprägtem Maximum für Partikel kleiner als 30 nm" als "charakteristischer „Fingerabdruck“" bezeichnet. Als Beleg dafür wird eine Studie (Stacey et al. 2020) angeführt, die UFP und andere Schadstoffe unmittelbar an den Rollbahnen des Flughafens London Heathrow mißt und mit Ergebnissen von Stationen im Londoner Stadtgebiet vergleicht, aber keinerlei Versuch unternimmt, einen Beitrag des Flughafens an diesen Stationen nachzuweisen. Sie kommt zu dem Ergebnis: "The distribution of particle sizes is ... completely different, with the airport PSD dominated by particles with a mode of 20 nm. In contrast, measurements of PN in London have a significantly larger mode of 30 nm" (Die Verteilung der Partikelgrößen ist komplett verschieden, wobei die Flughafen-Partikelgrößenverteilung von Partikeln mit einem Mode von 20 nm dominiert wird. Im Gegensatz dazu haben die Messungen der Partikelanzahl in London einen signifikant grösseren Mode von 30 nm (eigene Übersetzung)).



"Graphical abstract" aus Hopke et. al. 2022.

Gezeigt sind die Partikelanzahl-Größenverteilung im Tagesverlauf an einer Station in Rochester, NY 14642, USA, und die Beiträge der verschiedenen Partikel-bildenden oder -emittierenden Prozesse sowie jeweils begleitende Schadstoff-Emissionen für einen Tag im Frühjahr 2002.

Relevant für die Diskussion hier sind insbesondere die Beiträge "Nucleation" und "Traffic 1 and 2".

Abbildung A2: 'Grafische Kurzfassung' der Literaturübersicht von Hopke et al. 2022. Gezeigt sind links ein sog. 'Konturplot', in dem die Partikelanzahl-Konzentration (Farbskala) für unterschiedliche Partikelgrößen (y-Achse) im Tagesverlauf (x-Achse) aufgetragen ist. Rechts sind die sich aus der Quellen-Zuordnung' ergebenden Größenverteilungen unterschiedlicher Partikel-Quellen aufgeführt.

Der Bericht macht keinen Versuch, die sonstige, schon recht umfangreiche Literatur zum Thema zu rezipieren und auszuwerten; auch die Folge-Studie ([Stacey et al. 2021](#)) in Heathrow wird nicht erwähnt. Daher sollen hier zunächst in aller Kürze die wichtigsten relevanten Fakten referiert werden.

In einer aktuellen Literatur-Übersicht ([Hopke et al. 2022](#)) werden Studien ausgewertet, die Quellen-Zuordnungen ('Attribution') für Partikelmessungen in unterschiedlichen Kontexten bestimmen. Dafür werden aufwändige mathematisch-statistische Verfahren ('Principal Component Analysis', 'Positive Matrix Factorization' o.ä.) verwendet, die in der Regel aufgrund eines oder mehrerer Parameter einen Großteil der gemessenen Verteilungen mit hoher Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Quelle zuordnen können.

Im Ergebnis wird festgestellt, dass Verkehrsquellen und Partikel-Neubildungen ("nucleation") an den meisten Meßstellen dominieren. Emissionen aus dem Luftverkehr werden dort nicht getrennt erfasst, sondern aufgrund der vergleichbaren Partikel-Grösse dem Nucleation-Modus zugeordnet. Für den Verkehr wird zwischen "*spark-ignition vehicles*" ("Traffic 1", Fremdzünder, in der Regel Benzin-Motoren) mit Peak bei 30-35 nm und "*diesel vehicles*" ("Traffic 2", Selbstzünder) mit Peak bei 60–80 nm unterschieden.

Für aktuelle hiesige Verhältnisse ist zu berücksichtigen, dass die Optimierung der Verbrennungsmotoren in Kraftfahrzeugen und die zunehmend strenger werdenden Abgasnormen, die inzwischen auch Partikel umfassen, zu einer Verschiebung der Größenverteilung in den Emissionen aus dem Straßenverkehr ([Du et al. 2018](#)), inzwischen auch aus dem LKW-Verkehr ([Zhou et al. 2020](#)), zu immer kleineren Partikel-Größen-Maxima führen. Langfristige Messungen von Straßenverkehrs-Emissionen ([Straaten & Weber 2021](#)) zeigen Maxima im Bereich <12 nm sowie Tagesgänge mit starkem Anstieg in den frühen Morgenstunden und langsamem Abklingen in den Abendstunden.

Alles zusammen lässt den Schluss zu, dass die im Bericht als "typisch für Flughafenemissionen" bezeichneten Größenverteilungen und Tagesgänge im allgemeinen ebenso gut durch den Straßenverkehr erzeugt werden können. Auch ist nicht zu erwarten, dass die am Emissionsort gemessenen Größenverteilungen unverändert über große Strecken transportiert werden können, da in den meisten Fällen physikalische und chemische Veränderungen auftreten, die zu einer Verschiebung hin zu grösseren Teilchen ('Alterung') führen.

Zu Entstehung, Transformation und Ausbreitung von UFP aus Flugzeug-Triebwerken gibt es eine aktuelle Übersicht ([Matthes 2020](#)) in einem DLR-Beitrag zum [EU-Projekt AVIATOR](#). Dort werden Ergebnisse zu Partikelanzahl-Größenverteilungen in den Emissionen verschiedener Triebwerke in Abhängigkeit von Laststufen, Treibstoff-Zusammensetzung etc. sowie Veränderungen in den Emissionsfahnen in Abhängigkeit von der Zeit, der atmosphärischen Bedingungen und anderem präsentiert, ohne den Versuch zu unternehmen, ein zusammenfassendes Bild zu entwickeln.

Eine weitere Übersicht ([Riley et al. 2021](#)) wertet eine frühere Übersicht sowie neuere Studien zum Einfluss des Flugverkehrs auf die Luftqualität rund um Flughäfen aus. In Bezug auf Ultrafeine Partikel finden alle Studien erhöhten UFP-Anzahlkonzentrationen im Abwind von Flughäfen. Soweit Größenverteilungen betrachtet werden, liegen die Erhöhungen hauptsächlich im Bereich sehr kleiner Partikelgrößen (<30 nm), soweit Flugrouten betrachtet werden, finden sich die höchsten Werte unter den Anflugrouten.

Eine Meßkampagne zur Bestimmung der Beiträge von Flug- und Strassenverkehr zur UFP-Belastung naheliegender Siedlungsbereiche wird ausführlich in einer Studie ([Austin et al. 2021](#)) beschrieben, die am Seattle-Tacoma International Airport durchgeführt wurde. Sie nutzt im Wesentlichen die Parameter Partikelanzahl-Größenverteilung und Black Carbon (Russ) und stellt zusammengefasst fest, dass im Strassenbereich grössere Partikel und höhere Russ-Konzentrationen vorkommen, während sehr kleine Partikel (Maxima zwischen 10 - 20 nm) und wenig Russ besonders unter den Anflugrouten auftreten. Die erhöhte UFP-Konzentration aus dem Strassenverkehr sinkt nach rund 150m auf etwa die Hälfte ab und erreicht nach 500m Hintergrundwerte, während die Flugzeug-Emissionen in bis zu 15 km Entfernung

unter den Anflugrouten festzustellen sind. Explizite Aussagen zu der Entfernung unter den Abflugrouten und abseits der Flugrouten werden nicht gemacht.

Als Erklärung für diese Ergebnisse wird unter Verweis auf die Literatur angeführt, dass erstens die Triebwerke unter typischem Anflug-Lastbetrieb besonders viele kleine Artikel emittieren und diese Partikel durch abwärts gerichtete vertikale Luftströmungen und Wirbelschleppen in Flughafennähe binnen weniger Minuten, in weiterer Entfernung innerhalb einer Viertelstunde den Boden erreichen und in diesen Zeiten nur relativ wenig 'gealtert' sind, so dass die Maxima noch zwischen 10 und 30 nm liegen, während bei Starts mit hoher Triebwerkslast die Größenverteilung zu grösseren Partikeln hin verschoben ist und die Flugzeuge schneller steigen, so dass am Boden mehr grössere und 'gealterte' Partikel ankommen.

Im 2. Bericht des HLNUG wird die gemessene Größenverteilung der UFP nahe dem Flughafen dargestellt und darauf eingegangen, dass die *"mittlere Größenverteilung in Raunheim bei 10 nm maximale Konzentrationen"* aufweist, *"die offensichtlich auch für Partikel kleiner 10 nm nicht signifikant zurückgehen"*, während sie in Schwanheim einen Peak nahe 20 nm zeigt. Die naheliegende Vermutung, dass in Raunheim sehr viel mehr "jüngere" Partikel gemessen werden, weil die Emissionen aus den Überflügen nur wenige 100 m bis zur Station zurücklegen müssen, in Schwanheim aber mehr bereits gealterte Partikel ankommen, weil sie mindestens 2 km seitlichen Abstand von der Anflugroute überwinden müssen, wird allerdings nicht ausgesprochen.

Der aktuelle Bericht verallgemeinert dies, auch mit Bezug auf die Studie von Stacey et a. 2020, die Partikelgrößen-Verteilungen direkt an den Rollbahnen misst, zu der Aussage: *"Partikel in diesem Größenbereich," (<100 nm)"sowie die typische Form der Partikelanzahl-Größenverteilung mit einem Maximum im Bereich 10 – 20 nm und einem schnellen Abfall für größere Partikel, sind charakteristisch für Emissionen, die im Zusammenhang mit dem Flugbetrieb stehen"* (S. 17), die auch für die Diskussion der Meßergebnisse an der 11 km entfernten [Station Friedberger Landstrasse](#) zugrunde gelegt wird.

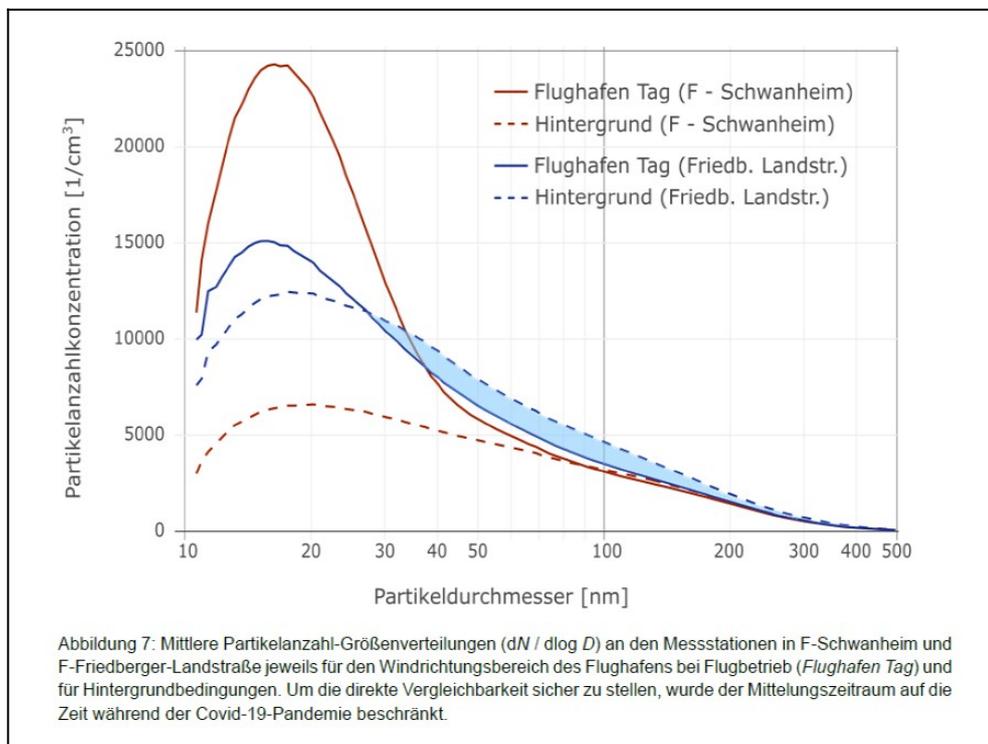


Abbildung A3: entspricht Abb.7 des Berichts. Ergänzt wurde lediglich die farbliche Markierung des Bereichs, in dem die "Hintergrund-Konzentration" der Station Friedberger Landstraße höher liegt als die Konzentration, für die ein zusätzlicher Input durch den Flughafen angenommen wird.

Die Diskussion des Vergleichs der gemessenen Partikelanzahl-Größenverteilungen in Schwanheim und in der Friedberger Landstrasse übergeht einen wesentlichen Unterschied. In Schwanheim sind die Immissionen der Partikel <100 nm tatsächlich zusätzlich zum Hintergrund, d.h. die Werte unter 100 nm sind im Zeitraum des Flugbetriebs deutlich erhöht, die Werte für grössere Partikel bleiben unverändert. Im Gegensatz dazu stellt der Bericht fest: *"Die mittlere Verteilung für Hintergrundbedingungen an der Friedberger Landstraße ist deutlich breiter und weist auch ab etwa 30 nm höhere Partikelanzahl-Konzentrationen auf"* (S. 18) (blau markierter Bereich in Abb.A3) als die Verteilung, die während des Flugbetriebs-Zeitraums gemessen wird. Es wird allerdings nicht erklärt, wieso "Hintergrundwerte" höher sein sollen als Werte, bei denen ein zusätzlicher Input angenommen wird.

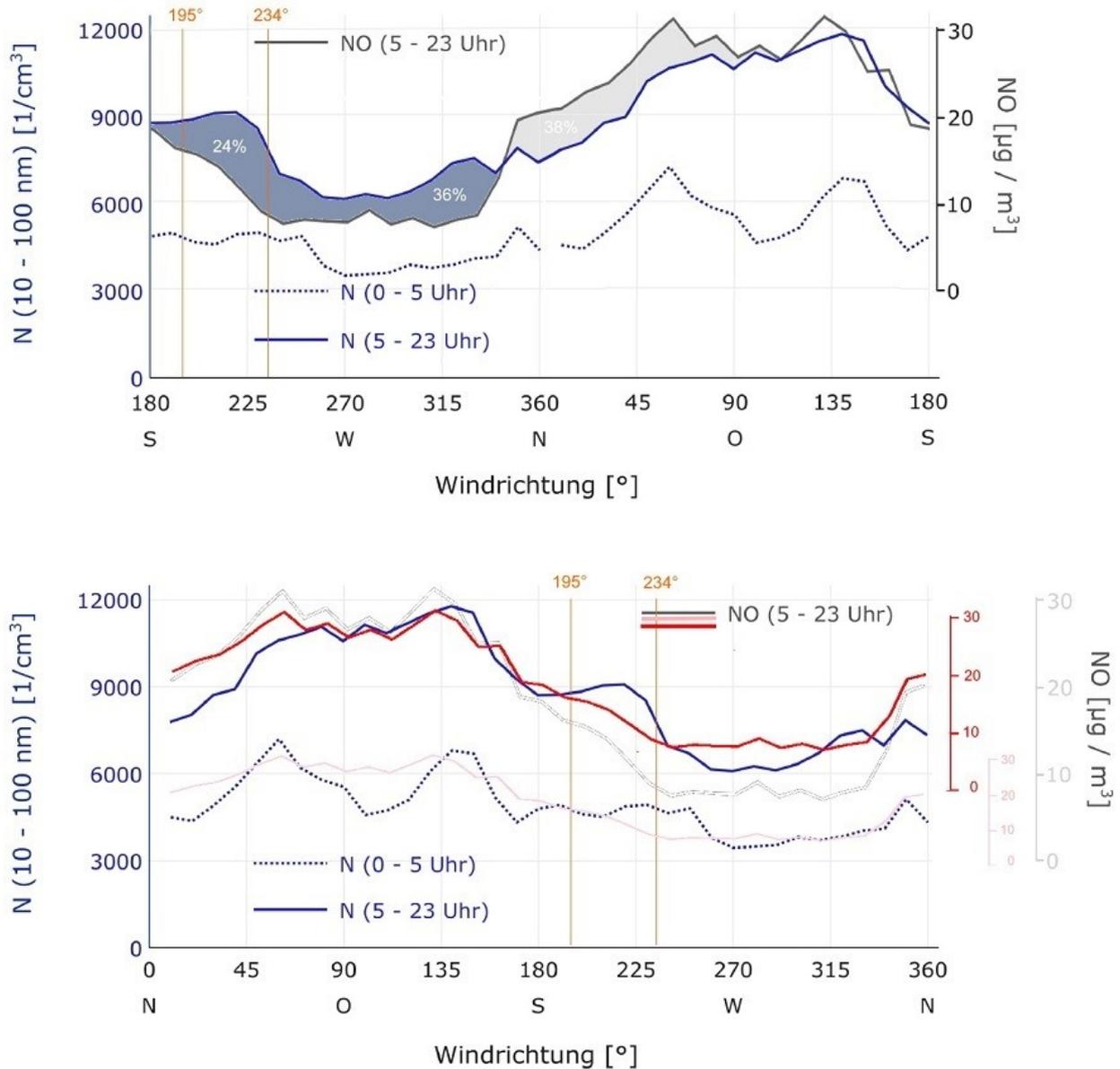
Solche Verschiebungen weisen darauf hin, dass lokale Quellen in den beiden Zeiträumen unterschiedlich wirken oder erfasst werden, und diese Veränderung müsste zunächst untersucht werden, ehe ein externer Input festgestellt werden kann. Als ein lokaler Effekt werden die Strömungsverhältnisse in der Strassenschlucht an der Messstation beschrieben, die je nach Windrichtung unterschiedliche lokale Luftmassen zur Station führen. Daher wird die Windrichtungsabhängigkeit der Messwerte für Ultrafeinstaub und Stickstoffmonoxid, das als Indikator für lokale Verkehrsquellen bezeichnet wird, verglichen. Aus Unterschieden in den Kurvenverläufen wird geschlossen, *"dass die erhöhten UFP-Konzentrationen für den Windrichtungsbereich von 190 - 230° nicht dem Kfz-Verkehr zuzuordnen sind, sondern aus dem deutlichen Einfluss der Emissionen vom Flughafen resultieren"* (S. 16). Der Vergleich wird jedoch weder methodisch erläutert, noch werden die Unterschiede quantifiziert.

In der im Bericht gewählten Korrelation der beiden Meßkurven gibt es zwei Bereiche, die relevante Abweichungen zeigen. Im Bereich von 180°-340° sind die Partikelanzahlen höher (blaugrauer Bereich in Abb.A4), im Bereich von 340°-90° die NO-Werte. Der 'Windsektor'-Bereich von 190°-230° umfasst nur 24% des (als Fläche zwischen den Kurven gemessenen) Unterschieds zwischen den beiden Kurven und nur 40% des Bereichs, in dem die Partikelanzahlen höher sind. Eine Rechtfertigung für einen Schluss auf einen zusätzlichen Partikelinput aus diesem Bereich ergibt sich daraus nicht.

Die Darstellung der beiden Meßkurven im Verhältnis zueinander ist willkürlich gewählt. Es gibt keinen Zusammenhang zwischen einem Unterschied in der Partikelanzahl von 3.000 Teilchen pro Kubikzentimeter und einem in der NO-Konzentration von 10 Mikrogramm pro Kubikzentimeter.

Eine vertikale Stauchung des Maßstabs für die NO-Konzentration auf 2/3 des ursprünglichen Wertes führt zu einer optisch besseren Übereinstimmung beider Kurven. Auch lässt sich der Bereich erhöhter Partikelanzahlen damit auf den Windsektor beschränken, jedoch dominieren jetzt insgesamt eindeutig die Abweichungen bei nördlichen Windrichtungen, die erklärt werden müssten.

Ohnehin ist die Beweiskraft solcher optischer Vergleiche gleich Null, wie auch die Tatsache veranschaulicht, dass die NO-Kurve durch weitere Stauchung des vertikalen Maßstabs auch in vergleichbarer Qualität an die Partikel-Hintergrundkurve angepasst werden kann. Ein solcher Vergleich kann im günstigsten Fall Hinweise für Hypothesen liefern, die durch statistische Methoden überprüft werden müssten. Im vorliegenden Fall ergibt sich allerdings kein solcher Hinweis.



Legende der Original-Abbildung:

Abbildung 5: Vergleich der UFP-Konzentration (N) und Stickstoffmonoxid-Konzentration (NO) in Abhängigkeit der Windrichtung an der Messstelle in der Friedberger Landstraße in Frankfurt. Dargestellt sind Mittelwerte der Partikelanzahl-Konzentrationen (linke Y-Achse) im Größenbereich von 10 – 100 nm für die Zeiträume 0 - 5 Uhr (blau, unterbrochen) und 5 - 23 Uhr (blau). Die mittlere NO-Konzentration von 5 - 23 Uhr (grau) bezieht sich auf die rechte Y-Achse. Die Zeiträume beziehen sich auf den Zeitraum der UFP-Messungen (siehe Tab. 1).

Abbildung A4: basiert auf Abb.5 (S.15) des Berichts. In der oberen Grafik wurde lediglich die Darstellung so verändert, dass die Windrichtung nicht von 0°-360°, sondern von 180°-180° aufgetragen wurde. Dadurch erscheint der Abweichungsbereich bei nördlichen Richtungen zusammenhängend und damit deutlicher.

Im unteren Bereich wurde die Konzentrations-Skala der NO-Kurve auf 2/3 (rot) bzw. 1/2 (hellrot) des ursprünglichen Wertes gestaucht und die Kurven vertikal so verschoben, dass sie optisch gut an die Kurven der Partikelanzahl-Konzentration angepasst sind.

Auch der Vergleich zweier Szenarien, *"die die beiden typischen Anströmverhältnisse (Wind aus Ost und Wind aus Richtung Flughafen) widerspiegeln"* (S. 16) sollen, ergibt Hinweise nur, wenn man eine Reihe lokaler Parameter berücksichtigt. Während der Konzentrationsverlauf in Schwanheim eine deutliche Abhängigkeit von der Windrichtung zeigt, die Konzentrationsschwankungen bei südlichen Richtungen allerdings nur wenig mit der Anzahl Starts oder Landungen korrelieren, zeigen die UFP-Konzentrationen in der Friedberger Landstrasse relativ gleiche Mittelwerte während der "Betriebszeit" von 5:00-23:00 Uhr. Die Umschwünge an beiden Orten treten nahezu zeitgleich auf, können also kaum durch ein Signal verursacht sein, das bei einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s etwa eine halbe Stunde von einer Station zur anderen braucht.

Für weitere Vergleiche sind die Konturplots weniger geeignet. Ein Liniendiagramm mit den Partikelanzahl-Konzentrationen der wichtigsten Partikelgrößen-Bereiche ergibt einen besseren Überblick. Damit lassen sich auch im Tagesverlauf, anders als bei Mittelungen über längere Zeiträume, relativ einfach mögliche Korrelationen zu anderen Parametern darstellen, hier die Sonnenscheindauer und Niederschläge (im Stundenmittel) sowie der Konzentrationsverlauf von Stickstoffmonoxid (als Indikator für Strassenverkehrs-Emissionen).

Als mögliche, zu prüfende Zusammenhänge ergeben sich eine relativ lange, wenig unterbrochene Sonneneinstrahlung am ersten Tag bis zur Änderung der Windrichtung (gegen 18:00 Uhr) mit einer höheren Partikelanzahl-Konzentration im Größenbereich 10-30 nm über den gleichen Zeitraum, sowie eine im Mittel höhere, aber stark schwankende NO-Konzentration mit ebensolchen Schwankungen über einen weiteren Größenbereich bei den ultrafeinen Partikeln am zweiten Tag.

Diese Zusammenhänge wären auch plausibel, da einerseits längerer Sonnenschein an einem Sommertag zu Neubildung von Partikeln (im Größenbereich um 10 nm) in der Atmosphäre führen kann ([Bousiotis et.al. \(2021\)](#)), die zum Teil auch durch vertikalen Transport eine Strassenschlucht erreichen können, andererseits die NO-Konzentration, wie im Bericht angegeben, ein Indikator für "frische" Strassenverkehrsemissionen sein kann und damit darauf hindeutet, dass unter den Bedingungen des zweiten Tages (Wind aus Nord bis Nordost) mehr solche Emissionen die Meßstation erreichen. Unter solchen Verhältnissen wurden in Straßenschluchten schon früher auch Ultrafeinstaub-Peaks mit Maxima um 15 nm gemessen ([Wehner et. al. 2002](#)), die vermutlich durch Bildung von sekundären Aerosolen aus Autoabgasen entstehen. Die annähernd gleichen Mittelwerte der UFP-Konzentration im Bereich 10-30 nm über die Zeiträume von 5:00-23:00 Uhr, in die auch potentielle Sonnenschein- und Verkehrs-Zeiten fallen, wären dann durch zwei unterschiedliche Prozesse der Partikelbildung zu erklären, die jeweils bei einer bestimmten Wetterlage dominieren.

Auch hier müsste natürlich durch statistische Auswertungen überprüft werden, inwieweit solche Annahmen die Variationen in den Meßdaten erklären könnten. Sie erklären die Meßergebnisse jedoch plausibler als die Annahme, dass *"unter bestimmten Bedingungen auch die Messstation in der Friedberger Landstraße von den Emissionen am Flughafen beeinflusst wird"*. Erst recht ist keine Grundlage ersichtlich für die Behauptung, dass bei *"Wind aus Richtung Flughafen ... der mittlere Einfluss des etwa 11 km entfernten Flughafens als ähnlich hoch einzuschätzen"* ist *"wie die mittleren lokalen Emissionen durch den Kfz-Verkehr"*.

Zum "Tagesgang", der die zweite *"typische Eigenschaft der UFP aus Flughafenemissionen"* sein soll, werden keine weiteren Ausführungen gemacht. Es wird offenbar vorausgesetzt, dass die offizielle Flughafen-Betriebszeit von 5:00 - 23:00 Uhr auch die Zeit mehr oder weniger kontinuierlicher Flughafen-Emissionen ist. Typische Tagesgänge von Starts und Landungen und damit variierende Emissions-Arten und -Stärken werden ignoriert.

Auch dass diese Betriebszeiten mit den "Betriebszeiten" anderer anthropogener oder natürlicher UFP-Quellen mehr oder weniger überlappen, vor allem in der Anfangszeit ab 5:00 Uhr morgens, wird nicht weiter diskutiert.

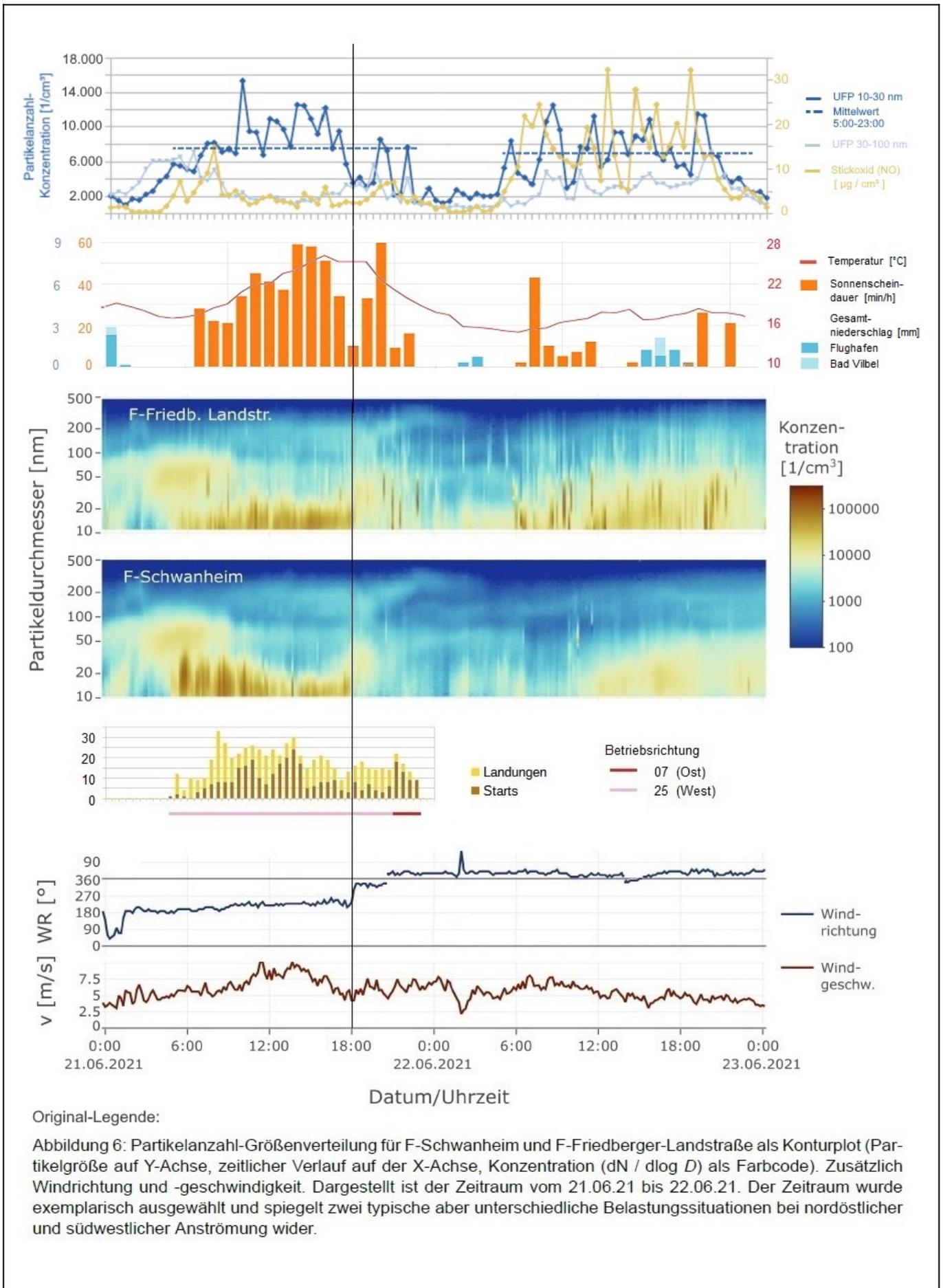


Abbildung A5 (vorhergehende Seite): basiert auf Abb.6 (S.16) des Berichts. Aus dem Original wurden die Konturplots und die Grafiken für Windgeschwindigkeit und Windrichtung übernommen. Letztere wurde allerdings verändert, indem für Zeiten nach 21.06., 20:00 Uhr, die Daten in eine Wiederholung der Winkelwerte nach oben eingetragen wurden. Dadurch werden die irritierenden Sprünge vermieden, die sonst beim Übergang $360^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$ entstehen. Ergänzt wurden Grafiken für die Zahl der Flugbewegungen am 21.06. (Datenquelle: Deutscher Fluglärmdienst, DFLD.de), für Sonnenscheindauer am Flughafen und Niederschläge am Flughafen und der Station Bad Vilbel-Dortelweil (Datenquelle: meteostat.de) und für die Konzentrationen für UFP 10-30 nm und 30-100 nm sowie der Stickstoffmonoxid-Konzentration an der Station Friedberger Landstrasse (Datenquelle: HLNUG Messdatenportal). In die letztgenannte Grafik wurden zusätzlich die Tages-Mittelwerte für UFP 10-30 nm über den Zeitraum 5:00-23:00 Uhr eingetragen. Der Zeitpunkt des Umschwungs der Wetterlage bzw. der Windrichtung wurde durch eine senkrechte Linie über alle Grafiken hinweg markiert.

Partikel-Ausbreitung

Allerdings wird bei der zweiten "exemplarischen Darstellung" auf Tagesabläufe Bezug genommen. Der dominierende Einfluss des Flughafenbetriebs auf die Partikelanzahl-Konzentrationen im Bereich 10-30 nm wird hier allerdings bereits als gegeben angenommen ("*Abbildung 8 zeigt nun exemplarisch für den 23.12.2020 anhand der zeitlichen Entwicklung der Partikelanzahl-Größenverteilung als Konturplot in F-Schwanheim, F-Niedwald und F-Riedberg, wie sich die UFP-Emissionen bei Wind aus südlicher Richtung ausbreiten*", S. 19) und es werden sogar aus den Konzentrationsschwankungen Rückschlüsse auf die Emissionen am Flughafen gezogen ("*Nach Ende des Flugbetriebs um 23:00 Uhr fällt die UFP-Konzentration langsamer ab, was darauf schließen lässt, das im weiteren Betriebsablauf ebenfalls UFP emittiert werden*", S. 20).

Weiter heisst es: "*Zeitlich gesehen ergibt sich beim morgendlichen Anstieg zwischen den einzelnen Messstationen ein leichter Versatz, der der zunehmenden Entfernung zum Flughafengelände entspricht*" (S. 20). Ermittelt man aus dem "Versatz" und der angegebenen Entfernung der Stationen mittlere Geschwindigkeiten, die ein Signal vom Flughafen brauchen würde, um den Anstieg auszulösen, erhält man umso höhere Werte, je weiter die Station entfernt ist. Für die Station Riedberg müsste sie fast doppelt so hoch sein wie für die Station Schwanheim (2,5 vs. 1,3 m/s).

Über den weiteren Verlauf wird ausgeführt: "*Während für F-Schwanheim die Partikelanzahl-Konzentration während der Flugbetriebszeit, bis auf ein Minimum gegen 16:00 - 17:00 Uhr, verhältnismäßig konstant hoch ist, kommt es an den weiter entfernten Stationen in F-Niedwald und F-Riedberg zu Unterbrechungen. Solche Unterbrechungen sind am stärksten an der Station ausgeprägt, die am weitesten entfernt ist, und sind wahrscheinlich auf räumliche Unterschiede bei der Windrichtung zurückzuführen*" (S.20). Betrachtet man die Schwankungen der Anzahl-Konzentrationen im angeblich "Flughafentypischen" Bereich 10-30 nm im Liniendiagramm, sind die Schwankungen in Schwanheim am meisten ausgeprägt, während die Werte am Riedberg in der Zeit von ca. 7:00-15:00 relativ wenig um einen Wert schwanken, der in Tab.2 des Berichts als "Hintergrund" ausgewiesen ist (5.870 1/cm^3) und sonst überwiegend darunter liegen. Hier gibt es im Grunde also kein Signal, dass auf einen externen Input hin untersucht werden könnte.

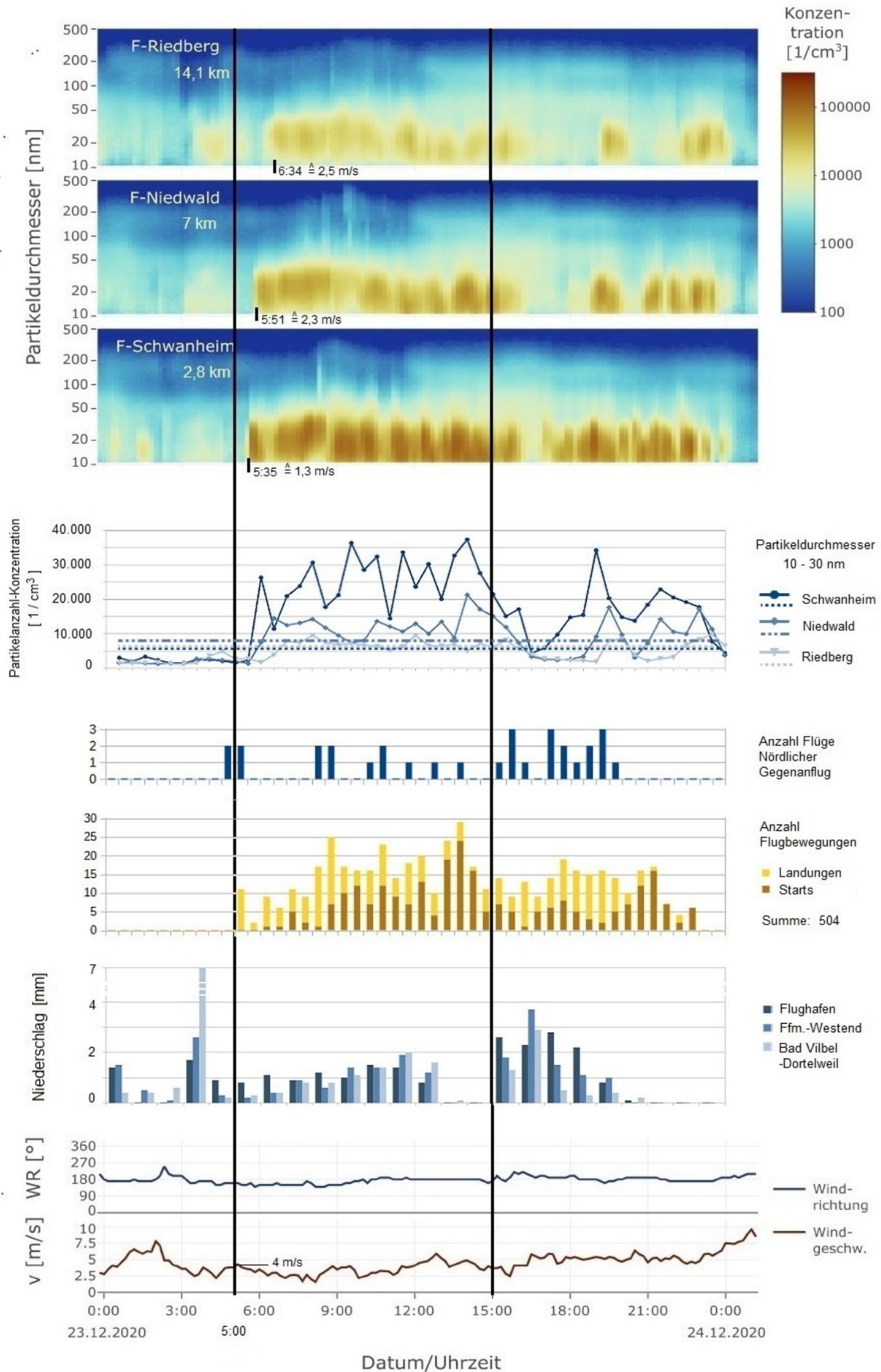


Abbildung A6 (vorhergehende Seite): basiert auf Abb.8 (S.19) des Berichts. Aus dem Original wurden die Konturplots und die Grafiken für Windgeschwindigkeit und Windrichtung übernommen.

Ergänzt wurden Grafiken für Niederschläge an den Stationen Flughafen, Frankfurt-Westend und Bad Vilbel-Dortelweil (Datenquelle: meteostat.de) für die Zahl der Flugbewegungen am Flughafen und im nördlichen Gegenanflug, der südlich der Station Riedberg verläuft (Datenquelle: Deutscher Fluglärmdienst, DFLD.de), und für die Konzentrationen für UFP 10-30 nm an den Stationen Flughafen, Niedwald und Riedberg (Datenquelle: HLNUG Messdatenportal). In die letztgenannte Grafik wurden zusätzlich die "Hintergrund"-Werte für UFP 10-30 nm für die jeweiligen Stationen aus Tab.2 (S.12) markiert (gestrichelte Linien).

Der Zeitpunkt des Betriebsbeginns am Flughafen (5:00 Uhr) und des Einsetzens stärkerer Niederschläge (15:00 Uhr) wurden durch eine senkrechte Linie über alle Grafiken hinweg markiert.

Auffälligstes Ereignis im Verlauf ist die Tatsache, dass gegen 16:00 Uhr an allen Stationen nahezu zeitgleich die Partikel im genannten Bereich fast vollständig aus der Atmosphäre verschwinden. Als plausibelste Erklärung hierfür lassen sich die Niederschlagsdaten anführen. Während es zwischen 5:00 und 13:00 Uhr in der gesamten Region leichten Niederschlag gab, der bis 15:00 Uhr pausierte, setzte danach überall etwas stärkerer Regen ein. Obwohl die Stundenmittel die zeitliche Variabilität der Niederschläge nur unzureichend wiedergeben, passt diese Entwicklung einigermaßen zu den Mustern des Rückgangs der Partikelanzahl-Konzentrationen, und auch das Nachlassen der Niederschläge und das Wiederansteigen der Konzentrationen passen zusammen.

Dass Niederschläge die Entstehung und Ausbreitung von Partikeln generell und auch von ultrafeinen Partikeln negativ beeinflussen, ist bekannt und wird auch in der bereits zitierten Literatur mehrfach erwähnt.

Insbesondere für die Station Riedberg zeigt sich also *"aus dem Vergleich von Messungen bei Wind aus Richtung des Flughafengeländes und den übrigen Messungen"* keineswegs *"ein deutlicher Einfluss des Flugbetriebs"* (S.21). Vielmehr ergibt sich unter Berücksichtigung der anfangs beschriebenen Charakteristika der Straßenverkehrs-Emissionen und der Tatsache, dass nur wenige Hundert Meter entfernt im Süden der Station eine vielbefahrene innerstädtische Verbindungsstraße (Rosa-Luxemburg-Straße) und ein Autobahnzubringer (Marie-Curie-Straße) vorbeiführen, eine wesentlich plausiblere Erklärung aller für die Station präsentierten Meßwerte durch lokale Effekte. Das gilt auch für die im Anhang 6.2, S.28 präsentierte Windrichtungs-Abhängigkeit der gemessenen Konzentrationen und den oben diskutierten ungewöhnlichen 'Windsektor', der den Flughafen nur gerade noch beinhaltet, aber gut zu den beiden Straßen passt.

Weit weniger eindeutig ist die Situation an der Station Niedwald. Die liegt zwar auch in nur geringem Abstand (laut Bericht 100 m) von zwei viel befahrenen Autobahnen (A5 und A648 bzw. der Verbindung zwischen beiden), die liegen aber im Norden bzw. Nordosten der Station und erklären die höheren Konzentrationen bei Wind aus südlichen Richtungen nicht. Die im Süden liegende innerstädtische Verbindungsstraße (Oeser Straße) ist weiter entfernt (ca. 350 m) und weniger befahren. Die viel befahrene Mainzer Landstraße und die Schwanheimer Brücke sind bereits 1.500-2.500 m entfernt. Zwar sind auch hier die Hinweise für einen relevanten Einfluß des Flughafens schwach, aber es drängen sich auch keine alternativen Erklärungen auf. Ohne genauere Untersuchungen lassen sich keine Aussagen machen.

Schlussfolgerungen

Aufgrund der obigen Ausführungen können die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dem Bericht (alle S.22) wie folgt bewertet werden:

"Neben der deutlichen Windrichtungsabhängigkeit, die sich ausschließlich zu Zeiten des Flugbetriebs einstellt, ist vor allem die typische Partikelanzahl-Größenverteilung mit ausgeprägtem Maximum für Partikel kleiner als 30 nm kennzeichnend".

Da andere Quellen mit vergleichbarer Windrichtungsabhängigkeit, Einwirkungszeit und Größenverteilung existieren, aber nicht berücksichtigt werden, ist diese Aussage in keiner Weise belegt, sie ist auch in deutlichem Widerspruch zu Aussagen in der relevanten Literatur.

"Messungen entlang der Hauptwindrichtung in F-Schwanheim, F-Niedwald und F-Riedberg zeigen, dass bei Wind aus Richtung des Flughafengeländes der typische „Fingerabdruck“ der Emissionen aus dem Flugbetrieb bis in 14 km Entfernung zum Flughafen in geringerer Konzentration nachweisbar ist."

Das ist nicht der Fall. Für die Station Riedberg ist ein Einfluß des Flughafens aufgrund der vorliegenden Daten extrem unwahrscheinlich, für die Station Niedwald zumindest nicht nachgewiesen.

"Hierbei nimmt der Einfluss exponentiell mit zunehmender Entfernung ab. Die Ergebnisse sind jedoch nicht auf die exemplarisch ausgewählte Hauptwindrichtung beschränkt, sondern können auch auf andere Windrichtungen übertragen werden".

Für beide Aussagen führt der Bericht keinerlei Belege an.

An der Station Friedberger Landstraße *"ist der charakteristische „Fingerabdruck“ der Emissionen aus dem Flugbetrieb deutlich von den lokalen Emissionen zu unterscheiden. Während beim Einfluss durch die lokalen Emissionen starke und häufige Konzentrationsspitzen in einem weiten Partikelgrößenbereich auftreten, ist unter Einfluss des Flugbetriebs die UFP-Konzentration eher durch eine kontinuierliche Erhöhung im typischen Größenbereich von 10 – 30 nm geprägt".*

Wie Abb.A5 zeigt, sind die Schwankungen im UFP-Bereich 10-30 nm unter den 'zwei typischen Belastungssituationen' nicht sehr unterschiedlich (tatsächlich ist die Standardabweichung im Bereich 21.06 5:00-18:Uhr, d.h. bis zur Änderung der Windrichtung, und am 22.06, 5:00-23:00 Uhr praktisch identisch.). Unterschiede ergeben sich im Bereich 30-100 nm, der angeblich vom Flugbetrieb nicht beeinflusst wird, durch die bessere Erfassung lokaler Emissionen bei östlichen Winden.

"Im Vergleich zu typischen UFP-Konzentrationen im städtischen Hintergrund (6.000 - 7.000 Partikel pro cm^3) ist die mittlere UFP-Konzentration in der Friedberger Landstraße um etwa 50 % erhöht"

Dass eine vielbefahrene Straßenschlucht deutlich höhere Partikel-Konzentrationen aufweist als städtischer Hintergrund, bedarf keiner Erwähnung. Laut Tab.2 des Berichts beträgt der 'Hintergrund' an der Station 8860 [1/cm^3], dieser Wert ist bei 'Flughafeneinfluß' um ca. 11% erhöht (9810 [1/cm^3]). Diese Erhöhung ist angesichts viel höherer Schwankungen aufgrund meteorologischer Bedingungen kaum relevant, ein wesentlicher externer Einfluss lässt sich daraus nicht ablesen.

"Bei Wind aus Richtung Flughafen tragen die lokalen Emissionen und die Emissionen vom etwa 11 km entfernten Flughafen in etwa gleichem Maße zur UFP-Konzentration bei."

Es ist unklar, was hier verglichen wird. Die lokalen Emissionen liegen gemittelt über "nicht-südwestliche", d.h. außerhalb des 'Windsektors' liegenden Winde und Nicht-Verkehrszeiten (23:00-5:00 Uhr), ca. 30-50% höher als der allgemeine städtische Hintergrund, bei südwestlichen Winden während der Verkehrszeiten 40-65%. Derartige Unterschiede lassen sich ebenso wie die präsentierten Meßdaten wesentlich plausibler durch die unterschiedliche Ausprägung und Erfassung lokaler Emissionen erklären, ein Nachweis eines Inputs aus externen Quellen ergibt sich daraus nicht.

In der "Zusammenfassung" am Anfang des Berichts finden sich noch die Sätze *"In F-Riedberg führen die zusätzlichen Emissionen bei Wind aus Richtung Flughafen zu einer Erhöhung der UFP-Konzentration von etwas mehr als 25 %. Sie beeinflussen somit bei südwestlichem Wind vermutlich unter anderem weite Teile des Frankfurter Stadtgebiets."*

Riedberg ist die am weitesten vom Flughafen entfernte Station des UFP-Meßnetzes. Laut den Daten aus Tab.2 (S.12) liegen die lokalen Emissionen gemittelt über "nicht-südwestliche" Winde und Nicht-Verkehrszeiten unter dem allgemeinen städtischen Hintergrund (5.870 [1/cm³]), bei südlichen Winden während der Verkehrszeiten 5-25% darüber. Angesichts der Lage der Station nur wenige hundert Meter nördlich viel befahrener Straßen (s.o.) schließt das relevante externe Inputs weitgehend aus.

Eine Beeinflussung "weiter Teile des Frankfurter Stadtgebiets" durch die UFP-Emissionen des Flugbetriebs am Frankfurter Flughafen wird daher durch die im Bericht präsentierten Daten nicht nachgewiesen.

Zur Ermittlung der räumlichen und zeitlichen Ausdehnung des Einflusses des Flugbetriebs auf die Wohnbevölkerung im Umland sind weitere Messungen, vor allem aber auch präzisere Auswertungen der bereits gesammelten Daten notwendig.

Rückfragen und Kritik bitte an:

Horst Bröhl-Kerner, Sprecher
BI gegen Fluglärm Raunheim
Bahnhofstr. 47, 65479 Raunheim
Tel. 06142 22577
Mail hbk@bifr.de
Web www.bi-fluglaerm-raunheim.de