

Flugverkehr und Luftverunreinigungen im Ballungsraum Rhein-Main

3. Bericht 2020

Belastung durch Ultrafeinstaub



Inhalt

1. Grundlagen	3
1.1. Einleitung	3
1.2. Der Flughafen Frankfurt am Main	3
1.3. Entstehung, Messung und Verteilung von Luftschadstoffen	5
1.4. Gesetzliche Grenzwerte und Erfassung der Luftqualität	6
2. Emissionen des Flugverkehrs	7
3. Immissionsmessungen im Einflussbereich des Flughafens.....	9
3.1. Stickstoffdioxid (NO ₂)	10
3.1.1. Immissionsmessungen NO ₂ unter der Anfluggrundlinie auf dem Lerchesberg (FFM)	10
3.1.2. Immissionsmessungen NO ₂ auf dem Flughafengelände und Umfeld.....	12
3.2. Ultrafeinstaub	13
3.2.1. Quellen von Ultrafeinstaub und Transport in der Atmosphäre	13
3.2.2. Erfassung von ultrafeinen Partikeln.....	14
3.2.3. Immissionsmessungen und Anzahlkonzentrationen ultrafeiner Partikel Sachsenhausen und Oberrad	15
3.2.4. Einfluss von Überflügen auf die Ultrafeinstaubkonzentration	19
3.2.5. Weiterführende Informationen zu Ultrafeinstaub.....	20
4. Zusammenfassung	20

Impressum

Herausgeber: Stadt Frankfurt am Main – Der Magistrat – Umweltamt
Galvanistraße 28
60486 Frankfurt am Main
www.umweltamt.stadt-frankfurt.de

Redaktionelle Bearbeitung und Gestaltung:

Umweltamt, Sachgebiet Immissionsschutz (79.32)
Philipp Wolfrum 069-212 39188, philipp.wolfrum@stadt-frankfurt.de
Jonas Rombach 069-212 31119, jonas.rombach@stadt-frankfurt.de
Darstellungen teilweise auf Grundlage von Daten des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Datengrundlage: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)
Fraport AG
Deutscher Wetterdienst

Titelbild Ultrafeinstaubmessgerät Alter Friedhof Oberrad
© Philipp Wolfrum, Stadt Frankfurt am Main

Stand: Januar 2020

1. Grundlagen

1.1. Einleitung

Dieser Bericht stellt in einer dritten Ausgabe die Auswirkungen des Flugverkehrs auf die Luftqualität in Frankfurt am Main dar. Es werden zunächst wichtige lufthygienische Begriffe und Zusammenhänge, die Ausbreitungsgrundlagen von Luftschadstoffen erläutert sowie gesetzliche Grenzwerte und Messstellen erklärt. Da in den letzten Jahren vermehrt Ultrafeinstaub in den Fokus der Diskussionen gerückt ist, wird das Thema in diesem Bericht gesondert aufgegriffen.



Abbildung 1: Luftbild des Frankfurter Flughafens 2018 (Stadtvermessungsamt Frankfurt a. M.)

1.2. Der Flughafen Frankfurt am Main

Der Frankfurter Flughafen ist gemessen an den jährlich über einer halben Million Flugbewegungen und einem Passagieraufkommen von über 70,5 Millionen (2019) der mit Abstand größte deutsche Flughafen und viertgrößter Flughafen in Europa¹. Im internationalen Vergleich rangiert der „Frankfurt Airport“ weltweit an vierzehnter Stelle (2017)²; gemessen am Frachtaufkommen an elfter Stelle.

Das Flughafengelände erstreckt sich über 2160 Hektar ca. 10 km südwestlich der Innenstadt von Frankfurt am Main. Ein Großteil liegt als eigenständiger Stadtteil im Stadtgebiet Frankfurt am Main. Der Flughafen verfügt über 4 Bahnen, wovon drei parallel in Ost-West-Richtung in 70° bzw. 250° ausgerichtet sind. Zwei dieser Bahnen werden für Starts und Landungen genutzt. Die im Oktober 2011 eröffnete Bahn Nordwest wird als reine Landebahn angefliegen. Die Startbahn West ist genau nach Nord-Süd (180°) zur ausschließlichen Nutzung für Starts in südlicher Richtung ausgerichtet.

¹ <https://www.fraport.de/content/fraport/de/unternehmen/newsroom/pressemeldungen/fraport-verkehrszahlen-2019--ueber-70-5-millionen-passagiere-am-.html>

² <https://aci.aero/news/2018/04/09/aci-world-releases-preliminary-2017-world-airport-traffic-rankings-passenger-traffic-indian-and-chinese-airports-major-contributors-to-growth-air-cargo-volumes-surge-at-major-hubs-as-trade-wars-thre/>

Die Verkehrszahlen legen nahe, dass der Flughafen einen für die Region bedeutsamen Großemittenten von Luftschadstoffen darstellt. Die Emissionen des Rhein-Main-Flughafens entstehen hauptsächlich durch den Flugbetrieb. Die Anzahl der Flugbewegungen nahm nach einer Phase der Stagnation seit 2018 wieder zu, die Zahl der abgefertigten Passagiere steigt weiter kontinuierlich.

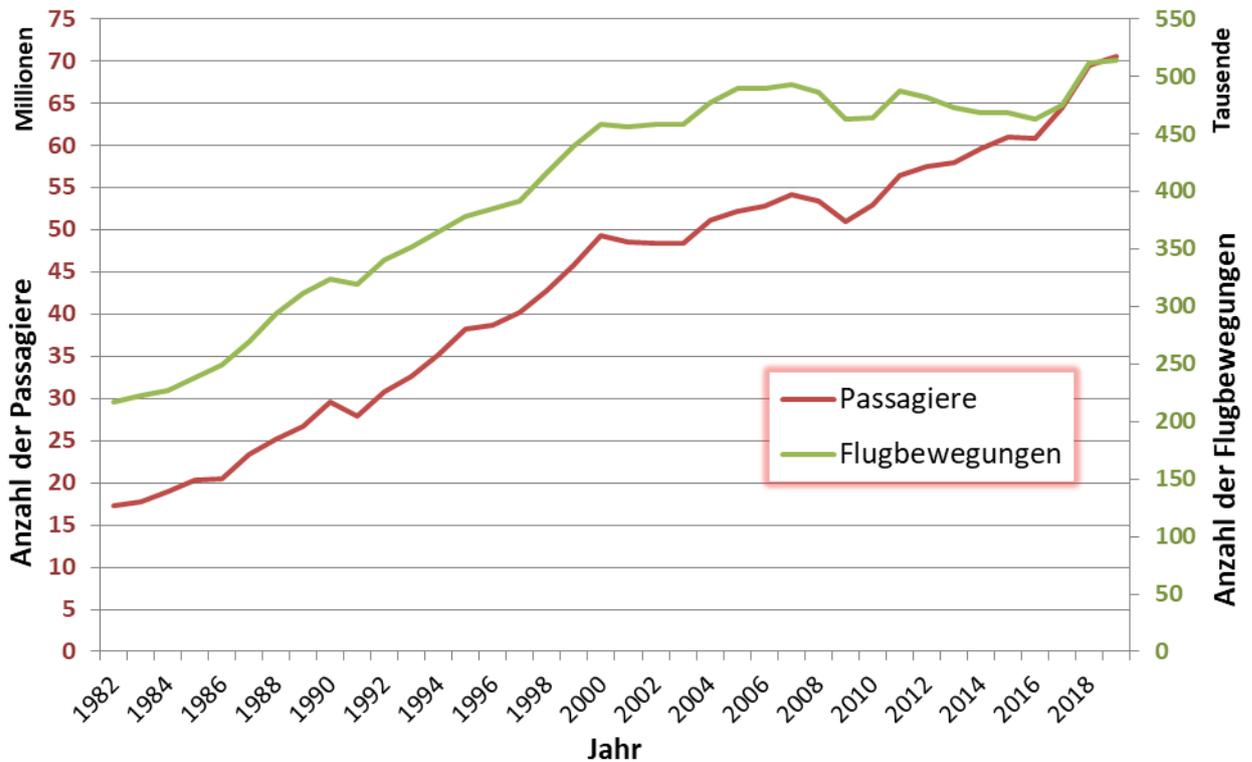


Abbildung 2: Entwicklung von Flugbewegungen und abgefertigter Passagiere seit 1982 (Fraport AG)

Die Belastung im Rhein-Main-Gebiet durch Lärm und Luftschadstoffe verteilt sich um das Flughafen- gelände als Flächenquelle und als Linienquellen in Form der An- bzw. Abfluggrundlinien. Die Nutzung dieser variiert in Abhängigkeit zu der jeweiligen Betriebsrichtung des Flughafens. Flugzeuge starten und landen immer gegen den Wind. Hieraus ergibt sich ein wirtschaftlicher und physikalischer sowie lufthygienischer Nutzen: Das Flugzeug benötigt einen kürzeren Rollweg und eine niedrigere Geschwindigkeit um abzuheben; umgekehrt reduziert sich die Aufsetzgeschwindigkeit sowie der benötigte Ausroll- und Bremsweg. Bei Westwindwetterlagen findet der Endanflug über Offenbach, das südliche Stadtgebiet Frankfurt am Main, Neu-Isenburg und Zeppelinheim statt (Betriebsrichtung 25 - West). Weht der Wind aus östlichen Richtungen, erfolgt der Anflug aus dem Westen über Mainz, Hochheim, Bischofsheim, Flörsheim am Main, Rüsselsheim und schließlich Raunheim hinweg (Betriebsrichtung 07 - Ost). Die Betriebsrichtung West wird an etwa 75% aller Tage geflogen, entsprechend besteht an etwa 25 % der Zeit Ostbetrieb (langjähriger Durchschnitt)³.

Betriebsrichtung 25 – West: Starts Richtung Westen, Landung aus dem Osten;
Betriebsrichtung 07 – Ost: Starts Richtung Osten, Landung aus dem Westen

³ <https://www.umwelthaus.org/fluglaerm/basiswissen/betriebsrichtung-und-rueckenwind/>

1.3. Entstehung, Messung und Verteilung von Luftschadstoffen

Menschengemachte (anthropogene) Luftschadstoffe werden vorrangig bei Verbrennungsvorgängen freigesetzt. Je nach eingesetztem Brennstoff, der Art und Weise der Verbrennung und der zum Einsatz kommenden Technik zur Abgasnachbehandlung gelangen Schadstoffe über den Abgasstrom in die Umwelt. Diese am Schornstein, Auspuff oder Triebwerk entstehende Schadstoffkonzentration (oder der Schadstoffmassenstrom) wird als **EMISSION** (Schadstoffausstoß) bezeichnet. Hauptemittenten-gruppen in der Region Frankfurt sind der Kraftfahrzeugverkehr, die Industrie, die Gebäudeheizungen und der Flugverkehr.

Bei Freisetzung einer Emission verteilt, verdünnt und vermischt sich diese mit der Umgebungsluft im Wind. Dieser Vorgang wird als **TRANSMISSION** bezeichnet. Während der Transmission finden fortwährend chemische und physikalische, teils sehr komplexe Stoffumwandlungsvorgänge statt. Durch Lichteinwirkungen werden Schadstoffe um- oder abgebaut. Regen kann Schadstoffe aus der Luft auswaschen und Koagulationsvorgänge bewirken eine Zusammenballung von Staubpartikeln. Während des Transmissionsprozesses findet eine Vielzahl an Reaktionen statt, welche sich auf die Luftschadstofffracht und deren Zusammensetzung auswirken.

Von der für uns Menschen gesundheitlich relevanten **IMMISSION** (Schadstoffeinwirkung) wird gesprochen, wenn das Luftschadstoffgemisch schließlich an seinem Wirkort angelangt. In Bezug auf den Menschen oder auf Tiere ist dies beispielsweise der Atemtrakt. Auch bei der nassen oder trockenen Deposition (Ablagerung) auf Pflanzen, Böden etc. spricht man von einer Immission. Es ist nach-

vollziehbar, dass sich eine Immission sehr stark von der Emission unterscheiden kann. Je länger die Transmission andauert, desto umfangreicher finden Verdünnungs- und Um- bzw. Abbauprozesse statt. Auch führen Vermischungen mit anderen Emissionen zu einem ständig wechselnden Stoffgemisch. Ein Schadstoffmolekül kann wenige Zentimeter bis zu mehreren

tausend Kilometer reisen, bis es an seinem Wirkort oder Immissionsort angelangt.

Ein deutlicher Unterschied zwischen Emission und Immission besteht also darin, dass der Immissionsbeitrag eines Schadstoffs immer einen Summenparameter aus vielen verschiedenen Emittenten darstellt und dessen Quellenzuordnung messtechnisch zunächst nicht ohne weiteres möglich ist. Erfasst eine Messtechnik beispielsweise die Feinstaubimmissionskonzentration, kann sich diese unter Umständen teilweise aus der Emission eines 5 Meter entfernten Kraftfahrzeugs bis hin aus aufgewirbeltem Saharastaub (Ferntransport) zusammensetzen. Jegliche Emittenten im lokalen, regionalen oder überregionalen Umfeld können zur Immissionskonzentration beitragen. Je größer die Emission eines Emittenten ist und insbesondere je näher sich dieser am Immissionsort befindet (kurzer Transmissionsweg), desto höher ist in der Regel unter Berücksichtigung der Wetterverhältnisse der Anteil an der Immissionskonzentration.

Bei Verbrennungsvorgängen werden neben dem klimarelevanten Kohlenstoffdioxid und Wasser auch Schadstoffe wie Stäube, Stickstoffoxide, Schwefeloxide, Kohlenmonoxid, organische Verbindungen und Schwermetalle emittiert. Zur Erfassung dieser Luftschadstoffe kommen unterschiedliche Messtechniken und Analysemethoden zum Einsatz. Häufig werden Schadstoffe in Summenparametern zusammengefasst, was den Messaufwand und die Wirkungsbeurteilung deutlich vereinfacht. Organische Verbindungen, welche teilweise in geringsten Spuren von Flugzeugtriebwerken oder Kfz-Motoren emittiert werden, bestehen aus über 350 Einzelverbindungen⁴.

EMISSION: Schadstoffausstoß an der Quelle, Verursacher
TRANSMISSION: Weitertransport, Verdünnung und Drift
IMMISSION: Schadstoffeinwirkung, „Empfänger“

⁴ Emissionen organisch-chemischer Verbindungen aus zivilen Flugzeugtriebwerken, Dipl.-Ing. Walter Eickhoff, Hessische Landesanstalt für Umwelt (Dezernat 6.2; Luftreinhaltung/Emissionen; Ludwig-Mond-Str.33, 34121 Kassel), Oktober 1998

1.4. Gesetzliche Grenzwerte und Erfassung der Luftqualität

Die Luftqualität wird in Hessen durch das umfangreiche Messnetz des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) konsequent überwacht. Das HLNUG betreibt in Hessen zahlreiche Luftmessstationen, die zu jeder Tageszeit die Konzentration der Luftschadstoffe messen, sowie zahlreiche Passivsammler zur Ermittlung der Belastung durch Stickstoffdioxid. Passivsammler sind kleine Messröhrchen, welche über einen jeweils etwa einmonatigen Zeitraum das in der Luft enthaltene Stickstoffdioxid chemisch binden. Die anschließend im Labor analysierte Menge des gebundenen Stickstoffdioxids lässt Rückschlüsse auf die Konzentration im Zeitraum der Messung zu. Die erhobenen Werte sind öffentlich einsehbar (siehe Kapitel 3.2.5).

Luftmessstationen charakterisieren drei verschiedene Belastungsqualitäten. Es wird zwischen städtischen verkehrsnahen Stationen (in direkter Straßennähe an vielbefahrenen Straßen), Stationen im städtischen Hintergrund („typische“ Luftqualität in einer Stadt) und Stationen im ländlichen Hintergrund (großräumiges Luftqualitätsniveau, abseits von Emittenten) unterschieden.

In der Stadt Frankfurt am Main überwachen dauerhaft drei Luftmessstationen die Luftqualität. Eine hiervon steht verkehrsnah an der Friedberger Landstraße. Diese Messstation dokumentiert den „worst case“, die höchste Luftschadstoffbelastung an eng bebauten, schlecht durchlüfteten und vielbefahrenen Straßen. Die beiden anderen Messstationen repräsentieren den städtischen Hintergrund. Am Bahnhof Höchst und im Osten von Frankfurt (Hanauer Landstraße) wird die großräumige Luftschadstoffbelastung gemessen. Darüber hinaus ist derzeit in Frankfurt-Schwanheim eine temporäre Luftmessstation in Betrieb, welche auch die Anzahlgrößenverteilung von ultrafeinen Partikeln erfasst. In 2019 sind insgesamt acht Passivsammler zur erweiterten Erfassung der Belastung durch Stickstoffdioxid in Betrieb, welche sowohl verkehrsnah als auch im städtischen Hintergrund messen.

Eine temporäre Luftmessstation war auf dem Lerchesberg direkt unter der Anfluggrundlinie der Nordwestlandebahn ab Mai 2012 in Betrieb und wurde anschließend jeweils für ein weiteres Messjahr in Flörsheim am Main (2013/2014), Mörfelden-Walldorf (2014/2015) und Neu-Isenburg (2015/2016) betrieben. Hintergrund ist die Erfassung möglicher Immissionen durch den Flugverkehr. Der Magistrat hatte sich Ende 2011 für zusätzliche Luftmessungen im Frankfurter Süden eingesetzt und führt seit Versetzung der Luftmessstation eigenfinanzierte Messungen von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler am Lerchesberg fort.

Weitere flugverkehrsrelevante Luftmessstationen werden auf dem Vorfeld des Frankfurter Flughafens durch die Fraport AG betrieben.

Seit 2015 führt das HLNUG Messungen zu Ultrafeinstaub durch, welche inzwischen kontinuierlich ausgebaut worden sind und auch durch zwei städtische Messgeräte ergänzt wurden. Ultrafeinstaub unterliegt keinen Grenzwerten, steht aber in Verdacht gesundheitsschädlich zu sein. Der Flugverkehr gilt als ein Hauptverursacher ultrafeiner Partikel in der Region.

Eine Zusammenstellung der geltenden Immissionsgrenzwerte zeigt Tabelle 1. Die Immissionswerte sind in der 39. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) festgelegt. Diese Verordnung setzt die EU-Richtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht um. Mit Ausnahme von Stickstoffdioxid (Stichworte Dieselskandal, Fahrverbote) können die Grenzwerte in Frankfurt am Main dank umfangreicher lufthygienischer Maßnahmen inzwischen relativ sicher eingehalten werden.

Tabelle 1: Grenzwerte und Zielwerte nach der 39. BImSchV⁵

Luftschadstoff	Kenngroße	Einheit	Grenzwert / *Zielwert (Anzahl zulässiger Überschreitungen)	
Benzol (C ₆ H ₆)	Jahresmittel	µg/m ³	5	
Kohlenmonoxid (CO)	max. 8-h-Mittel	mg/m ³	10	
Stickstoffdioxid (NO ₂)	1-h-Mittel	µg/m ³	200 (18 mal)	
	Jahresmittel	µg/m ³	40	
Ozon (O ₃)	8-h-Mittel	µg/m ³	*120 (25 mal)	
	1-h-Mittel [Informationsschwelle]	µg/m ³	[180]	
Feinstaub (PM _{2,5})	Jahresmittel	µg/m ³	25	
Feinstaub (PM ₁₀)	24-h-Mittel	µg/m ³	50 (35 mal)	
	Jahresmittel	µg/m ³	40	
Ultrafeinstaub (PM _{0,1})	-	n/cm ³	-	
Schwefeldioxid (SO ₂)	1-h-Mittel	µg/m ³	350 (24 mal)	
	24-h-Mittel	µg/m ³	125 (3 mal)	

1 g = 1.000 mg = 1.000.000 µg; 1 µg = 0,001 mg = 0,000 001 g

- Grenzwerte werden im Stadtgebiet sicher eingehalten
- Zielwerte werden im Stadtgebiet stellenweise in manchen Jahren überschritten
- Grenzwert wird im Stadtgebiet noch stellenweise überschritten

2. Emissionen des Flugverkehrs

Emissionsseitig hat der Flughafen Frankfurt als viergrößtes europäisches Drehkreuz eine herausragende Rolle. Insbesondere die durch Flugzeuge verursachten Emissionen tragen mit hohem Anteil zu den im Stadtgebiet Frankfurt am Main freigesetzten Emissionen bei. Darüber hinaus induziert der Flughafen zusätzliche Emissionen, beispielsweise durch den Kfz-Verkehr bei An- und Abreisevorgängen, Liefer- und Versorgungsverkehr.

In Tabelle 2 sind die aktuellen Emissionskatasterdaten dargestellt. Diese werden vom HLNUG in verursacherspezifischen, mehrjährigen Rhythmen erhoben. Eine Vergleichbarkeit ist daher aufgrund der unterschiedlichen Erhebungsjahre nur bedingt gegeben. Die Stickoxidemissionen des Flugverkehrs belaufen sich in Frankfurt am Main auf knapp 24 % der Gesamtemission aller Emissionskataster (Flugverkehr 2017, Industrie 2016, Kfz-Verkehr 2015 und Gebäudeheizungen 2012). Beim Feinstaub PM₁₀ beträgt der Anteil des Flugverkehrs etwa 5 %, bei den Schwefeloxiden etwa 15 %.

Tabelle 2: Emissionen verschiedener Emittentengruppen z.T. nach Katastern in Tonnen pro Jahr

⁵ Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 02.08.2010

Flugverkehr 2017

Datenstand: 2017 Emissionsangaben in t/a*, Fraport AG [6]

	Feinstaub		Stickstoff-oxide	Benzol	Toluol	Xylol	Schwefel-oxide	Kohlen-monoxid
	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x	Benzol	Toluol	Xylol	SO ₂	CO
Hessen	-	-	-	-	-	-	-	-
Ballungsraum Rhein-Main	-	-	-	-	-	-	-	-
Frankfurt a. M.	23	-	2.517	-	-	-	164	-

* Emissionen Luftverkehr bis 300 m Höhe (Rollen, Start, Steigflug, Sinkflug inkl. Ausrollen, Triebwerkszündungen, APU)

Industrie 2016

Datenstand: April 2019 Emissionsangaben in t/a, HLNUG

	Feinstaub		Stickstoff-oxide	Benzol	Toluol	Xylol	Schwefel-oxide	Kohlen-monoxid
	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x als NO ₂	Benzol	Toluol	Xylol	SO _x als SO ₂	CO
Hessen	963	474	11.834	74	6,4	50,2	2177	5688
Ballungsraum Rhein-Main	179	111	6.183	0,98	3,2	0,8	1.520	2.137
Frankfurt a. M.	29	18	2.674	0,11	2,7	0,8	769	594

Kfz-Verkehr 2015

Datenstand: 22.11.2019 Emissionsangaben in t/a, HLNUG

	Feinstaub		Stickstoff-oxide	Benzol	Toluol	Xylol	Schwefel-oxide	Kohlen-monoxid
	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x als NO ₂	Benzol	Toluol	Xylol	SO _x als SO ₂	CO
Hessen	3.174	1.594	44.717	338	492	451	70	80.617
Ballungsraum Rhein-Main	1.098	541	15.262	132	195	179	23	28.278
Frankfurt a. M.	337	160	4.555	41	61	56	7	8.339

Gebäudeheizung 2012

Datenstand: Juli 2016 Emissionsangaben in t/a, HLNUG

	Feinstaub		Stickstoff-oxide	Benzol	Toluol	Xylol	Schwefel-oxide	Kohlen-monoxid
	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO _x als NO ₂	Benzol	Toluol	Xylol	SO _x als SO ₂	CO
Hessen	1.928	1.831	7.136	145	-	-	1.921	56.648
Ballungsraum Rhein-Main	325	309	2.427	24	-	-	544	9.924
Frankfurt a. M.	71	67	631	5	-	-	148	2.183

etwa 500 Meter nördlich zur Anfluggrundlinie auf die Nordwestlandebahn auf dem Alten Friedhof Oberrad am Rande eines Wohngebiets. Der Vorbeiflug an dieser Station findet bei Westbetrieb in einer Höhe von etwa 800 Metern statt. Bei Betriebsrichtung Ost verläuft zusätzlich eine Abflugroute (07N-lang) 500 Meter nordwestlich bis westlich dicht an der Station. Der Vorbeiflug variiert aufgrund verschiedener Steigwinkel der Flugzeuge in sehr unterschiedlichen Höhen. Die beiden Messstationen für ultrafeine Partikel der Stadt Frankfurt am Main, auf deren vorläufige Messergebnisse dieser Bericht nachfolgend ausführlich eingehen wird, werden durch das HLNUG betrieben.

Eine weitere Messstation, die hauptsächlich zur Erfassung ultrafeiner Stäube errichtet wurde, befindet sich im südlichen Schwanheim auf dem Gelände einer Sportanlage an der Schwanheimer Bahnstraße. Die Station ist im Lee der Hauptwindrichtung des Flughafens positioniert. Weitere temporäre Ultrafeinstaubmessungen (Niedwald und Mönchshof) wurden Ende 2019 umgesetzt.

Zwei Messstationen werden auf dem Gelände des Frankfurter Flughafens betrieben. An diesen Messstationen werden derzeit vor allem grenzwertbehaftete Luftschadstoffe erfasst. Die Messstationen sind jedoch nicht Bestandteil des hessischen Luftmessnetzes, da lufthygienische Grenzwerte auf Betriebsgeländen ohne Zutritt für die Öffentlichkeit nicht gültig sind. Die Messung von Ultrafeinstaub ist dort ebenfalls geplant.

3.1. Stickstoffdioxid NO₂

Stickstoffdioxid ist ein Reizgas, welches über die Atemwege aufgenommen wird und den Atemtrakt reizen kann. Es entsteht insbesondere bei hochthermischen Verbrennungsprozessen, wobei Stickstoff der Luft mit Sauerstoff oxidiert.⁶ Stickstoffdioxid steht nach wie vor in einer breiten, öffentlichen Diskussion, da der Grenzwert für das Stickstoffdioxid-Jahresmittel stellenweise an vielbefahrenen Straßen nicht eingehalten werden kann. Vorrangig sind die hohen Stickoxidemissionen von Dieselfahrzeugen für die Grenzwertüberschreitungen verantwortlich. Da diese mit „nachgeschalteten“ Maßnahmen nur bedingt gemindert werden können, sind Fahrverbote für bestimmte Fahrzeuge eine kontrovers diskutierte Alternative.

Da der Flugverkehr emissionsseitig große Mengen an Stickoxiden produziert, stehen die Auswirkungen des Flughafens und des Flugverkehrs auf die Immissionsbelastung ebenfalls im Fokus und werden nachfolgend dargestellt.

3.1.1. Immissionsmessungen NO₂ unter der Anfluggrundlinie auf dem Lerchesberg (FFM)

Nach Inbetriebnahme der Nordwestlandebahn wurde im Mai 2012 auf dem Frankfurter Lerchesberg eine kontinuierliche Messstation des HLNUG in Betrieb genommen. Aufgrund der Emissionsmenge von Stickstoffdioxid (vergleiche Tabelle 2) wurde dieser Schadstoff als Marker für überflugbedingte Konzentrationsschwankungen der bodennahen Belastung heran gezogen. Detailauswertungen des HLNUG und der Stadt Frankfurt am Main konnten jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zeigen. Die Messdaten sind getrennt nach überflugfreier Zeit und überflogener Zeit betrachtet worden, deutliche Konzentrationsunterschiede mit Hinweis auf den Flugverkehr gab es jedoch nicht. Auch die nachfolgenden einjährigen Messungen der Station in Flörsheim am Main, Mörfelden-Walldorf und Neu-Isenburg haben keinen klaren Zusammenhang gezeigt.

⁶ Weitere Informationen unter https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/faltblaetter/Stickstoffoxid_12Seiten_2017_170606_Web.pdf

Nach dem einjährigen Betrieb der Messstation auf dem Frankfurter Lerchesberg sind die Messungen mittels Stickstoffdioxid-Passivsammlern fortgesetzt worden. Inzwischen liegt eine mehrjährige Datenreihe vor. Die Stadt Frankfurt am Main hat sich dazu entschieden, die Messungen auf dem Lerchesberg mittels Passivsammler fortzusetzen, um mögliche Auswirkungen der Zunahme des Flugverkehrs auf die Stickstoffdioxid-Langzeitkonzentrationen zu überwachen. Da Passivsammler nur Monatsmittelwerte generieren, können kurzzeitige Überflusereignisse nicht erfasst werden.

Sämtliche Messdaten zu Stickstoffdioxid, die bislang auf dem Lerchesberg erhoben wurden, sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Monatsmittelwerte unterliegen den typischen jahreszeitlichen, meteorologisch bedingten Schwankungen. Diese sind geprägt von höheren Konzentrationen im Winterhalbjahr und niedrigeren Konzentrationen im Sommerhalbjahr. Insgesamt geht die Belastung durch Stickstoffdioxid zurück, im Jahresmittel ist die Belastung durchschnittlich um etwa ein Mikrogramm pro Kubikmeter gesunken – von 24,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2013 auf 19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2018. In dieser Zeit sind jedoch die Passagierzahlen und zuletzt wieder die Anzahl der Flugbewegungen gestiegen (vergleiche Abbildung 2). Der Lerchesberg profitiert demnach vom allgemeinen Rückgang der Hintergrundbelastung von Stickstoffdioxid, welche hauptsächlich durch den Kfz-Verkehr bedingt wird. Auch der Flughafen bzw. der Flugverkehr haben Auswirkung auf die Stickstoffdioxid-Hintergrundbelastung⁷, wenngleich sich diese nicht direkt an den Ergebnissen des Lerchesbergs ablesen lassen.

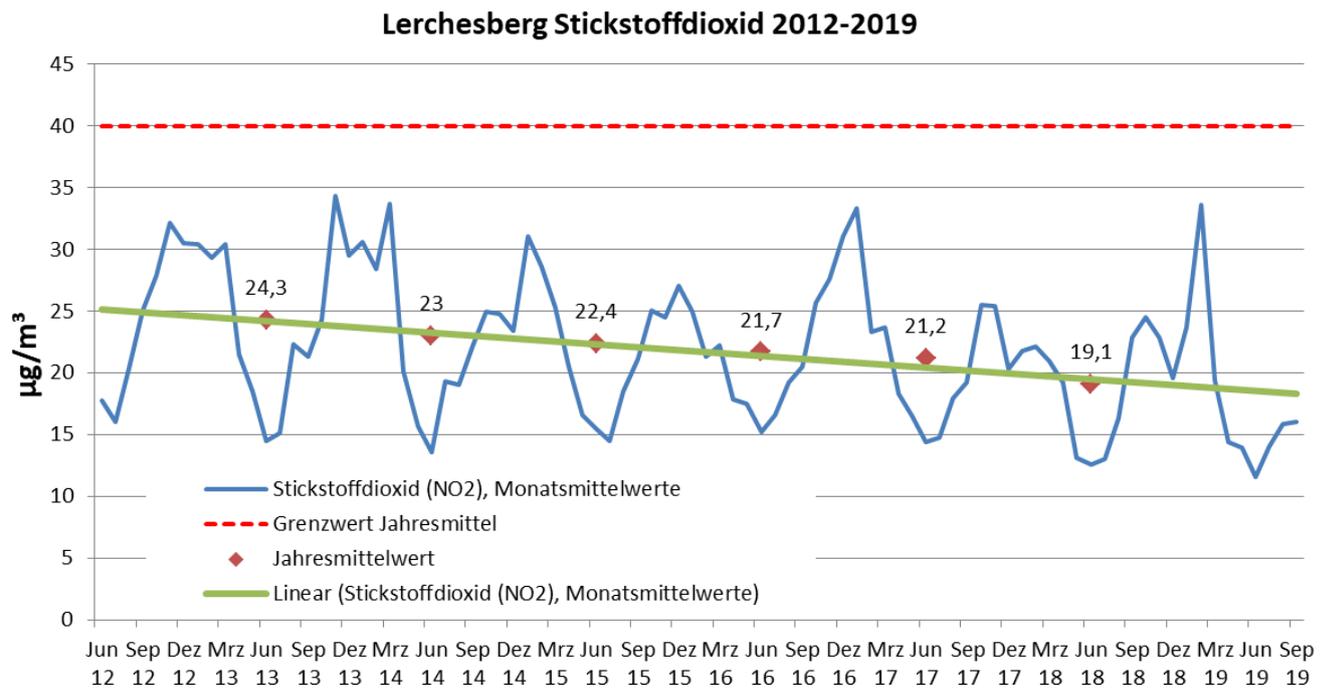


Abbildung 4: Stickstoffdioxidimmissionen auf dem Lerchesberg (Sachsenhausen, Frankfurt am Main – Monatsmittelwerte Passivsammler)

⁷ Ursachenanalyse: https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/vorbelastung_hessen_eb_g16b.pdf

3.1.2. Immissionsmessungen NO₂ auf dem Flughafengelände und Umfeld

Die folgende Abbildung 5 zeigt die Jahresmittelwerte der Belastung durch Stickstoffdioxid von 2009 – 2018 an den Messstellen auf dem Flughafengelände und weiteren Standorten in der Umgebung.

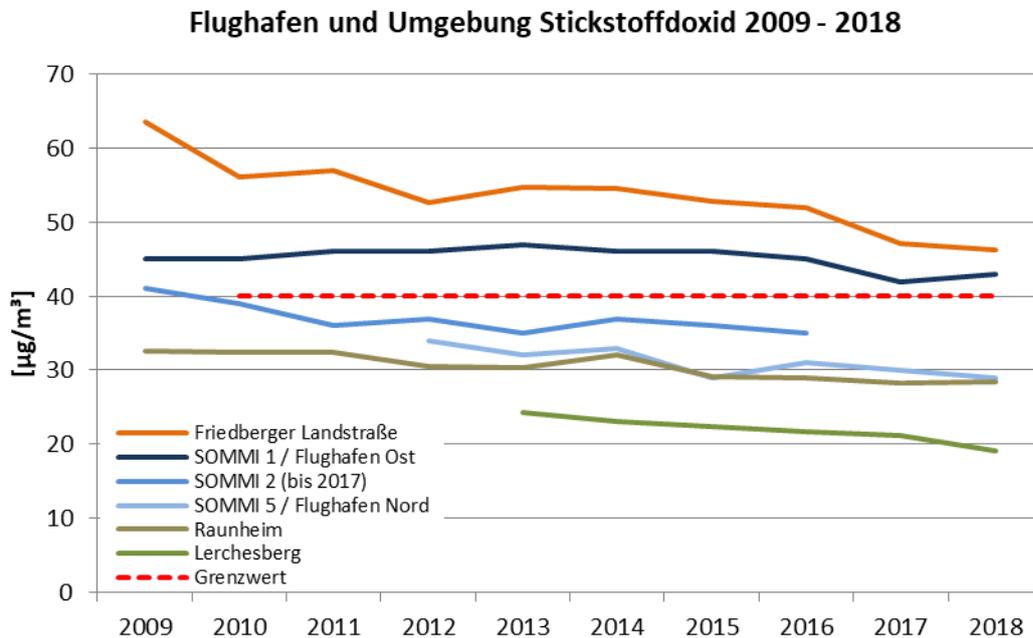


Abbildung 5: Jahresmittelwerte der Stickstoffdioxidimmissionen auf dem Flughafengelände und weiteren ausgewählten Standorten

Die Messwerte von Stickstoffdioxid auf dem Betriebsgelände des Frankfurter Flughafens⁸ sind im Vergleich zu den Hintergrundstandorten Lerchesberg und Raunheim erhöht. Insbesondere weist die Messstelle SOMMI 1 / Flughafen Ost am östlichen Ende zwischen den Parallelbahnen in den letzten zehn Jahren konstant Werte in Höhe von etwa 45 µg/m³ auf. Als Hauptverursacher der hier erfassten Stickoxide kann der Flugverkehr gelten. Die Abgase startender und landender Flugzeuge werden bei Westwindwetterlage in Richtung der Messstation transportiert. Die Betriebsrichtung West findet im langjährigen Mittel zu etwa 75% der Zeit statt. Bei Winden aus östlichen Richtungen kann das Kfz-Verkehrsaufkommen der nahegelegenen Autobahn A5 Einfluss auf die Stickstoffdioxidbelastung als lokaler Emittent haben. Das Stagnieren der Stickstoffdioxidbelastung der Messstelle SOMMI 1 steht im Kontrast zur rückläufigen Belastung am Lerchesberg. Die NO₂-Emissionen des Flughafens verändern sich jedoch kaum – Verbesserungen am Abgasverhalten der Triebwerke werden teilweise durch die Zunahme des Flugverkehrs kompensiert. Die allgemeinen Rückgänge im städtischen Hintergrund, wie am Lerchesberg gemessen, sind an der Messstelle SOMMI 1 nicht abzulesen, wohl aber an der Messstelle SOMMI 5 / Flughafen Nord am östlichen Ende der Nordwestlandebahn. Die Belastung an der Messstelle SOMMI 5 ist standortbedingt zwar hauptsächlich, aber weniger stark durch den Flugverkehr bestimmt.

Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen und die Lage der Messstationen sind in Abbildung 3 dargestellt. Stickstoffdioxid wirkt eng begrenzt um seine Emittenten und unterliegt im Vergleich zu Feinstaub hohen lokalen Konzentrationsunterschieden. Auf dem relativ offenen Gelände des Flughafens verdünnen sich Emissionen schneller und verdriften in Abhängigkeit des Windfeldes. Aus diesem Grunde werden die höchsten Stickstoffdioxidwerte nach wie vor an eng bebauten Straßen

⁸ Messdaten der Stationen Flughafen Nord und Flughafen Ost: <https://www.hlnug.de/themen/luft/flughafen-frankfurt>

mit hohem Verkehrsaufkommen gemessen, wie an den Messwerten an Friedberger Landstraße abzulesen ist. Die Stickoxidemissionen des Kfz-Verkehrs und insbesondere von Dieselfahrzeugen verdünnen sich hier nur eingeschränkt und bewirken je nach Wetterlage hohe Konzentrationen.

Dem Flughafen ist immissionsseitig hinsichtlich Stickstoffdioxids ein nur geringer Verursacheranteil anzurechnen. Zwar treten direkt auf dem Flughafengelände erhöhte Konzentrationen auf, jedoch hat die Öffentlichkeit auf dem Betriebsgelände keinen Zutritt. Eine rechtliche Beurteilung der lufthygienischen Belastung nach der 39. BImSchV erfolgt daher nicht.

3.2. Ultrafeinstaub

Unter Ultrafeinstaub bzw. ultrafeinen Partikeln (UFP) oder $PM_{0,1}$ werden extrem kleine Partikel verstanden, die in der Luft vorkommen. Ultrafeine Partikel werden definiert als Partikel oder Aerosole mit einem Durchmesser kleiner als 100 Nanometer (nm), d.h. 0,1 Mikrometer (μm). Zum Vergleich: „Normaler“ Feinstaub PM_{10} ist im Durchmesser hundertmal, im Volumen sogar eine Million Mal größer als Ultrafeinstaub. Ultrafeinstaubpartikel können aus kleinen Tröpfchen oder aus festen Stoffen bestehen, unregelmäßig geformt sein und sind hinsichtlich ihrer Bestandteile sehr unterschiedlich. Ein menschliches Haar ist mit 40-120 μm mehr als tausendmal so dick wie der (maximale) Durchmesser eines Ultrafeinstaubpartikels.

In Bezug auf die Gefährlichkeit und die gesundheitliche Wirkung von UFP gibt es noch keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse. Bisher existieren keine Grenz- oder Richtwerte bzw. Empfehlungen zum Schutze der Gesundheit. In bereits durchgeführten Studien finden sich Hinweise auf Herz-Kreislauferkrankungen, Erkrankungen des Atemtrakts oder Entzündungsreaktionen sowie kurzzeitige Gesundheitsrisiken. Die Abgrenzung von Wirkungseffekten zu anderen (Luft-) Schadstoffen ist schwierig. Das HLNUG misst daher seit 2015 an einer steigenden Anzahl von Messorten UFP zur Erhebung einer breiten Datenbasis, welche als Grundlage für epidemiologische Untersuchungen und zur weiteren Bewertung der Auswirkungen ultrafeiner Partikel zur Verfügung stehen.⁹

3.2.1. Quellen von Ultrafeinstaub und Transport in der Atmosphäre

Ultrafeinstaub kommt überall in der Atmosphäre vor und hat zahlreiche natürliche und anthropogene Quellen. Die Zusammensetzung von UFP ist sehr variabel: so können Vulkane genauso Ultrafeinstaub erzeugen wie die organischen Ausdünstungen von Wäldern. Hauptquelle sind aber Verbrennungsprozesse mit hohen Temperaturen und damit anthropogene Quellen. Große Mengen von Ultrafeinstaub werden durch den Verkehr, beispielsweise durch Verbrennungsmotoren und Flugzeugtriebwerke produziert, aber auch Kraftwerke verursachen sehr viel Ultrafeinstaub. Als regional bedeutsame Flächenquelle für UFP ist der Flughafen Frankfurt / Main bzw. der Flugverkehr im besonderen Fokus dieses Berichtes.



Abbildung 6: Anthropogene und natürliche Quellen für Ultrafeinstaub

⁹ Weitere allgemeine Informationen unter: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/sonstige_berichte/ufp/UFP_Hintergrundinformation_2019.08.09.pdf

Aufgrund der geringen Größe und vernachlässigbarem Gewicht sedimentieren UFP nicht, sondern bleiben in der Atmosphäre suspendiert, d.h. sie „schweben“ in der Luft. Sie unterliegen aber Reaktionen, die sie verändern, sowie Prozessen, die sie aus der Atmosphäre entfernen. So finden Prozesse zur Neubildung von Partikeln aus gasförmigen Vorläufersubstanzen statt, Partikel vergrößern sich durch gegenseitige Anlagerungen während sich ihre Anzahl verringert oder werden durch photochemische Reaktionen verändert. Auch die Atmosphäre selbst verändert sich ständig, so dehnen sich die unteren Luftschichten aus oder vermischen sich.

Als Kondensationskeime von Wasserdampf spielen UFP eine wichtige meteorologische Rolle bei der Wolken- und Niederschlagsbildung. Durch Niederschläge werden Ultrafeinstaubpartikel aber auch aus der Atmosphäre entfernt.

Ultrafeinstaub wird mit der Luft transportiert und kann dabei große Strecken zurücklegen. Dies ist abhängig vom Wind, der Luftvermischung und der Verweildauer der Partikel in der Atmosphäre.

3.2.2. Erfassung von ultrafeinen Partikeln

Ultrafeinstaub wird in der Regel als Anzahlkonzentration (Anzahl der Partikel pro Kubikzentimeter = n/cm^3) gemessen und nicht wie die größeren Feinstaubfraktionen PM_{10} oder $PM_{2,5}$ massebezogen erfasst. Dies ist aufgrund der geringen Partikelgröße sinnvoll, da schon wenige große und schwere Partikel bei einer Wägung das Ergebnis dominieren würden. Durch die Zählung wird jedes Partikel unabhängig von seiner Größe oder seines Gewichts erfasst und gewertet.

Dieses grundsätzlich anerkannte Vorgehen ist mangels eines einheitlichen Messstandards nicht normiert, was die Vergleichbarkeit einzelner Messungen erschwert. Inzwischen verfügbare Messgeräte erfassen durch eine uneinheitliche untere und obere Messgrenze verschiedene Größenbereiche der Partikel oder arbeiten mit unterschiedlichen Messmethoden. Dies beeinträchtigt die Vergleichbarkeit der Messergebnisse zum Teil erheblich und muss bei der Dateninterpretation oder in der Gegenüberstellung von Studien Berücksichtigung finden. Die städtischen Messgeräte vom Typ EDM 465 UFPC der Firma Grimm Aerosol Technik GmbH & Co in Oberrad und in Sachsenhausen erfassen sekundengenau Partikel im Bereich von 7 nm bis 2200 nm, d.h. auch Partikel mit einer Größe, die weit über der Definition für ultrafeine Partikel (max. 100 nm) liegen. Grundsätzlich hat aber die Festlegung der unteren Erfassungsgrenze einen maßgeblichen Einfluss auf die Partikelanzahlkonzentration, da diese in höheren Größenbereichen erheblich abnimmt.

Für weiterführende Aussagen können die Anzahlkonzentrationen der Partikel durch einen vorgeschalteten Separator in verschiedenen Größenklassen gemessen werden. Bei dieser gröbenselektierten Messung werden über die Anzahlgrößenverteilung Aussagen über Art, Herkunft oder Alter der Partikel ermöglicht. Nachteil im Vergleich zur kontinuierlichen Messung der bloßen Anzahlkonzentration ist die geringere zeitliche Auflösung – der Durchlauf der verschiedenen Größenkanäle benötigt in der Regel einige Minuten. An der Messstation des HLNUG in Schwanheim werden solche Messungen bereits durchgeführt.

3.2.3. Immissionsmessungen und Anzahlkonzentrationen ultrafeiner Partikel Sachsenhausen und Oberrad

Nachfolgend wird auf die bisherigen Messergebnisse der beiden Frankfurter Messstellen eingegangen (siehe Seiten 9 und 10). Das vollständige Messprogramm zu Ultrafeinstaub HLNUG ist separaten Berichten zu entnehmen (siehe Kapitel 3.2.5). Die Erkenntnisse, welche das HLNUG durch UFP-Messungen im Nahbereich des Flughafens (Schwanheim, Raunheim) gewinnen konnte, werden durch die Ergebnisse der Frankfurter Messstationen weiter bestätigt: Der Flughafen Frankfurt am Main ist ein bedeutender Emittent von ultrafeinen Partikeln, welcher die lokale Immissionsbelastung maßgeblich beeinträchtigen kann.

Die Konzentrationen der ultrafeinen Partikel an den Messstellen der Stadt Frankfurt am Main unterliegen grundsätzlich einem deutlichen Tagesrhythmus und einer hohen Schwankungsbreite. Häufig steigt die Konzentration innerhalb kurzer Zeit stark an und ebenso rasch wieder ab. Das Konzentrationsniveau ist von starken Schwankungen zwischen verschiedenen Tagen geprägt, ohne dass die jeweilige Ursache direkt erkennbar ist. Dieses Verhalten ist eigentlich typisch für gasförmige Luftschadstoffe wie etwa Stickstoffdioxid und vorrangig meteorologisch verursacht. Die folgende Darstellung zeigt die Tagesmittelwerte für beide Stationen bis Ende September 2019.

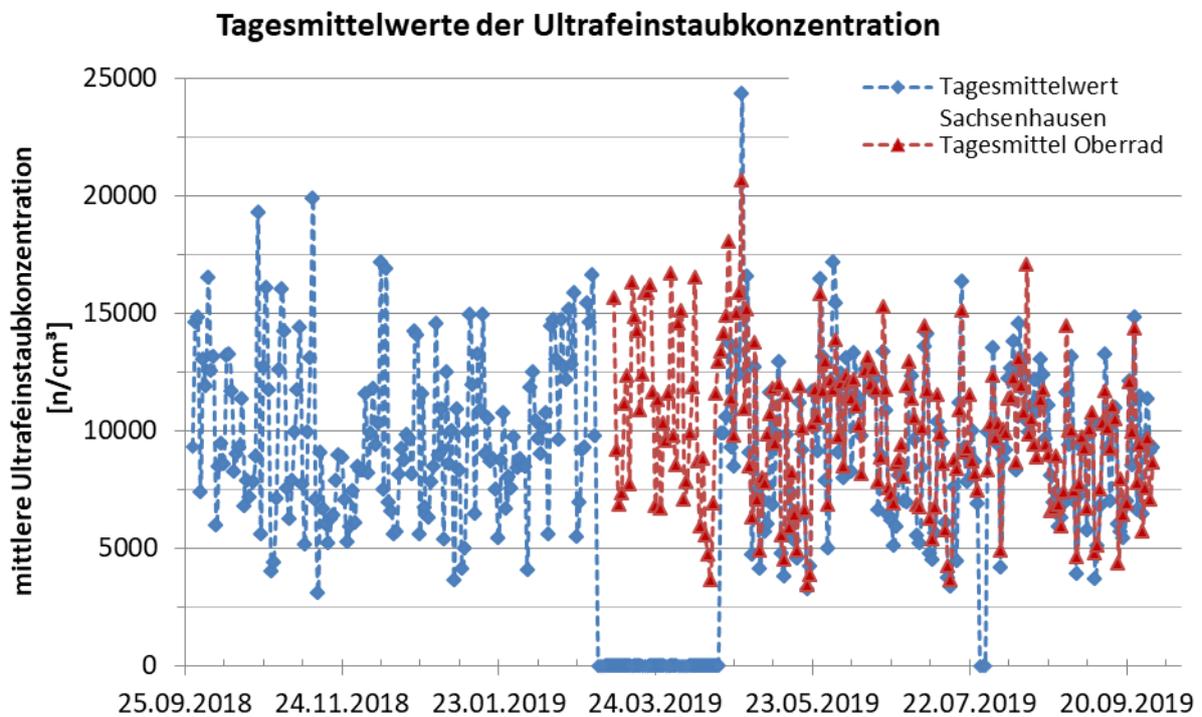


Abbildung 7: Darstellung der Tagesmittelwerte der gemessenen Ultrafeinstaubkonzentration an den Messstellen Sachsenhausen und Oberrad

Im Zeitraum vom 01.03.2019 bis 18.04.2019 wurde das Messgerät in Sachsenhausen technisch auf die Erfassung und den mobilen Versand von Messwerten mit einer zeitlichen Auflösung von einer Sekunde aufgerüstet. In dieser Zeit erfasste die Station keine Messdaten, was hier als Nullwerte dargestellt ist. Die Station in Oberrad ist mit diesen erweiterten technischen Spezifikationen am 24.04.2019 (ab 08.03.2019: 5s-Werte) in den regulären Messbetrieb gegangen.

Tabelle 3: **Mittlere Ultrafeinstaubkonzentrationen (arithmetische Mittelwerte, Median in Klammern) angegeben als Partikel/cm³, basierend auf Zehnminutenmittelwerten**

Zeitraum	Mittlere Ultrafeinstaubkonzentrationen (arithmetische Mittelwerte; Median in Klammern) angegeben als Partikel/cm ³	
	Messstation Sachsenhausen	Messstation Oberrad
Januar 2019	9.059 (7.189)	vor Beginn der Messung
Februar 2019	11.214 (9.379)	vor Beginn der Messung
März 2019	Techn. Anpassung	11.624 (9.796)*
April 2019	nicht ausreichend Daten vorhanden [12.006 (9.317)*]	11.125 (9.105)
Mai 2019	8.398 (6.332)	9.212 (7.999)
Juni 2019	10.082 (7.988)	10.652 (9.090)
Juli 2019	8.542 (6.501)	8.973 (7.340)
August 2019	10.045 (7.736)	9.850 (7.999)
September 2019	8.550 (6.570)	8.556 (7.025)
Okt. 2018 – Sept. 2019	9.530 (7.518)	nicht ausreichend Daten vorhanden
Mai 2019 – September 2019 (gemeinsamer Zeitraum beider Stationen)	9.140 (7.009)	9.458 (7.804)

* Kennzeichnung: einzelne Daten & Zeiträume fehlen/nicht vorhanden;

Tabelle 3 listet auch Mittelwerte der Ultrafeinstaubkonzentration über längere Zeiträume auf. Die Messstationen erfassen dabei ein ähnliches Niveau an ultrafeinen Partikeln. Im Zeitraum von Mai 2019 bis September 2019 sind beide Stationen parallel betrieben worden. In Sachsenhausen hat sich hierbei eine mittlere Konzentration von 9.140 und in Oberrad von knapp 9.460 Partikeln pro Kubikzentimeter ergeben. Der arithmetische Mittelwert reagiert empfindlich auf große Schwankungen: Schon wenige extreme Einzelwerte erhöhen den Mittelwert stark. Der Median teilt die Anzahl der Konzentrationsdaten in zwei gleich große Bereiche und ist robust gegenüber extremen Spitzenwerten. Der Median gibt eher die typische/übliche Konzentration an und ist im Schnitt niedriger als der arithmetische Mittelwert.

Für die Ursachenanalyse der Partikelkonzentrationen werden die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes der Wetterstation Frankfurt Flughafen (Stationscode 1420) heran gezogen. Der Sektor, aus dem der Wind weht, beeinflusst die Konzentration der ultrafeinen Partikel erheblich. Auffällig ist eine deutliche Erhöhung der Partikelanzahlkonzentrationen, wenn der Wind aus Richtung Flughafen weht. Zur Verdeutlichung wird daher in den nachfolgenden Grafiken die Partikelanzahlkonzentration nach Windsektoren untersucht. Bei Windrichtungen aus den Sektoren 220, 230 und 240 Grad, also etwa Westsüdwest, weht der Wind aus Richtung Flughafen. Im Zeitraum von 2010-2018 war dies während 15% der Tageszeit der Fall. Insbesondere während der Betriebszeit des Flughafens bei Flugbetrieb zwischen 05 – 23 Uhr steigt das Konzentrationsniveau deutlich an, wenn der Wind aus Richtung Flughafen weht. In der flugverkehrsfreien Zeit zwischen 23 – 05 Uhr ist kein erhöhtes Konzentrationsniveau bei Wind aus Richtung Flughafen feststellbar.

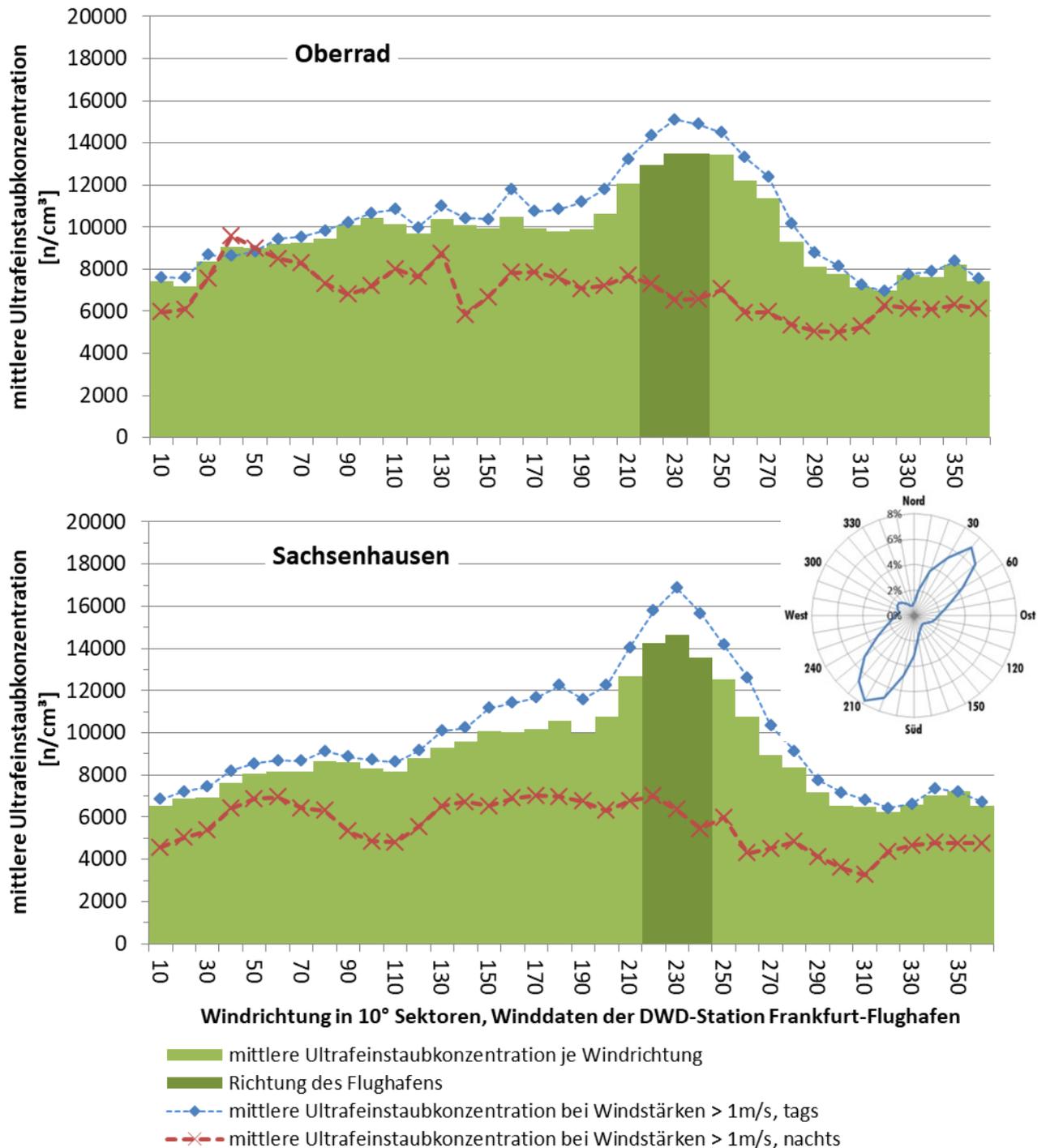


Abbildung 8: **Windrichtungsabhängigkeit der Ultrafeinstaubkonzentration**

- Die Grafiken zeigen die mittlere Ultrafeinstaubkonzentration in Abhängigkeit der Windrichtung (je 10 ° Sektor), basierend auf den Wetterdaten des DWD, Station 1420, (Oberrad: 1.4.2019-30.9.2019; Sachsenhausen 1.10.2018 bis 30.9.2019). Die Windrose rechts oben zeigt die Häufigkeit der jeweiligen Windrichtung im langjährigen Mittel (2010-2018). Der Richtungssektor, in dem der Flughafen liegt, ist dunkelgrün markiert. Die gestrichelten Linien zeigen die Windrichtungsabhängigkeit für den Zeitraum 5-23 Uhr (tags) und 23-5 Uhr (nachts). Die grünen Balken geben dabei die mittlere gemessene Ultrafeinstaubkonzentration bei der jeweiligen Windrichtung an.

Der Einfluss des Flughafens ist in Sachsenhausen ausgeprägter als in Oberrad. In Oberrad kommt es aufgrund der größeren Distanz und der einhergehenden längeren Transmission zu einer verstärkt

ausgeprägten Verdünnung. An den Messwerten wird dies durch einen abgeflachten Peak in Oberrad erkennbar, welcher in einem breiteren Windsektorbereich vorhanden ist. Gleichzeitig befinden sich in der näheren Umgebung der Station Oberrad weitere wichtige Quellen wie das Stadtgebiet und Verkehrswege wie die Bundesautobahn, die ebenfalls zu den Ultrafeinstaubkonzentrationen beitragen.

Die Grafiken 9 und 10 zeigen den mittleren Tagesgang der Ultrafeinstaubkonzentration, basierend auf Zehnminutenmittelwerten. Auch hier zeigt sich besonders deutlich, dass die Konzentration im Tagesverlauf stark ansteigt und über Nacht kontinuierlich abfällt. Ab ca. 5 Uhr Mitteleuropäischer Zeit steigt die Konzentration im Mittel rasch auf den Bereich von über 10.000 Partikeln pro cm^3 an und sinkt ab ca. 21:00 Uhr wieder langsam und kontinuierlich über die gesamte Nacht ab. Bei Winden aus Richtung Flughafen (rote Linie) verstärkt sich das Phänomen und der Einfluss des Flughafens auf die Ultrafeinstaubkonzentration kann eindeutig identifiziert werden.

Der unruhige, „zackige“ Verlauf zeigt, dass einzelne Messwerte den Mittelwert stark prägen – dies ist der noch geringen Datenbasis geschuldet. Es ergeben sich, je nach Häufigkeit der Windrichtung im Beobachtungszeitraum, unterschiedlich viele Datenpunkte zur Bestimmung der mittleren Ultrafeinstaubkonzentration. So wird der Mittelwert für eine Tageszeit in Oberrad und die Windrichtung „Flughafen“ im schlechtesten Fall nur aus mindestens sieben verschiedenen Tagen und im Median aus 27 Messwerten bzw. Tagen gebildet. Aufgrund der starken Variabilität der Ultrafeinstaubkonzentration müssen die Daten im Detail daher vorsichtig interpretiert werden, da sie nur auf verhältnismäßig wenigen Messwerten beruhen.

**Tagesgang der mittleren Ultrafeinstaubkonzentration in Sachsenhausen
(Okt. 2018 - Sept. 2019)**

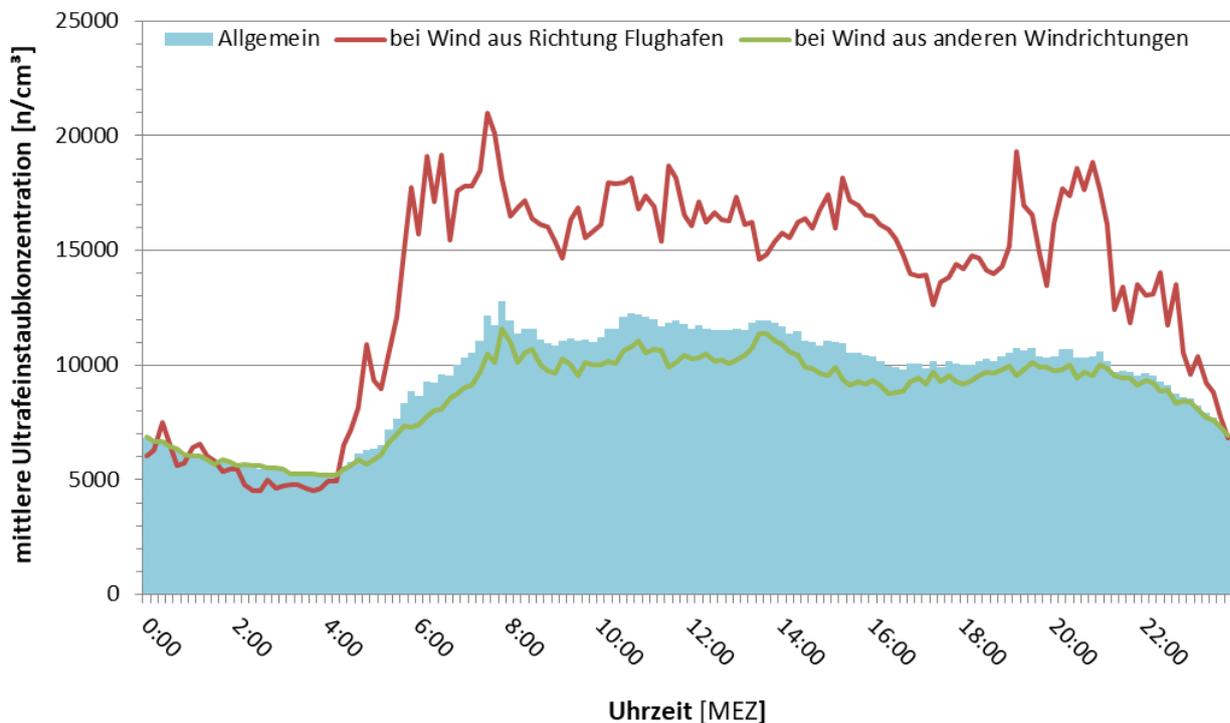


Abbildung 9: Mittlerer Tagesgang der Ultrafeinstaubkonzentration in Sachsenhausen (Datenbasis Okt. 2018 – Sept. 2019), sowie die mittlere Ultrafeinstaubkonzentration im Tagesverlauf bei Wind aus Richtung des Flughafens (Sektoren 220°, 230° und 240°) und aus allen anderen Richtungen

Tagesgang der mittleren Ultrafeinstaubkonzentration in Oberrad (März 2019 - Sept. 2019)

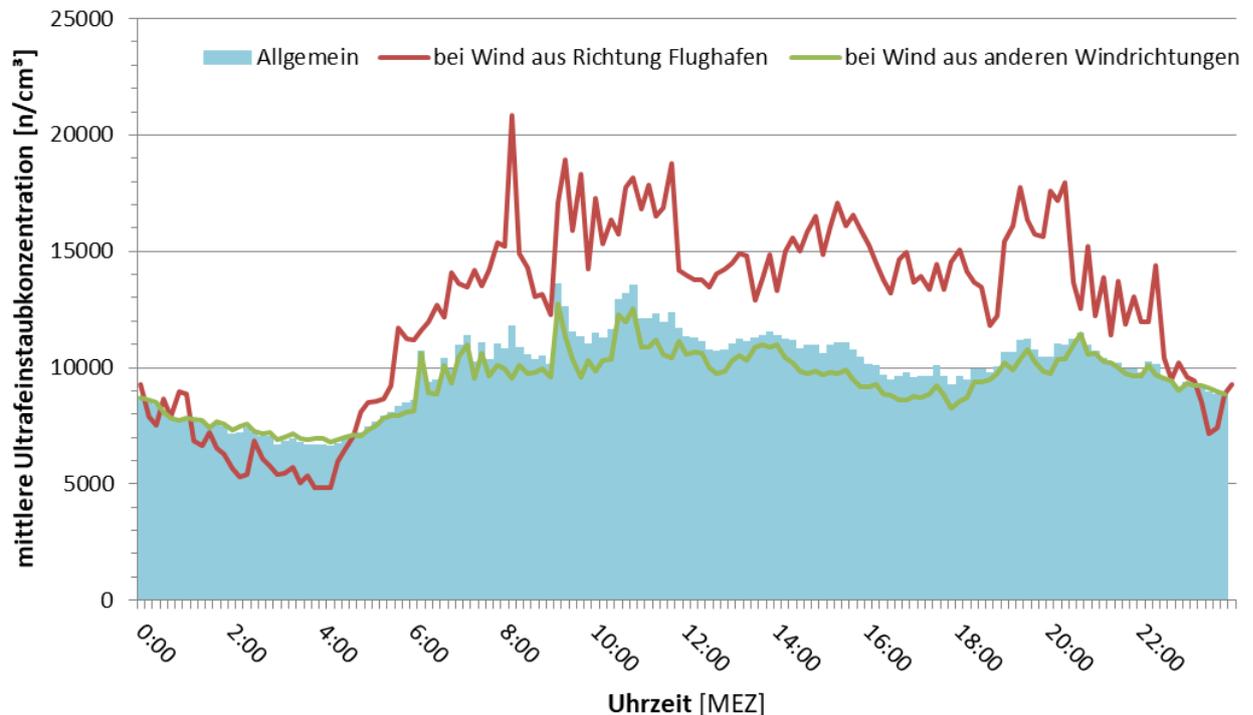


Abbildung 10: **Mittlerer Tagesgang der Ultrafeinstaubkonzentration in Oberrad** (Datenbasis März 2019 – September 2019), sowie die mittlere Ultrafeinstaubkonzentration im Tagesverlauf bei Wind aus Richtung des Flughafens (Sektoren 220°, 230° und 240°) und aus allen anderen Richtungen

3.2.4. Einfluss von Überflügen auf die Ultrafeinstaubkonzentration

Zusätzlich wird der Einfluss von Überflügen auf die Schadstoffkonzentration am Boden diskutiert. Ein direkter Zusammenhang der Ultrafeinstaubkonzentration mit einem Überflugereignis lässt sich anhand der Messdaten nicht ableiten. Die Konzentration an ultrafeinen Partikeln unterliegt grundsätzlich hohen Schwankungen. Für weitere Betrachtungen müssen zudem auch die in Sachsenhausen und Oberrad typischen Flughöhen und Konzentrationsänderungen durch Verfrachtung vom Flughafengelände und anderen Quellen resultierenden Ultrafeinstaubpartikel berücksichtigt werden. Reproduzierbare Konzentrationserhöhungen, welche Überflugereignissen bei ähnlichen Windbedingungen zugeordnet werden könnten, sind weder in Sachsenhausen noch in Oberrad erkennbar.

An den Stationen Sachsenhausen und Oberrad kann dem Flughafen als Flächenquelle nach bisherigen Erkenntnissen eine weitaus bedeutsamere Wirkung als einzelne Überflugereignisse zugeschrieben werden. Wird Ultrafeinstaub direkt aus dem Bereich des Flughafengeländes mit dem Wind verfrachtet, erhöht sich die Konzentration an der Messstelle deutlich. Dieser Effekt ist, im Gegensatz zu überflugbedingten Effekten, sehr gut an beiden Stationen erkennbar. Es ist davon auszugehen, dass sich die Emissionen infolge der Überflughöhe weitläufig verteilen und verdünnen. In Abhängigkeit zur atmosphärischen Schichtungsstabilität kann die vertikale Durchmischung der Luftschichten stark eingeschränkt sein. Je höher eine Emission freigesetzt wird, desto intensiver passieren Verdünnungs- und Verdriftungsvorgänge auf horizontaler Ebene, was eine umso geringere Immissionswirkung am Boden bedeutet. Gleichmaßen ist davon auszugehen, dass niedrige Überflughöhen sehr

wohl einen Effekt auf die bodennahe Konzentration haben können. Sogenannte Wirbelschleppen, d.h. Luftverwirbelungen, welche sich aerodynamisch bedingt hinter den Tragflächen aufbauen, verwirbeln die Abgasfahne in tieferliegende Luftschichten. Überflüge in einer Flughöhe bis zu 400 Metern¹⁰ haben vermutlich einen Effekt, welcher dem Flughafen als Flächenquelle in Hinblick auf die beiden Messstationen zugerechnet werden kann. Die in Abbildung 8 über den eigentlichen Windrichtungssektor hinaus verbreiterten Konzentrationspeaks können ebenfalls durch dieses Phänomen geprägt sein.

3.2.5. Weiterführende Informationen zu Ultrafeinstaub

Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) hat bereits **Zwischenberichte zu Ultrafeinstaub** sowie weitere Informationen zum Thema Ultrafeinstaub veröffentlicht. Dort werden detailliert die bisherigen Erkenntnisse vorgestellt. Die Zwischenberichte können im Internet abgerufen werden (z.B. unter <https://www.hlnug.de/themen/luft/sonstige-berichte/ultrafeine-partikel>) und geben fundiert die Datenlage und bisherigen Erkenntnisse zum Thema Ultrafeinstaub für die Region Frankfurt wieder. Die Messdaten zu Ultrafeinstaub und anderen Luftschadstoffen können unter <https://www.hlnug.de/messwerte/luft/recherche-1> eingesehen werden.

Das Forum Flughafen und Region beschäftigt sich mit der Thematik Ultrafeinstaub ebenfalls intensiv und hat dazu bereits eine Expertenanhörung veranstaltet. Die Dokumentation dieser Veranstaltung ist online auf den Seiten der Umwelt und Nachbarschaftshaus Kelsterbach zu finden und bietet viele weitere Informationen: <https://www.umwelthaus.org/umweltmonitoring/ultrafeinstaub/>.

Auch die Flughafenbetreiber haben die Bedeutung des Themas Ultrafeinstaub erkannt und führen eigene Untersuchungen dazu aus. Mehrere größere internationale Flughäfen veröffentlichten Untersuchungsberichte zu Ultrafeinstaub durch Flughäfen. Im Lufthygienischen Jahresbericht der Fraport AG findet sich dementsprechend auch ein Kapitel zu ultrafeinen Partikeln, in dem das UFP-Monitoring und weitere Untersuchungen auf dem Flughafengelände dargestellt werden.

4. Zusammenfassung

Der Frankfurter Flughafen ist ein bedeutender Großemittent im Ballungsraum Rhein-Main. Der Bericht zeigt auf, dass der Flughafen zu einem großen Anteil für die Stickstoffdioxidemissionen im Stadtgebiet von Frankfurt am Main verantwortlich ist. Die Feinstaubemissionen (PM₁₀, PM_{2,5}) sind vergleichsweise niedrig, gleichzeitig deuten Messungen auf sehr hohe Emissionen der kleinsten Feinstaubfraktion, dem Ultrafeinstaub (PM_{0,1}; UFP), hin, welche keinem Grenzwert unterliegt. Im Rahmen bisheriger Messungen grenzwertbehafteter Luftschadstoffe konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den flugverkehrsbedingten Emissionen und einer erhöhten Immissionsbelastung am Boden festgestellt werden. Die Immissionsbelastung durch Ultrafeinstaub steht im Umfeld des Flughafens unter Berücksichtigung der Windrichtung in deutlicher Abhängigkeit zum Flugbetrieb. Weht der Wind aus Richtung Flughafen bei Flugbetrieb zu den Messstellen, können im Frankfurter Süden erheblich erhöhte Werte an UFP gemessen werden. Die Erfassung von Ultrafeinstaub wird daher zukünftig weiter intensiviert und an verschiedenen Standorten vorgenommen, um die Erkenntnisse zur Konzentrationsverteilung von ultrafeinen Partikeln besser verstehen zu können.

¹⁰ 2. Zwischenbericht HLNUG, Seite 5: https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/sonstige_berichte/ufp/UFP-Zweiter_Zwischenbericht_20190819.pdf