

# Abschlussbericht

Temporäre Luftschadstoffmessungen in Mainz-  
Hechtsheim

## Bearbeitung

Bruna Krüger De Holanda, Stephan Wilke, Florian Ditas, Michael Weißenmayer, Diana Rose

## Impressum

Herausgeber: Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz  
Kaiser-Friedrich-Straße 7  
55116 Mainz

und

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
Rheingaustraße 186  
65203 Wiesbaden

© 2025 Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

## Inhalt

|       |                                                                                                                               |    |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Zusammenfassung.....                                                                                                          | 4  |
| 2     | Hintergrund .....                                                                                                             | 5  |
| 3     | Methoden.....                                                                                                                 | 6  |
| 3.1   | Standortbeschreibung: Mainz-Hechtsheim.....                                                                                   | 6  |
| 3.2   | Gemessene Parameter .....                                                                                                     | 6  |
| 3.3   | Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration.....                                                                               | 7  |
| 3.4   | Messorte zur Einordnung der Ergebnisse .....                                                                                  | 8  |
| 4     | Ergebnisse für gesetzlich regulierte Schadstoffe, Kohlenstoffparameter und Levoglucosan.....                                  | 10 |
| 4.1   | Gesetzlich regulierte Luftschadstoffe NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> und PM <sub>2,5</sub> .....                          | 10 |
| 4.1.1 | Stickstoffdioxid - NO <sub>2</sub> .....                                                                                      | 10 |
| 4.1.2 | PM <sub>10</sub> -Feinstaub -.....                                                                                            | 11 |
| 4.1.3 | PM <sub>2,5</sub> -Feinstaub .....                                                                                            | 13 |
| 4.2   | Nicht gesetzlich regulierte Luftschadstoffe.....                                                                              | 14 |
| 4.2.1 | Levoglucosan, EC und OC in PM <sub>10</sub> .....                                                                             | 14 |
| 4.2.2 | Ruß (BC) in PM <sub>2,5</sub> .....                                                                                           | 16 |
| 5     | Ergebnisse für die Partikelanzahlkonzentration.....                                                                           | 18 |
| 5.1   | Statistische Informationen zur Partikelanzahlkonzentration.....                                                               | 18 |
| 5.2   | Abhängigkeit der Partikelkonzentration von der Windrichtung .....                                                             | 19 |
| 5.3   | Tageszeitliche Entwicklung der Partikelkonzentration .....                                                                    | 21 |
| 5.4   | Einordnung der Konzentrationswerte nach WHO-Kriterien .....                                                                   | 21 |
| 6     | Einfluss unterschiedlicher Emissionsquellen auf die Partikelanzahlkonzentration .....                                         | 23 |
| 7     | Untersuchung eines möglichen Einflusses von direkten Überflügen auf die Partikelanzahlkonzentration in Mainz-Hechtsheim ..... | 25 |
| 7.1   | Analysemethode.....                                                                                                           | 25 |
| 7.2   | Ergebnisse.....                                                                                                               | 27 |
| 7.3   | Beispiele des zeitlichen Verlaufs der Partikelanzahlkonzentration während direkter Überflüge in Mainz-Hechtsheim.....         | 28 |
| 8     | Beurteilung Luftschadstoffsituation in Mainz-Hechtsheim.....                                                                  | 30 |
| 10    | Literaturverzeichnis.....                                                                                                     | 32 |
| 11    | Abbildungsverzeichnis .....                                                                                                   | 33 |
| 12    | Tabellenverzeichnis .....                                                                                                     | 35 |

## 1 Zusammenfassung

In diesem Bericht werden die Ergebnisse der gemeinsam durch das Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz (LfU) und das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) durchgeführten Immissionsmessungen in Mainz-Hechtsheim dargelegt.

Schwerpunkt der durchgeführten Immissionsmessungen war die Messung **ultrafeiner Partikel (UFP)** beziehungsweise der Partikelanzahlkonzentration. Zusätzlich zu den UFP-Messungen wurden die gesetzlich geregelten Luftschadstoffe  $\text{NO}_2$ , Feinstaub der Fraktionen  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ , sowie weitere Luftschadstoffe bestimmt.

In Bezug auf die **gesetzlich geregelten Schadstoffparameter** werden die entsprechenden Grenzwerte eingehalten. Mainz-Hechtsheim wird durch die bestehenden Messstationen des zentralen Immissionsmessnetzes Rheinland-Pfalz hinreichend abgedeckt. Für eine Beurteilung der Luftqualität in Mainz-Hechtsheim anhand gesetzlich geltender Grenzwerte müssen dort keine weiteren ortsfesten/orientierenden Messungen installiert werden.

Die **Luftqualität in Bezug auf ultrafeine Partikel** wurde untersucht und die Partikelanzahlkonzentrationen stellen sich im Vergleich zu anderen Standorten in Hessen mit Nähe zum Frankfurter Flughafen als niedriger dar. Zur Bewertung der Partikelanzahlkonzentration wurden die WHO-Luftgüteleitlinien herangezogen, da es in Deutschland bzw. seitens der EU bislang keine gesetzlichen Grenzwerte für UFP als Partikelanzahlkonzentration gibt. Demnach werden die in Mainz-Hechtsheim gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen als nicht hoch eingestuft.

Über Analysen von Windrichtung und der  $\text{NO}_2$ -Konzentration im Verhältnis zur Partikelanzahlkonzentration konnten Rückschlüsse auf die Quellen, die für die UFP-Konzentration in Hechtsheim maßgeblich sind, gezogen werden. Diese Analyse legt nahe, dass die UFP-Immissionen in Mainz-Hechtsheim aus lokalen Quellen (z.B. lokaler Kfz-Verkehr, Gebäudeheizung) sowie aus einem überlagerten Eintrag von UFP aus dem entfernteren Kfz-Verkehr (Mainzer Stadtgebiet; Schwerpunkt A60/B9; Weisenauer Brücke) und dem regionalen Herantransport aus dem Flugbetrieb des Flughafengeländes zusammen mit den tiefen Anfluglinien (< ca. 400 m) stammen.

Es konnte kein unmittelbarer Einfluss von **Flugzeugüberflügen** auf die Partikelanzahlkonzentration am Boden in Hechtsheim festgestellt werden.

## 2 Hintergrund

Als ultrafeine Partikel (UFP) beziehungsweise Ultrafeinstaub werden alle Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 100 Nanometer (nm) bezeichnet. Sie bilden damit die kleinsten festen und flüssigen Teilchen in unserer Luft. Ultrafeine Partikel entstehen als Produkt aus gasförmigen Vorläufern und während Verbrennungsprozessen. Abhängig von ihrer jeweiligen Quelle, weisen UFP sehr unterschiedliche chemische und physikalische Eigenschaften auf. Sie stellen eine Teilmenge des Feinstaubes dar, tragen aber aufgrund ihrer geringen Größe kaum zur Massenkonzentration der Feinstaubfraktionen PM<sub>10</sub> oder PM<sub>2,5</sub> bei.

Ultrafeinstaub ist in den letzten Jahren durch mögliche gesundheitliche Auswirkungen in den Fokus geraten. Ultrafeine Partikel können aufgrund ihrer geringen Größe besonders tief in die Lunge eindringen und grundsätzlich in geringem Maße auch in den Blutkreislauf gelangen (u.a. Geiser, et al., 2013). Außerdem bieten ultrafeine Partikel eine große spezifische Oberfläche für die Anlagerung weiterer Schadstoffe (Cassee, et al., 2019). Während sich in toxikologischen Studien bereits erste gesundheitliche Effekte konkretisieren, mangelt es jedoch noch an systematischen und quantitativen epidemiologischen Studien, anhand derer man Gesundheitseffekte und mögliche Dosis-Wirkungs-Beziehungen von UFP belegen und quantifizieren könnte (u.a. Ohlwein, Hoffmann, Kappeler, Joss, & Künzli, 2018 und Cassee, et al., 2019).

Internationale wissenschaftliche Studien haben gezeigt, dass im Einflussbereich von Flughäfen stark erhöhte Anzahlkonzentrationen von UFP zu finden sind (z.B. Hudda, Gould, Hartin, Larson, & Fruin, 2014 und Keuken, Moerman, Zandveld, Henzing, & Hoek, 2015). Messungen in europäischen Großstädten legen nahe, dass sich ultrafeine Partikel der jeweiligen Flughäfen bis in die umliegenden Stadtgebiete ausbreiten können (Rivas, et al., 2020 und Zhang, Karl, Zhang, & Wang, 2020).

Vor diesem Hintergrund hat das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) bereits 2015 begonnen, erste Messungen ultrafeiner Partikel durchzuführen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen einen bedeutenden Einfluss des Flugbetriebs am Frankfurter Flughafen auf die UFP-Konzentration in dessen Umgebung. Hierbei ist vor allem die horizontale Verlagerung von Schadstoffen mit der vorherrschenden Windrichtung entscheidend. Standorte sind insbesondere dann durch die Emissionen des Flugbetriebs beeinflusst, wenn sie sich aufgrund ihrer Lage häufig in der Abluft des Flughafens befinden. Die bisherigen Erkenntnisse wurden in zahlreichen Berichten des HLNUG veröffentlicht (<https://www.hlnug.de/themen/luft/luftqualitaet/sondermessprogramme/ultrafeine-partikel>).

Der vorliegende Bericht fasst die temporären Luftqualitätsmessungen in Mainz-Hechtsheim zusammen. Im Rahmen einer länderübergreifenden Kooperation zwischen Rheinland-Pfalz und Hessen wurden in Mainz-Hechtsheim für etwas mehr als ein Jahr Daten zur UFP-Konzentration sowie weiterer Luftschadstoffe erhoben. Ziel der gemeinsamen Messungen vom Landesamt für Umwelt (LfU) und HLNUG war die allgemeine Beurteilung der Luftqualität in Mainz-Hechtsheim, sowie die Abschätzung des Einflusses des Flugbetriebs am Frankfurter Flughafen auf die lokale UFP-Konzentration. Der Messstandort lag unterhalb der Anflugrouten auf den Frankfurter Flughafen. Ein besonderer Fokus der Auswertung liegt daher auch auf der Fragestellung, ob diese direkten Überflüge einen Einfluss auf die bodennahe Konzentration ultrafeiner Partikel haben.

Anders als für die gesetzlich geregelten Luftschadstoffe, existieren derzeit keine rechtlichen Vorgaben in Form von Grenz- oder Zielwerten zur Beurteilung der Luftqualität in Bezug auf die Konzentration ultrafeiner Partikel. Zur Einordnung werden daher zusätzliche Messungen im Rhein-Main-Gebiet, sowie Orientierungswerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO) herangezogen.

### 3 Methoden

Im folgenden Kapitel werden Informationen zum Messort in Mainz-Hechtsheim, den gemessenen Parametern und weiteren in diesem Bericht verwendeten Messstationen dargestellt.

#### 3.1 Standortbeschreibung: Mainz-Hechtsheim

Der Messort befand sich im Süden des Ortsteils Mainz-Hechtsheim auf dem Gelände des Turnvereins Hechtsheim 1882 e.V. im sogenannten städtischen Hintergrund. Die unmittelbare Umgebung des Standortes ist geprägt durch Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie landwirtschaftliche Betriebe und wenig befahrene Straßen. Mainz-Hechtsheim wird von auf dem Flughafen Frankfurt landenden Flugzeugen in einer Höhe von ca. 1000 m über Grund überflogen. Die Messungen wurden im Zeitraum vom 16.03.2023 bis 05.06.2024 durchgeführt. Die gemessenen Parameter werden im folgenden Kapitel beschrieben.

Die Zeitspanne der temporären Messungen umfasst 14 volle Monate vom April 2023 bis einschließlich Mai 2024. Die gesetzlich festgeschriebenen Langfristgrenzwerte (und maximal erlaubte Überschreitungszahlen) sind jedoch immer auf Kalenderjahre bezogen (39. BImSchV, 2010). Da die hier erhobene Messzeit die Dauer eines Jahres übersteigt und kein Kalenderjahr am Stück abdeckt, wurden für den Vergleich mit den gültigen Grenzwerten die mittleren 12 Monate (Mai 2023 bis einschließlich April 2024) herangezogen. Somit werden Über- oder Untergewichtungen bestimmter Jahreszeiten vermieden und eine Beurteilung anhand der gesetzlichen Grenzwerte möglich.

Tabelle 1: Informationen zum Messort in Mainz-Hechtsheim.

|                       |                                                 |
|-----------------------|-------------------------------------------------|
| Stationsumgebung:     | städtisches Gebiet, Hintergrund                 |
| Standort:             | Klein-Winternheimer Weg, 55129 Mainz-Hechtsheim |
| Geogr. Breite:        | 49,9581° N                                      |
| Geogr. Länge:         | 8,2783 °E                                       |
| Höhe über NN:         | 147 m                                           |
| Zeitraum der Messung: | 16.03.2023 bis 05.06.2024                       |

#### 3.2 Gemessene Parameter

Im Rahmen der temporären Messungen in Mainz-Hechtsheim lag der Fokus auf der Bestimmung der UFP- bzw. Partikelanzahlkonzentration. Nähere Informationen zur Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration in Mainz-Hechtsheim, sowie an den anderen hinzugezogenen Messorten sind im Abschnitt 3.3 beschrieben.

Zusätzlich zur Partikelanzahlkonzentration wurden folgende, gesetzlich geregelte, Luftschadstoffe gemessen: Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub der Fraktionen PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>. Weiterhin wurden im Zeitraum von November 2023 bis einschließlich Mai 2024 zur Charakterisierung der Heizperiode zusätzlich die Parameter Ruß (BC) in PM<sub>2,5</sub>, sowie Levoglucosan, elementarer Kohlenstoff (EC) und organischer Kohlenstoff (OC) als Teil des PM<sub>10</sub>-Feinstaubs über tägliche Probenahmen (Sammeln des Feinstaubs über 24 Stunden auf Filtern und anschließende Analyse der Inhaltsstoffe im Labor) bestimmt. Nachfolgend werden diese Schadstoffparameter und deren Bedeutung kurz beschrieben.

Levoglucosan ist ein Molekül, das bei der Pyrolyse (starke Erhitzung) von Zellulose (Hauptbestandteil von Holz und Holzkohle) freigesetzt wird. Es wird als Marker für einen bestimmten Anteil des Feinstaubs, der aus der Verbrennung von Biomasse (z.B. Holz, Kohle etc.) stammt, beschrieben und stammt in Wohngebieten zum allergrößten Teil aus Emissionen durch Wärmeerzeugung (v.a. Kaminöfen).

Elementarer Kohlenstoff (EC, engl. elemental carbon) steht für die nicht-flüchtige, hitzebeständige, graphitähnliche Kohlenstoff-Fraktion in Feinstaub und entsteht durch unvollständige Verbrennungsprozesse. Auch hier gilt der Betrieb von Gebäudeheizungen (Öl-/Gas-/Holzheizungen etc.) als eine entscheidende Quelle, weiterhin tragen auch Verbrennermotoren im Verkehr zur EC-Konzentration bei. EC und OC werden mit chemischen oder thermo-optischen Methoden bestimmt.

Organischer Kohlenstoff (OC, engl. organic carbon) steht für den Kohlenstoffanteil im Feinstaub, der in organischen Molekülen gebunden ist. Diese Moleküle umfassen ein weites Spektrum an Verbindungen, die aus verschiedenen anthropogenen Quellen wie z.B. Verkehr, Verbrennung von Biomasse aber auch aus biogenen Quellen (Pollen etc.) stammen können.

Ruß (BC, engl. black carbon) ist chemisch nicht eindeutig definiert, kann jedoch als zum überwiegenden Teil aus Kohlenstoff bestehender Feststoff beschrieben werden, der durch unvollständige Verbrennung entsteht. Ruß ist durch seine Partikelgröße weitestgehend in der gesetzlich geregelten PM<sub>2,5</sub>-Feinstaubfraktion enthalten.

Ruß als Luftschadstoff kann messtechnisch bestimmt werden, jedoch gibt es verschiedene Messverfahren, deren Messparameter nur bedingt miteinander vergleichbar sind.

Zum einen wird die oben beschriebene thermisch-optische Messgröße Elementarer Kohlenstoff (EC) als Ruß-Parameter verwendet. Diese Größe kann allerdings nur in aufwendigen Laboranalysen nach vorheriger langer Probenahme des Feinstaubes auf Filtern (über 24 Stunden) bestimmt werden. Man erhält demzufolge nur einen Messwert pro Tag.

Zum anderen wird bei dem, in dieser Messkampagne verwendeten Ruß-Messverfahren über die Analyse der optischen Eigenschaften (Lichtabsorption) der auf einem Filterband deponierten Partikel kontinuierlich eine Massenkonzentration des Rußes bestimmt. Dies ermöglicht eine sehr feine zeitliche Auflösung, sodass Stundenmittelwerte möglich sind. Die dabei erhaltene Messgröße wird als „Schwarzer Kohlenstoff“ (BC) bezeichnet und gilt auch als Maß für Ruß, ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Messprinzipien nicht als äquivalent zur Messgröße EC zu betrachten.

### 3.3 Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration

Zur physikalischen Charakterisierung der ultrafeinen Partikel wurden an den hier dargestellten Messorten zwei unterschiedliche Verfahren verwendet. In Raunheim, Frankfurt-Schwanheim und Frankfurt Friedberger Landstraße kamen Mobilitätspartikelgrößenspektrometer der Fa. TSI (Modell 3938) zum Einsatz. Mit Hilfe dieser Geräte kann sowohl die Anzahl als auch die Größe der Partikel im Durchmesserbereich von 10 bis mind. 500 nm bestimmt werden. Über Integration der ermittelten Partikelanzahl-Größenverteilung wird ebenso die Gesamtpartikelanzahlkonzentration errechnet. Das Messverfahren mittels Mobilitätspartikelgrößenspektrometer richtet sich nach der Technischen Spezifikation CEN/TS 17434:2020.

Zur Messung der Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel wurden in Mainz-Hechtsheim und in Raunheim-Mönchhof Kondensationspartikelzähler (CPC, engl. Condensation Particle Counter) der Fa. TSI (Modell 3750) eingesetzt. Mithilfe eines CPCs wird die Gesamtpartikelanzahlkonzentration, also die Anzahl aller Partikel innerhalb eines bestimmten Luftvolumens (Partikel pro Kubikzentimeter), erfasst. Das Vorgehen zur Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration mittels CPC folgt den Vorgaben der Norm DIN-EN 16976:2024. Diese Norm wurde jedoch erst 2024 veröffentlicht. Vorher existierten entsprechende Vorgaben in einer technischen Spezifikation (CEN/TS 16976:2016). Bei der Überführung der technischen Spezifikation in die nun gültige Norm wurde die untere Messgrenze von ehemals 7 auf 10 nm (Partikeldurchmesser) angehoben, um eine einheitliche untere Messgrenze für unterschiedliche Messverfahren zu erreichen. Diese Harmonisierung gewährleistet die Vergleichbarkeit

der hier verwendeten zeitgleichen Messungen mithilfe von Mobilitätspartikelgrößenspektrometern und Kondensationspartikelzählern.

Die in 2019/2020 in Raunheim Mönchhof erhobenen Messungen wurden noch nach den alten Vorgaben durchgeführt, wodurch sich eine untere Messgrenze von 7 nm ergibt. Für die hier gezeigte Auswertung stellen die unterschiedlichen unteren Messgrenzen jedoch keine Einschränkung dar.

Bei den Messverfahren wird vor dem Eintritt der Partikel in das Messgerät das Aerosol mit einem Nafion®-Trockner auf unter 40 % relative Feuchte getrocknet. Hierbei wird lediglich Wasser aus dem Aerosolstrom entfernt. Flüchtige Partikelbestandteile bleiben weiterhin erhalten, sodass der Trocknungsprozess keinen Einfluss auf die Partikelanzahlkonzentration hat.

Im laufenden Betrieb wurden sämtliche Messdaten kontinuierlich auf Plausibilität überprüft und die Geräte in einem vierwöchigen Zyklus gewartet. Zusätzlich wurden die Geräte regelmäßig überprüft und durch den Hersteller bzw. das World Calibration Center for Aerosol Physics (WCCAP) kalibriert.

Bei der Bestimmung der Partikelanzahlkonzentration mit Kondensationspartikelzählern ist es messtechnisch nicht möglich, ausschließlich Partikel kleiner als 100 nm zu erfassen. Streng genommen werden somit nicht ausschließlich ultrafeine Partikel detektiert. Stattdessen wird die Summe aus feinen und ultrafeinen Partikeln detektiert. Es wird daher im Folgenden statt *UFP-Konzentration* der Begriff *Partikelanzahlkonzentration* verwendet. Diese Konvention findet ebenso in der Fachliteratur Anwendung und stellt keine Einschränkung bei der Beurteilung der Luftqualität in Bezug auf UFP dar.

### 3.4 Messorte zur Einordnung der Ergebnisse

Zur Einordnung und Beurteilung der in Mainz-Hechtsheim erhobenen Messwerte werden die Messungen weiterer Messorte hinzugezogen (s. Abbildung 1 und Tabelle 2). Die Ergebnisse der gesetzlich geregelten Luftschadstoffe werden anhand der vorgeschriebenen Grenzwerte beurteilt.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die in diesem Bericht verwendeten Messorte, deren typische Stationscharakteristik (städt. Hintergrund bzw. verkehrsbezogene Messung) und die dort gemessenen Parameter.

*Tabelle 2: Beschreibung der Standorte, deren Daten in diesem Bericht verwendet werden.*

| Standort                       | Stationsumgebung                  | im Bericht verwendete Parameter                                                                                           |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mainz-Hechtsheim               | städt. Hintergrund                | Partikelanzahlkonzentration, NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , EC, OC, BC, Levoglucosan, Lokalwind |
| Mainz-Mombach                  | städt. Hintergrund                | NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , BC                                                                                   |
| Mainz-Zitadelle                | städt. Hintergrund                | NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , EC, OC, Levoglucosan                                             |
| Mainz-Parcusstraße             | verkehrsbezogen                   | NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> , EC, OC, BC                                                       |
| Mainz-Rheinallee               | verkehrsbezogen                   | NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>                                                                                        |
| Raunheim                       | städt. Hintergrund                | Partikelanzahlkonzentration                                                                                               |
| Raunheim-Mönchhof              | städt. Hintergrund, Gewerbegebiet | Partikelanzahlkonzentration                                                                                               |
| Frankfurt-Schwanheim           | städt. Hintergrund                | Partikelanzahlkonzentration                                                                                               |
| Frankfurt Friedberger Landstr. | verkehrsbezogen                   | Partikelanzahlkonzentration                                                                                               |

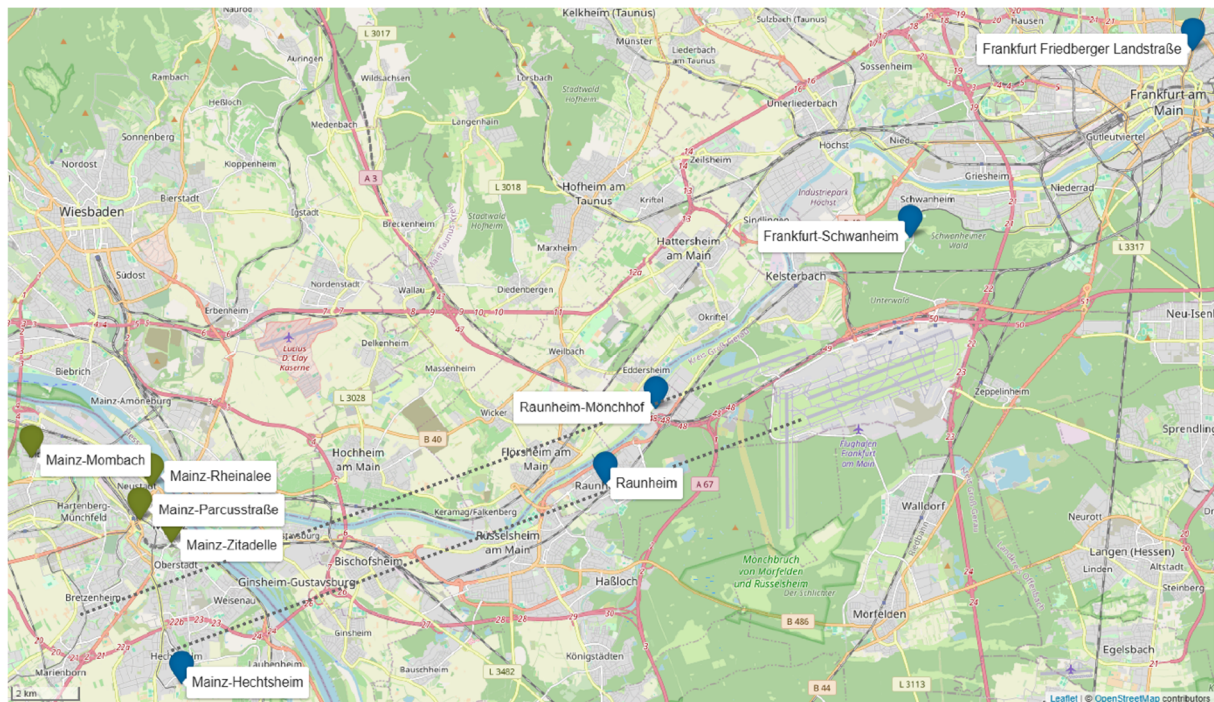


Abbildung 1: Standorte von UFP-Messstellen (blau) und Standorte der Standard-Luftqualitätsmessungen (grün), deren Daten in diesem Bericht verwendet werden. Die gestrichelten Linien stellen die Anfluglinien auf die Südbahn sowie die Landebahn Nordwest bei Betriebsrichtung Ost dar. Karte: [OpenStreetMap](#).

Für die Parameter Ruß (BC) in  $PM_{2,5}$ , sowie Levoglucosan, elementarer Kohlenstoff (EC) und organischer Kohlenstoff (OC) in  $PM_{10}$  existieren keine Grenz- oder Zielwerte. Daher erfolgt eine Einordnung der in Mainz-Hechtsheim gemessenen Werte anhand der Messungen an den anderen Mainzer Messstationen des zentralen Immissionsmessnetzes Rheinland-Pfalz (ZIMEN).

Ebenso existieren für ultrafeine Partikel zur Beurteilung der Luftqualität keine Grenz- oder Zielwerte. In den Luftgüteleitlinien der Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, 2021) wurden 2021 erstmals zur Einordnung der Partikelanzahlkonzentration zwei Orientierungswerte genannt. Die Konzentration wird danach als hoch eingeschätzt bei Überschreitung eines Stundenmittelwerts von 20 000 Partikeln pro  $cm^3$  oder bei Überschreitung eines Tagesmittelwerts von 10 000 Partikeln pro  $cm^3$ .

Zur weiteren Einordnung der Partikelanzahlkonzentration werden neben den Messungen in Mainz-Hechtsheim zusätzlich Messungen der im Rhein-Main-Gebiet gelegenen permanenten UFP-Messstellen des HLNUG (Frankfurt-Schwanheim, Frankfurt Friedberger Landstraße und Raunheim) für den gleichen Bezugszeitraum hinzugezogen. Die Messstelle in Frankfurt-Schwanheim liegt im städtischen Hintergrund etwa 2,5 km nördlich des Frankfurter Flughafens und ist bei Süd- bis Südwestwind von der Abluft des Flughafens stark beeinflusst. Aufgrund der typischen Windverteilung im Rhein-Main-Gebiet tritt dies besonders häufig auf. Die Messstelle in Raunheim befindet sich ebenfalls im städtischen Hintergrund und wird zusätzlich bei Wind aus Nordost durch die Emissionen aus dem Flugbetrieb beeinflusst. Die Messungen in Frankfurt in der Friedberger Landstraße sind vor allem durch Verkehrsemissionen in unmittelbarer Umgebung dominiert. Bei Südwestwind sind jedoch auch hier die Emissionen aus dem Flugbetrieb nachweisbar.

## 4 Ergebnisse für gesetzlich regulierte Schadstoffe, Kohlenstoffparameter und Levoglucosan

### 4.1 Gesetzlich regulierte Luftschadstoffe NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Schadstoffe NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> dargestellt und sowohl mit den Grenzwerten als auch mit Messwerten anderer ZIMEN-Messstationen in Mainz verglichen. Dabei ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Berichterstellung die Grenzwerte der 39. BImSchV gültig waren. Diese Grenzwerte sind in den folgenden Tabellen mit „Grenzwert bisher“ bezeichnet. Die ab 2030 gültigen schärferen Grenzwerte der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie sind in den Tabellen mit „Grenzwert neue LQR“ bezeichnet.

Die Zeitspanne der Mainz-Hechtsheimer Messkampagne umfasst 14 volle Monate vom April 2023 bis einschließlich Mai 2024. Aus oben genannten Gründen wurden für den Vergleich mit den Grenzwerten die mittleren 12 Monate (Mai 2023 bis einschließlich April 2024) herangezogen. Innerhalb des gesamten Messzeitraumes von 14 Monaten wären auch noch zwei andere 12-Monatsintervalle möglich gewesen. Eine Vergleichsauswertung für diese beiden Perioden hat keine Unterschiede in den Ergebnissen ergeben. Die gefundenen Überschreitungstage werden von jedem dieser Jahresintervalle überdeckt und die Jahresmittelwerte bleiben ebenfalls konstant.

#### 4.1.1 Stickstoffdioxid - NO<sub>2</sub>

Für Stickstoffdioxid gelten Grenzwerte für den Stunden-, Tages- und Jahresmittelwert. Für Stunden- und Tagesmittelwerte wurden in Mainz-Hechtsheim keine Überschreitungen festgestellt. Auch der Jahresmittelwert überschreitet weder den bisherigen noch den neuen Grenzwert und lag zudem deutlich niedriger als die Jahresmittelwerte an den anderen vier Messstationen in Mainz (Tabelle 5 und Abbildung 2).

Tabelle 3: Übersicht NO<sub>2</sub>-Stundengrenzwert in µg/m<sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz

| Aggregation        | Stunde                         |                 |               |                    |                  |
|--------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Grenzwert bisher   | 200 (max. 18 Überschreitungen) |                 |               |                    |                  |
| Grenzwert neue LQR | 200 (max. 3 Überschreitungen)  |                 |               |                    |                  |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim               | Mainz-Zitadelle | Mainz-Mombach | Mainz-Parcusstraße | Mainz-Rheinallee |
| Überschreitungen   | 0                              | 0               | 0             | 0                  | 0                |

Tabelle 4: Übersicht NO<sub>2</sub>-Tagesgrenzwert in µg/m<sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz

| Aggregation        | Tag                           |                 |               |                    |                  |
|--------------------|-------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Grenzwert bisher   | -                             |                 |               |                    |                  |
| Grenzwert neue LQR | 50 (max. 18 Überschreitungen) |                 |               |                    |                  |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim              | Mainz-Zitadelle | Mainz-Mombach | Mainz-Parcusstraße | Mainz-Rheinallee |
| Überschreitungen   | - (neu 0)                     | - (neu 0)       | - (neu 0)     | - (neu 2)          | - (neu 13)       |

Tabelle 5: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für NO<sub>2</sub> in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in µg/m<sup>3</sup>

| Aggregation        | Jahr             |                 |               |                    |                  |
|--------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Grenzwert bisher   | 40               |                 |               |                    |                  |
| Grenzwert neue LQR | 20               |                 |               |                    |                  |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim | Mainz-Zitadelle | Mainz-Mombach | Mainz-Parcusstraße | Mainz-Rheinallee |
| Mittelwert         | 11               | 21              | 14            | 27                 | 23               |

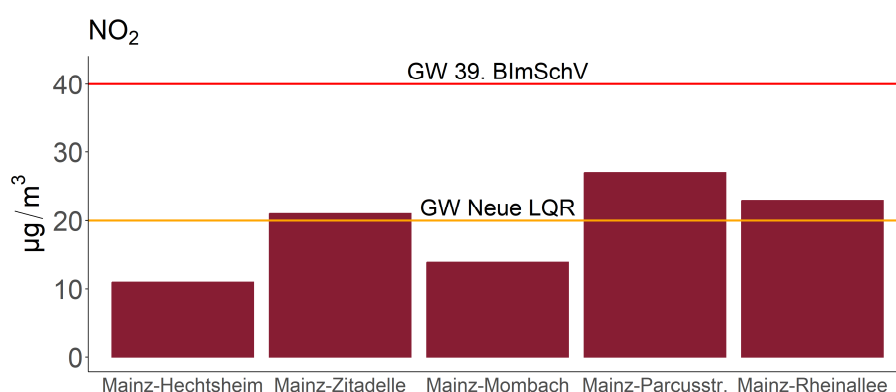


Abbildung 2: Gleitender NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz

#### 4.1.2 PM<sub>10</sub>-Feinstaub -

Für PM<sub>10</sub> gelten aktuell wie auch zukünftig Grenzwerte für den Tages- und Jahresmittelwert. In Mainz-Hechtsheim gab es im betrachteten Jahreszeitraum zwei Überschreitungen des bisher geltenden Tagesgrenzwertes. Bei Anwendung des Tagesgrenzwertes nach der novellierten Richtlinie käme noch ein weiterer Überschreitungstag dazu. Nach bisheriger Regelung wie auch gemäß der novellierten EU-Richtlinie lag die Anzahl der Überschreitungstage sehr deutlich unter der maximal erlaubten Anzahl an Überschreitungen – wie auch bei allen anderen Messstationen in Mainz (Tabelle 6).

Der PM<sub>10</sub> Jahresmittelwert lag sowohl für Mainz-Hechtsheim als auch für die anderen Messstationen deutlich niedriger als der bisherige oder neue Grenzwert (Tabelle 7 und Abbildung 3).

Tabelle 6: Übersicht  $PM_{10}$ -Tagesgrenzwert in  $\mu g/m^3$  und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz

| Aggregation        | Tag                           |                 |               |                    |                  |
|--------------------|-------------------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Grenzwert bisher   | 50 (max. 35 Überschreitungen) |                 |               |                    |                  |
| Grenzwert neue LQR | 45 (max. 18 Überschreitungen) |                 |               |                    |                  |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim              | Mainz-Zitadelle | Mainz-Mombach | Mainz-Parcusstraße | Mainz-Rheinallee |
| Überschreitungen   | 2 (neu 3)                     | 0 (neu 1)       | 0 (neu 1)     | 2 (neu 2)          | 0 (neu 0)        |

Tabelle 7: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für  $PM_{10}$  in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in  $\mu g/m^3$

| Aggregation        | Jahr             |                 |               |                    |                  |
|--------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------------|------------------|
| Grenzwert bisher   | 40               |                 |               |                    |                  |
| Grenzwert neue LQR | 20               |                 |               |                    |                  |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim | Mainz-Zitadelle | Mainz-Mombach | Mainz-Parcusstraße | Mainz-Rheinallee |
| Mittelwert         | 14               | 14              | 14            | 17                 | 13               |

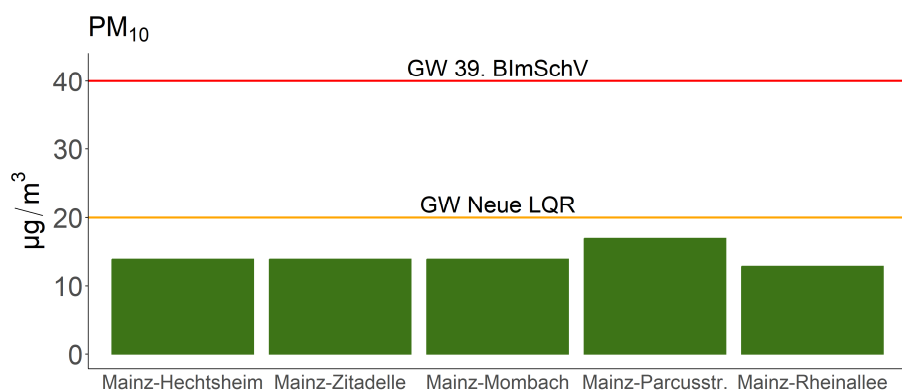


Abbildung 3: Gleitender  $PM_{10}$ -Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz

#### 4.1.3 PM<sub>2,5</sub>-Feinstaub

Im Fall von PM<sub>2,5</sub> gilt nur nach der novellierten EU-Richtlinie ein Grenzwert von 25 µg/m<sup>3</sup> für den Tagesmittelwert. Dieser Grenzwert wurde in Mainz-Hechtsheim im betrachteten Jahreszeitraum an vier Tagen im Januar überschritten. Wie auch bei PM<sub>10</sub> liegt die Anzahl der Überschreitungen des Tagesgrenzwertes deutlich unter der maximal erlaubten Anzahl an Überschreitungen. Gleiches ist auch bei den anderen PM<sub>2,5</sub>-Messstationen in Mainz der Fall (Tabelle 8).

Der PM<sub>2,5</sub>-Jahresmittelwert für Mainz-Hechtsheim liegt bei weniger als 50 % des derzeit gültigen Jahresgrenzwertes. Bezogen auf den strengeren Grenzwert aus der novellierten EU-Richtlinie liegt der Jahresmittelwert bei 80 % des Grenzwertes. Bei den anderen PM<sub>2,5</sub>-Messstationen in Mainz verhält es sich analog (Tabelle 9 und Abbildung 4).

Tabelle 8: Übersicht PM<sub>2,5</sub>-Tagesgrenzwert in µg/m<sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz

| Aggregation        | Tag                           |                 |                    |
|--------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|
| Grenzwert bisher   | -                             |                 |                    |
| Grenzwert neue LQR | 25 (max. 18 Überschreitungen) |                 |                    |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim              | Mainz-Zitadelle | Mainz-Parcusstraße |
| Überschreitungen   | - (neu 4)                     | - (neu 5)       | - (neu 9)          |

Tabelle 9: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für PM<sub>2,5</sub> in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in µg/m<sup>3</sup>

| Aggregation        | Jahr             |                 |                    |
|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| Grenzwert bisher   | 25               |                 |                    |
| Grenzwert neue LQR | 10               |                 |                    |
| Messort            | Mainz-Hechtsheim | Mainz-Zitadelle | Mainz-Parcusstraße |
| Mittelwert         | 8                | 8               | 9                  |

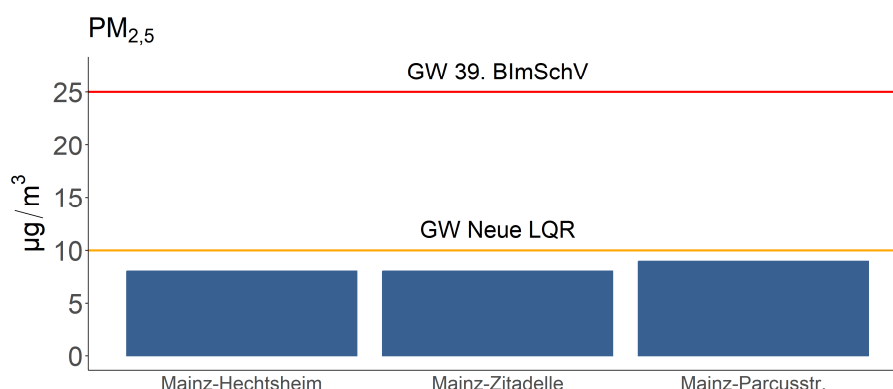


Abbildung 4: Gleitender PM<sub>2,5</sub>-Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz

## 4.2 Nicht gesetzlich regulierte Luftschadstoffe

Ab November 2023 bis einschließlich Mai 2024 wurden zur Charakterisierung der Heizperiode in Mainz-Hechtsheim zusätzlich die Parameter Levoglucosan, Elementarer Kohlenstoff (EC) und Organischer Kohlenstoff (OC) als Teil des PM<sub>10</sub>-Feinstaubes, sowie Ruß in PM<sub>2,5</sub> bestimmt.

### 4.2.1 Levoglucosan, EC und OC in PM<sub>10</sub>

Die Schadstoffparameter Levoglucosan, EC und OC sind weder mit gesetzlichen Grenzwerten belegt, noch gibt es für sie Richtwerte in den Luftgüteleitlinien der WHO. Daher kann hier keine Bewertung, wie für die Schadstoffparameter NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> oben ausgeführt, erfolgen. Die Messergebnisse werden hier lediglich dargestellt und mit entsprechenden Ergebnissen anderer ZIMEN-Messstationen verglichen (siehe Tabelle 2).

In Abbildung 5 sind für Levoglucosan, EC und OC die jeweiligen Monatsmittelwerte als Säulendiagramme dargestellt. Levoglucosan und EC haben ähnliche Zeitverläufe. In den Wintermonaten steigen die Konzentrationen deutlich bis auf ein Maximum im Januar 2024, welcher der kälteste Monat des Winters 2023/24 war. Danach fallen die Konzentrationswerte über den Frühling bis einschließlich Mai wieder ab. Beim Parameter OC lässt sich dieser Verlauf nicht vollständig wiedererkennen. Auch hier steigen die Werte im Winter auf ein Maximum im Januar, jedoch folgt dann ein weiterer Anstieg von Februar bis Mai.

Im Vergleich zu Mainz-Hechtsheim liegen an der Messstation Mainz-Zitadelle (ebenfalls städtischer Hintergrund) ähnliche zeitliche Verläufe von Levoglucosan, EC und OC vor.

Die Station Mainz-Parcusstraße ist eine Verkehrsmessstation in der Innenstadt von Mainz mit einem täglichen Verkehrsaufkommen von ca. 20000 Kfz. Auch hier zeigt der Vergleich über große Zeiträume einen ähnlichen zeitlichen Verlauf von EC und OC. Im Fall von EC liegen die Werte in Mainz-Parcusstraße jedoch ab März deutlich höher.

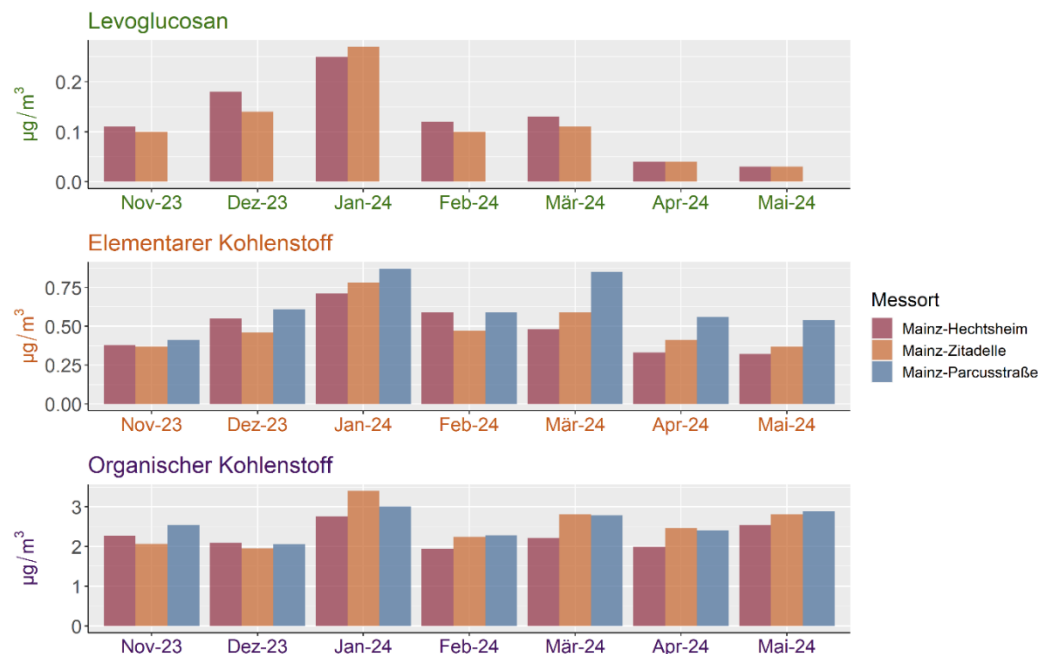


Abbildung 5: Monatsmittelwerte von November 2023 bis einschließlich Mai 2024 für Levoglucosan, Elementaren Kohlenstoff (EC) und Organischen Kohlenstoff (OC) im PM<sub>10</sub>-Feinstaub an den Stationen Mainz-Hechtsheim (MZ-Hec), Mainz-Zitadelle (MZ-Zit) und Mainz-Parcusstraße (MZ-Par)

Um das mittlere Belastungsniveau mit Levoglucosan, EC und OC zu vergleichen, sind in Tabelle 10 die jeweiligen Mittelwerte über den gesamten Messzeitraum in Mainz-Hechtsheim von November 2023 bis einschließlich Mai 2024 zusammengefasst. Die Gesamtmittelwerte für Levoglucosan und EC an den Messstationen Mainz-Hechtsheim und Mainz-Zitadelle unterscheiden sich kaum. OC liegt im Gesamtmittel an der Zitadelle erkennbar höher, auf gleichem Niveau wie an der Station Parcusstraße. Außerdem liegt EC an der Parcusstraße im Gesamtmittel um etwa die Hälfte höher als Mainz-Hechtsheim und als Mainz-Zitadelle.

*Tabelle 10: Gesamtmittelwerte auf Basis der einzelnen Tageswerte über den Messzeitraum November 2023 bis einschließlich Mai 2024 für Levoglucosan, Elementaren Kohlenstoff und Organischen Kohlenstoff im PM<sub>10</sub>-Feinstaub an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Zitadelle und Mainz-Parcusstraße in µg/m<sup>3</sup>*

| Messort          | Levoglucosan | Elementarer Kohlenstoff | Organischer Kohlenstoff |
|------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|
| Mainz-Hechtsheim | 0,13         | 0,49                    | 2,26                    |
| Mainz-Zitadelle  | 0,11         | 0,49                    | 2,56                    |
| Mainz-Parcusstr. | -            | 0,63                    | 2,57                    |

#### 4.2.2 Ruß (BC) in PM<sub>2,5</sub>

Im Folgenden werden die Messergebnisse für Ruß (BC) vorgestellt und mit entsprechenden parallelen Messungen an zwei anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz verglichen (Abbildung 6).

Der zeitliche Verlauf der Rußkonzentration an den drei Mainzer Messstationen ist grundsätzlich sehr ähnlich. Die Konzentrationswerte liegen in den Wintermonaten deutlich über den Werten im Herbst und Frühling. Die Monatsmittelwerte zeigen einen vergleichbaren Verlauf wie für EC (vgl. Abbildung 5) und bestätigen damit den engen Zusammenhang zwischen EC und BC als Rußparameter.

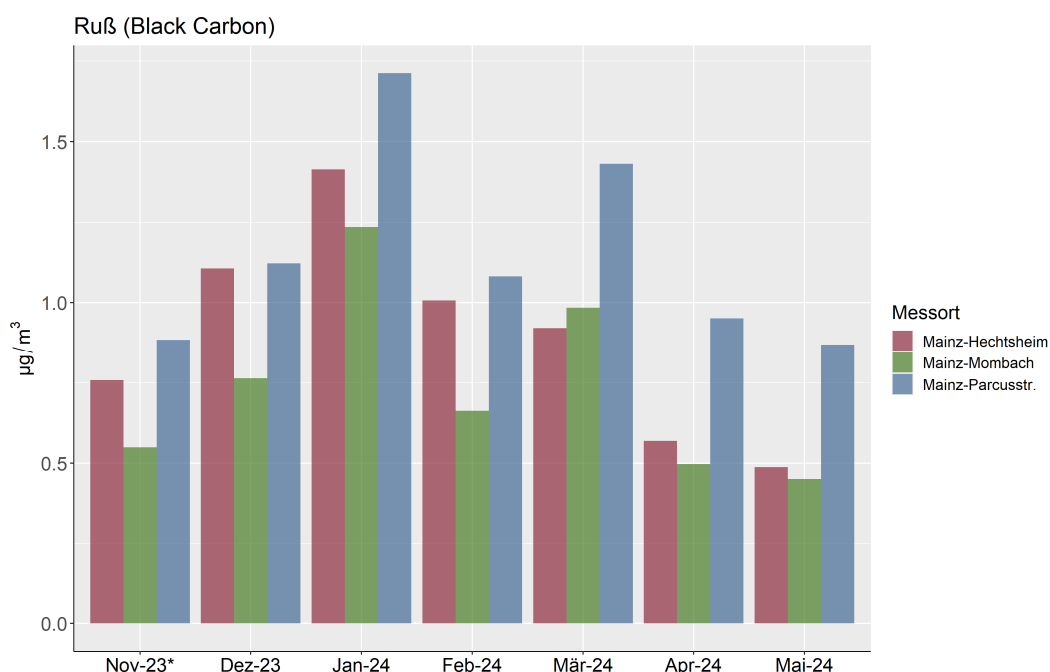


Abbildung 6: Monatsmittelwerte für Ruß (BC) in Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße.

\* In Mainz-Hechtsheim wurde erst am 15.11.2023 das entsprechende Messgerät in Betrieb genommen, daher wurde dieser Mittelwert nur aus den übrigen Tagesmittelwerten im November gebildet.

In Tabelle 11 sind die Gesamtmittelwerte für die kontinuierlichen Rußmessungen über die entsprechende Messzeit der Hechtsheimer Messkampagne zusammen mit denen der parallelen Rußmessungen in Mainz-Mombach und an der Parcusstraße in der Mainzer Innenstadt zusammengetragen. Daraus wird deutlich, dass sowohl in Mainz-Hechtsheim, als auch an der Station Mainz-Mombach, im städtischen Hintergrund die Rußkonzentrationen deutlich niedriger liegen, als an der stark durch Verkehr belasteten Station Mainz-Parcusstraße.

Tabelle 11: Gesamtmittelwerte auf Basis der einzelnen Tageswerte über den Messzeitraum 16.11.2023 bis einschließlich Mai 2024 für Ruß (Black Carbon) an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße in µg/m³

| Messort          | Ruß (BC) |
|------------------|----------|
| Mainz-Hechtsheim | 0,91     |
| Mainz-Mombach    | 0,76     |
| Mainz-Parcusstr. | 1,18     |

Da BC an den hier betrachteten Messstationen in hoher zeitlicher Auflösung gemessen wurde, können Tagesgänge der Konzentration erstellt werden. In Abbildung 7 sind diese aufgeschlüsselt nach den Monaten dargestellt. Hier kann man beobachten, dass die Ruß-Tagesgänge von Mainz-Hechtsheim und Mainz-Mombach in den milden Frühlingsmonaten März, April und Mai kaum Unterschiede aufweisen, während sie sich in den kälteren Monaten Dezember, Januar und Februar deutlich voneinander abheben und die Werte in Hechtsheim höher liegen als die in Mombach.

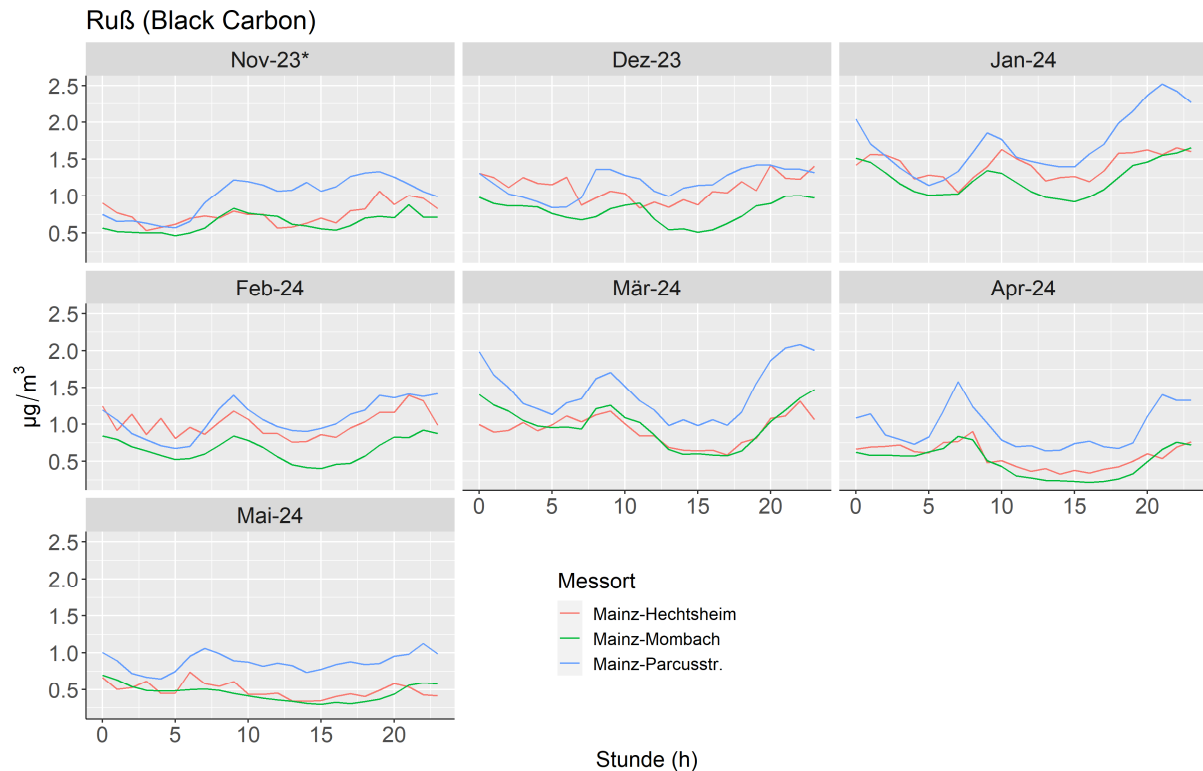


Abbildung 7: Tagesgänge der Ruß (BC)-Konzentration auf Basis von Stundenmittelwerten an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße aufgeschlüsselt nach Monaten.

\* In Mainz-Hechtsheim wurde erst am 15.11.2023 das entsprechende Messgerät in Betrieb genommen, daher wurden diese Tagesgänge nur aus den übrigen Stundenmittelwerten im November gebildet.

## 5 Ergebnisse für die Partikelanzahlkonzentration

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse beziehen sich alle auf den Zeitraum vom 1. Mai 2023 bis zum 30. April 2024. Zur Darstellung der Ergebnisse wurde ein Zeitraum mit 12 aufeinander folgenden Monaten gewählt. Dies ist, wie oben beschrieben, bei der Beurteilung der Luftqualität in Bezug auf die gesetzlich vorgeschriebenen Luftschadstoffe üblich, sofern kein volles Kalenderjahr vorliegt. Innerhalb des gesamten Messzeitraumes von 14 Monaten wären auch noch zwei andere 12-Monatsintervalle möglich gewesen. Eine Vergleichsauswertung für diese beiden Perioden hat keine wesentlichen Unterschiede in den Ergebnissen ergeben.

### 5.1 Statistische Informationen zur Partikelanzahlkonzentration

In Tabelle 12 sind statistische Informationen zur Partikelanzahlkonzentration zusammengefasst. Zur Einordnung der Messwerte sind neben den Messungen in Mainz-Hechtsheim auch Messungen der im Rhein-Main-Gebiet gelegenen permanenten UFP-Messstellen des HLNUG (Frankfurt-Schwanheim, Frankfurt Friedberger Landstraße und Raunheim) für den gleichen Bezugszeitraum dargestellt. Informationen zu den Messstellen sind in Kapitel 3.4 beschrieben.

*Tabelle 12: Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Mainz-Hechtsheim, Frankfurt-Schwanheim, Frankfurt Friedberger Landstraße und Raunheim im Zeitraum vom 1. Mai 2023 bis 30. April 2024. Datengrundlage sind Stundenmittelwerte.*

| Messstation              | Mittelwert<br>(1/cm <sup>3</sup> ) | Median<br>(1/cm <sup>3</sup> ) | 10. Perzentil<br>(1/cm <sup>3</sup> ) | 90. Perzentil<br>(1/cm <sup>3</sup> ) |
|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Mainz-Hechtsheim         | 6 400                              | 5 400                          | 2 400                                 | 11 400                                |
| F-Schwanheim             | 13 600                             | 8 500                          | 3 500                                 | 33 000                                |
| F Friedberger Landstraße | 10 700                             | 9 200                          | 4 000                                 | 19 300                                |
| Raunheim                 | 9 300                              | 7 500                          | 3 000                                 | 17 800                                |

Die mittlere Partikelanzahlkonzentration lag in Mainz-Hechtsheim bei 6 400 Partikeln pro cm<sup>3</sup> und war damit deutlich niedriger als an den anderen UFP-Messstellen. Dies spiegelt sich auch bei den höchsten gemessenen Konzentrationen wider. Während in Mainz-Hechtsheim 90 % aller Stundenmittelwerte eine Konzentration von weniger als ca. 11 400 Partikel pro cm<sup>3</sup> aufwiesen (90. Perzentil), traten an den anderen Messstellen deutlich höhere Werte zwischen etwa 17 800 bis 33 000 Partikeln pro cm<sup>3</sup> auf. Frankfurt Schwanheim zeigt im Vergleich das höchste 90. Perzentil. Dieser Standort befand sich im hier betrachteten Bezugszeitraum besonders häufig unter dem Einfluss der Emissionen aus dem Flugbetrieb, da überwiegend Wind aus südwestlichen Richtungen vorherrschte (siehe auch Abbildung 1).

Die 10 % niedrigsten Werte (10. Perzentil) lagen an den in Tabelle 12 gezeigten Messstellen in einem sehr ähnlichen Wertebereich zwischen 2 400 bis 4 000 Partikeln pro cm<sup>3</sup>, was auf eine vergleichbare Hintergrundbelastung an den Standorten hindeutet. Hierbei war an der verkehrsbezogenen Messstelle in der Friedberger Landstraße in Frankfurt das höchste Grundniveau zu verzeichnen.

Die Messungen in Mainz-Hechtsheim wurden auf dem Gelände des Turnvereins Hechtsheim 1882 e.V. durchgeführt. Auf diesem Gelände finden regelmäßig Sportveranstaltungen inklusive Rahmenprogramm statt. Aktivitäten wie Grillen oder intensive Grünpflege können erheblichen Einfluss auf die Partikelkonzentration in der direkten Umgebung der Messstelle haben. Da solche Aktivitäten jedoch einen räumlich sehr begrenzten Einfluss haben und somit nicht repräsentativ für einen größeren Bereich um den Messstandort sind, wurden diese Zeiträume in die folgenden Auswertungen

nicht einbezogen. Dies betrifft den 6./7. Mai 2023, sowie den 15./16. Juli 2023. Insgesamt wurden dadurch weniger als 2 % aller Messdaten nicht berücksichtigt. Die zeitliche Abdeckung bzw. Verfügbarkeit an Messdaten im Messzeitraum liegt aufgrund von Gerätewartungen oder Geräteausfällen insgesamt bei ca. 97 %.

## 5.2 Abhängigkeit der Partikelkonzentration von der Windrichtung

In Abbildung 8 wird die mittlere Anzahlkonzentration für Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit der Windrichtung dargestellt. Aus der Abbildung ist eine deutliche Abhängigkeit der Partikelanzahlkonzentration von der Windrichtung erkennbar. Für Wind aus südwestlichen Richtungen war die Konzentration mit weniger als 6 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$  am niedrigsten. Bei Anströmung aus nördlichen und östlichen Richtungen steigt die Konzentration deutlich an und erreicht bei Ost-Nordost-Wind (ca.  $70^\circ$ ) ein Maximum von ca. 10 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$ . Mögliche in dieser Richtung liegende Quellen werden in Kapitel 6 näher untersucht.

Abbildung 9 zeigt Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung gemessen in Mainz-Hechtsheim und an der Messstation des Deutschen Wetterdienstes auf dem Gelände des Flughafen Frankfurt. Die Ergebnisse beider Messstationen spiegeln die für die Rhein-Main-Region typischen Anströmbedingungen wider. Es ergeben sich zwei Hauptwindrichtungen: Nordost und Südwest, wobei verglichen mit nordöstlichen Windrichtungen der Wind fast doppelt so häufig aus Süd bis Südwest wehte. Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an den beiden Messorten ist im Wesentlichen sehr gut vergleichbar. Aufgrund der Wohnbebauung im Umfeld der temporären Messungen ist die mittlere Windgeschwindigkeit in Mainz-Hechtsheim jedoch deutlich niedriger. Zur Einschätzung der übergeordneten Windverhältnisse wird daher auf die Messwerte der Station des Deutschen Wetterdienstes auf dem Flughafengelände (DWD Climate Data Center, Stations-ID 1420) zurückgegriffen.

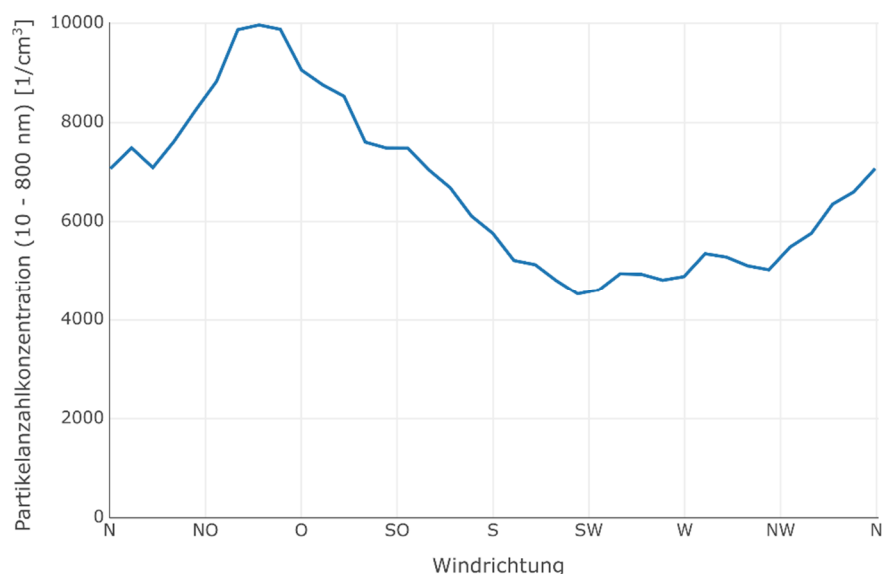


Abbildung 8: Mittlere Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit der Windrichtung für den Zeitraum 1. Mai 2023 bis 30. April 2024. Es ist zu beachten, dass nicht alle Windrichtungen gleich häufig auftreten (s. Abbildung 9). Datengrundlage der Partikel- und Winddaten sind 1-Sekundenwerte der Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf dem Gelände des Flughafen Frankfurt (DWD Stations-ID: 1420).

Die charakteristischen Windverhältnisse führten dazu, dass in über der Hälfte des Messzeitraums Wind aus dem Windrichtungsbereich mit der niedrigsten Partikelanzahlkonzentration (von 175° (Süd) bis 274° (West)) wehte und somit die mittlere Partikelanzahlkonzentration über den gesamten Bezugszeitraum vergleichsweise niedrig war.

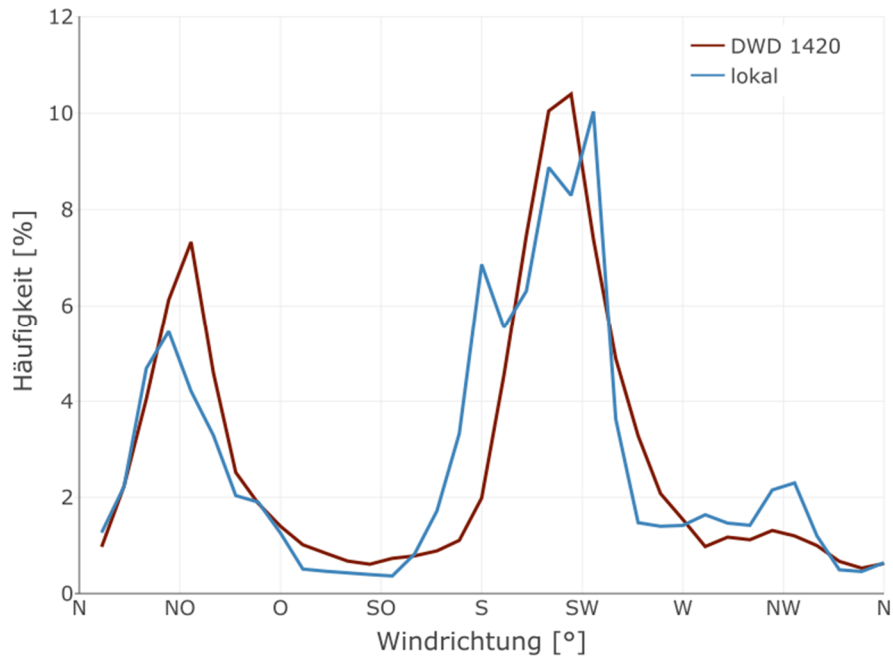


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Windrichtung (Windgeschwindigkeit  $\geq 1 \text{ m/s}$ ) in Mainz-Hechtsheim (lokal) und an der Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf dem Gelände des Flughafen Frankfurt (DWD Stations-ID: 1420). Datengrundlage sind 10-min-Werte.

### 5.3 Tageszeitliche Entwicklung der Partikelkonzentration

Abbildung 10 zeigt die mittlere Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit von der Tageszeit. Grundlage ist hierbei die Ortszeit (MEZ bzw. MESZ). Dargestellt wird die mittlere Partikelanzahlkonzentration und die 10% höchsten Werte (90. Perzentil) für das entsprechende Zeitintervall.

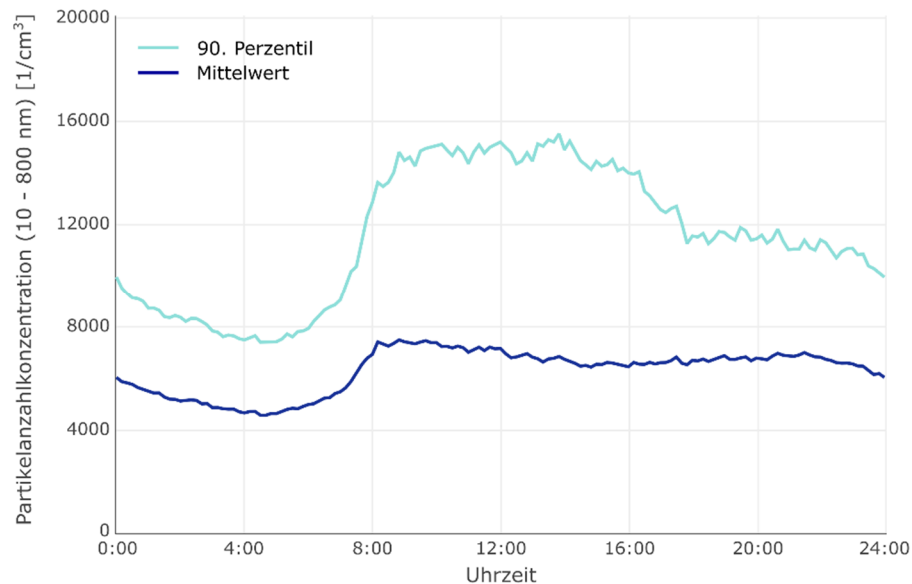


Abbildung 10: Mittlere Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit der Tageszeit für den gleichen Zeitraum wie Abbildung 8. Datengrundlage sind 1-Sekundenwerte.

Die Partikelanzahl erreichte minimale Konzentrationswerte in den frühen Morgenstunden. Sowohl die mittlere Partikelanzahl als auch die 10% höchsten Konzentrationswerte zeigten einen allmählichen Anstieg bis ca. 8:00 Uhr morgens und einen graduellen Rückgang im Laufe des Tages.

### 5.4 Einordnung der Konzentrationswerte nach WHO-Kriterien

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat 2021 neue Luftgüteleitlinien veröffentlicht. Für ultrafeine Partikel wurden erstmals zur Einordnung der Partikelanzahlkonzentration zwei Orientierungswerte genannt. Die Konzentration wird danach als hoch eingeschätzt bei Überschreitung eines Stundenmittelwerts von 20 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$  oder bei Überschreitung eines Tagesmittelwerts von 10 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$ . Aus Tabelle 13 wird ersichtlich, dass in Mainz-Hechtsheim das Kriterium für den Tagesmittelwert, welches das strengere der Kriterien darstellt, in 11% aller Messtage überschritten war. Die Partikelanzahlkonzentration ist demnach in Mainz-Hechtsheim weitestgehend nicht als hoch einzuschätzen. An den weiteren Stationen im Rhein-Main-Gebiet ist die Partikelanzahlkonzentration deutlich höher. Im hier dargestellten Bezugszeitraum war das WHO-Kriterium für den Tagesmittelwert beispielsweise in Frankfurt-Schwanheim aufgrund der häufigen Südwestanströmung an 61% der Tage überschritten und die Partikelanzahl ist dort entsprechend als überwiegend hoch einzuschätzen.

Tabelle 13: Einordnung der gemessenen Anzahlkonzentration für Partikel größer 10 nm nach den Luftqualitätsrichtlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Hierbei wird die Anzahl und die relative Häufigkeit (bezogen auf den Messzeitraum) der Überschreitungen eines Stundenmittelwerts von 20 000 Partikeln pro cm<sup>3</sup> und eines Tagesmittelwerts von 10 000 Partikeln pro cm<sup>3</sup> angegeben.

| Messstation              | Überschreitungen des Stundenmittelwerts<br>( > 20 000 Partikel pro cm <sup>3</sup> ) |    | Überschreitungen des Tagesmittelwerts<br>( > 10 000 Partikel pro cm <sup>3</sup> ) |    |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                          | Anzahl der Stunden                                                                   | %  | Anzahl der Tage                                                                    | %  |
| Mainz-Hechtsheim         | 132                                                                                  | 2  | 38                                                                                 | 11 |
| F-Schwanheim             | 1573                                                                                 | 21 | 188                                                                                | 61 |
| F Friedberger Landstraße | 670                                                                                  | 9  | 177                                                                                | 55 |
| Raunheim                 | 598                                                                                  | 7  | 124                                                                                | 38 |

## 6 Einfluss unterschiedlicher Emissionsquellen auf die Partikelanzahlkonzentration

Verschiedene Emissionsquellen zeichnen sich durch eine unterschiedliche Zusammensetzung der ausgestoßenen Luftschadstoffe aus. In diesem Abschnitt wird das Verhältnis aus Partikelanzahlkonzentration und Stickstoffdioxidkonzentration ( $\text{NO}_2$ ) betrachtet. Ziel ist es, mögliche Emissionsquellen für die in Mainz-Hechtsheim bei Wind aus Nordost gemessene erhöhte Partikelanzahlkonzentration zu identifizieren. Zu diesem Zweck wurden zusätzlich die Daten der Frankfurter Luftmessstationen Frankfurt-Schwanheim und Friedberger Landstraße hinzugezogen. Die beiden Luftmessstationen werden durch unterschiedliche Emittenten dominiert. Während die Luftmessstation in der Friedberger Landstraße insbesondere bei Ostwind durch lokalen Kfz-Verkehr dominiert wird, ist Frankfurt-Schwanheim bei Südwind vor allem durch die Emissionen aus dem Flugverkehr beeinflusst (siehe auch Abbildung 1).

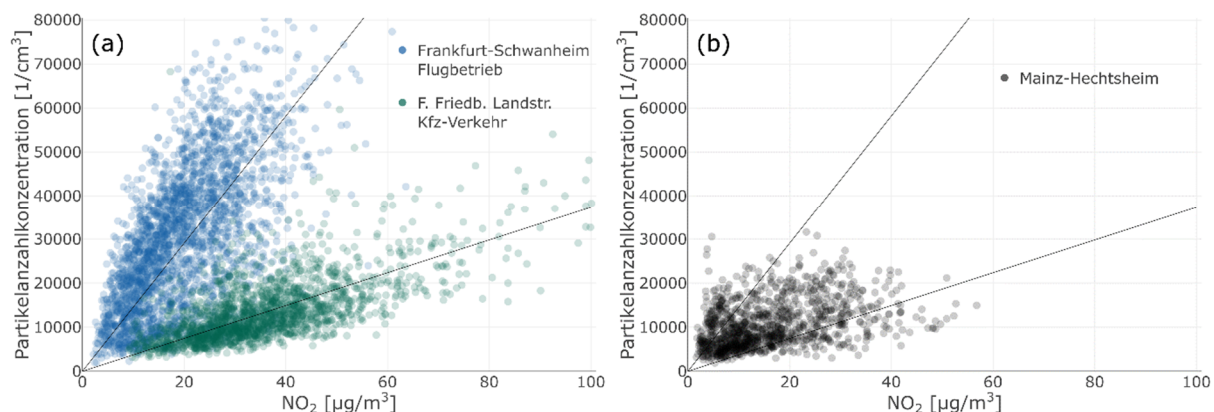


Abbildung 11:

a): Gleichzeitig erhobene Wertepaare für Partikelanzahl- und  $\text{NO}_2$ -Konzentration gemessen an der Luftmessstation Frankfurt-Schwanheim (blau, unter Einfluss des Flugbetriebs: 5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen  $155^\circ$  bis  $214^\circ$ ) und Frankfurt Friedberger Landstraße (grün, unter Einfluss des Kfz-Verkehrs: 5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen  $55^\circ$  bis  $174^\circ$ ) im Zeitraum vom 01. Mai 2023 bis 30. April 2024. Die schwarzen Linien zeigen die lineare Regression der beiden unterschiedlichen Datenkollektive aus Frankfurt-Schwanheim und Frankfurt Friedberger Landstraße.

b): Wertepaare für Partikelanzahl- und  $\text{NO}_2$ -Konzentration gemessen an der Luftmessstation Mainz-Hechtsheim (5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen  $55^\circ$  bis  $94^\circ$ ). Datengrundlage sind 30-min-Mittelwerte.

Abbildung 11 a) zeigt Wertepaare parallel gemessener  $\text{NO}_2$ - und Partikelanzahlkonzentration in Frankfurt-Schwanheim und Frankfurt Friedberger Landstraße, die im Messzeitraum vom 1. Mai 2023 bis 30. April 2024 erhoben wurden. Um den an jeder Station dominanten Hauptemittenten zu isolieren, wurden nur Wertepaare für folgende Zeiten dargestellt: an beiden Standorten nur Zeiten während des Flugbetriebs (5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit), für Frankfurt-Schwanheim zusätzlich nur Messungen bei Wind aus südlichen Richtungen ( $155^\circ$  -  $214^\circ$ ) und für die Friedberger Landstraße zusätzlich nur Messungen bei Wind aus östlichen Richtungen ( $55^\circ$  -  $174^\circ$ ). Für diese jeweiligen Windbereiche werden die beiden Messstationen durch Emissionen aus dem Flugbetrieb bzw. dem Kfz-Verkehr dominiert (vgl. Abbildung 1). Aus Abbildung 11 a) wird ersichtlich, dass dieses Vorgehen, zu einer Aufteilung der Wertepaare aus  $\text{NO}_2$ - und Partikelanzahlkonzentration in zwei voneinander getrennte Gruppen führt.

Eine Gruppe an Wertepaaren zeichnet sich durch hohe Konzentrationswerte der Partikelanzahl und moderate  $\text{NO}_2$ -Werte aus. Anders ausgedrückt ist bei dieser Gruppe ein Anstieg der  $\text{NO}_2$ -Konzentration mit einem starken Anstieg der Partikelanzahlkonzentration verbunden. Diese Wertepaare wurden in Frankfurt-Schwanheim gemessen und sind typisch für Emissionen aus dem Flugbetrieb.

Die zweite Gruppierung von Wertepaaren ist geprägt durch moderate bis hohe Konzentrationswerte für  $\text{NO}_2$  und niedrigere Werte für die Partikelanzahlkonzentration. Anders formuliert ist hier ein Anstieg der  $\text{NO}_2$ -Konzentration mit einem deutlich niedrigeren Anstieg der Partikelanzahlkonzentration verbunden. Diese Messwerte wurden in der Friedberger-Landstraße erhoben und dieses Verhältnis ist typisch für Emissionen aus dem Kfz-Verkehr.

Bei diesen beiden dargestellten unterschiedlichen Emittentengruppen ist somit das Verhältnis aus Partikelanzahlkonzentration zu  $\text{NO}_2$ -Konzentration stark unterschiedlich und kann als jeweils gültiger „typischer Fingerabdruck“ verstanden werden. Die dargestellten Linien repräsentieren die jeweiligen linearen Regressionsgeraden. Diese wurden durch den Koordinatenursprung gezwungen, da vereinfachend angenommen wird, dass die Wertepaare hauptsächlich einer bestimmten Emittentengruppe zuzuschreiben sind und somit gleichzeitig emittiert werden. Basierend auf den Regressionsgeraden ergibt sich für Emissionen aus dem Kfz-Verkehr in der Friedberger Landstraße (untere Regressionsgerade) ein Anstieg der Partikelkonzentration von etwa 370 Partikeln pro  $\text{cm}^3$  pro  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Konzentrationsanstieg bei  $\text{NO}_2$ . Für Emissionen aus dem Flugbetrieb gemessen in Frankfurt-Schwanheim (obere Regressionsgerade) ist der Anstieg der Partikelanzahlkonzentration etwa 4-mal so hoch (ca. 1450 Partikel pro  $\text{cm}^3$  pro  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Konzentrationsanstieg bei  $\text{NO}_2$ ).

Abbildung 11 b) zeigt zeitgleich gemessene Wertepaare für die Partikelanzahl- und  $\text{NO}_2$ -Konzentration an der Messstation in Mainz-Hechtsheim. Auch hier werden nur Messwerte zu Zeiten des Flugbetriebs und während der Wind aus nordöstlichen Richtungen wehte ( $55^\circ$  bis  $94^\circ$ ) dargestellt. Zu diesen Zeiten wurden typischerweise erhöhte mittlere Partikelanzahlkonzentrationen in Mainz-Hechtsheim detektiert (siehe Abbildung 8 und Abbildung 10). Zusätzlich sind zur Orientierung die Regressionsgeraden für Kfz-dominierte bzw. durch den Flugbetrieb dominierte Emissionen aus Abbildung 11 a) dargestellt. Aus der Abbildung wird ersichtlich, dass einerseits die in Mainz-Hechtsheim gemessenen Konzentrationswerte sowohl für  $\text{NO}_2$  als auch für die Partikelanzahlkonzentration deutlich niedriger sind als an den beiden Frankfurter Messstationen. Andererseits ordnen sich die Wertepaare weder in unterschiedlichen voneinander getrennten Gruppen an, noch lassen sie sich einer Emittentengruppe allein zuweisen. Zwar liegt ein Großteil der Wertepaare in der Nähe des für Kfz-Emissionen typischen Verhältnisses aus Partikelanzahl- und  $\text{NO}_2$ -Konzentration (untere Regressionsgerade). Es ergibt sich jedoch ebenso eine Häufung von Wertepaaren zwischen den beiden Regressionsgeraden und entlang der Regressionsgerade für die vom Flugbetrieb dominierten Emissionen (obere Regressionsgerade). Für die Wertepaare deutlich oberhalb der unteren Regressionsgerade (dominiert durch Kfz-Emissionen) ist damit die gemessene  $\text{NO}_2$ -Konzentration zu hoch um diese allein dem Flugbetrieb zuzuordnen. Ebenso ist die gemessene Partikelanzahl zu hoch um diese allein den Emissionen aus dem Kfz-Verkehr zuzuschreiben. Es ist daher wahrscheinlich, dass die gemessenen Konzentrationswerte aus der Überlagerung von Emissionen aus unterschiedlichen Quellen resultieren. Naheliegender ist eine Überlagerung der Kfz-Emissionen aus dem nordöstlich der Station gelegenen Stadtteil von Mainz, sowie dem Verkehrsschwerpunkt A60/B9 und Weisenauer Brücke und dem horizontalen Transport von Emissionen aus dem Flugbetrieb aus Richtung des Flughafengeländes und den tiefen Anfluglinien ( $< \text{ca. } 400 \text{ m}$  Flughöhe).

## 7 Untersuchung eines möglichen Einflusses von direkten Überflügen auf die Partikelanzahlkonzentration in Mainz-Hechtsheim

Mainz-Hechtsheim wird bei Betriebsrichtung Ost des Flughafens Frankfurt von Flugzeugen, die sich im Landeanflug auf das Parallelbahnsystem/die Südbahn befinden, in ca. 1000 m Höhe überflogen. In dieser Phase des Anfluges werden die Flugzeuge in der Regel bereits in einem engen Korridor bis zum etwa 20 km entfernten Flughafen geleitet. Dies führt zu einer Konzentration von Überflügen entlang dieser Route. Im Gegensatz dazu befinden sich startende Flugzeuge in der Region um Mainz-Hechtsheim je nach Abflugroute bereits in einer Flughöhe von mehreren Kilometern. Daher wird in diesem Kapitel zunächst untersucht, ob die Bündelung der anfliegenden Flugzeuge einen direkten Einfluss auf die Partikelanzahlkonzentration am Boden hat.

Grundlage für diese Analyse sind neben den erhobenen Partikeldaten die Lärmdaten des Deutschen Fluglärmdienst e.V. (DFLD e.V., <https://www.dfld.de/>, kalibrierte Messwerte der Messstelle Mainz-Hechtsheim 1). Aus den an der Station in Mainz-Hechtsheim erhobenen Lärmdaten lassen sich die exakten Zeitpunkte von Überflügen ableiten. Insgesamt wurden durch den DFLD im Messzeitraum mehr als 33 000 einzelne Überflüge in Mainz-Hechtsheim detektiert.

### 7.1 Analysemethode

Zunächst wurde die Analyse mit Daten durchgeführt, die an der Messstelle im Gewerbegebiet in Raunheim-Mönchhof von 2019 bis 2020 erhoben wurden. An diesem Standort befinden sich Flugzeuge im Landeanflug auf die Landebahn Nordwest in ca. 100 m Höhe über Grund. Mit Hilfe von Messungen des HLNUG und den Flugbewegungsdaten der Fraport AG konnte dort bereits ein deutlicher Einfluss von Überflügen auf die Partikelanzahlkonzentration am Boden nachgewiesen werden (Freund, 2019 und Ditas, Rose, & Jacobi, 2022). Die Ergebnisse aus Raunheim-Mönchhof dienen der Einordnung der Ergebnisse aus Mainz-Hechtsheim.

Zur Feststellung eines möglichen Einflusses von direkten Überflügen auf die Partikelbelastung am Boden wurde der zeitliche Verlauf der Partikelanzahlkonzentration nach dem Überflugzeitpunkt untersucht. Hierfür wurde die Konzentrationsdifferenz ( $\Delta C_t$ ) zwischen der Partikelanzahlkonzentration zum Zeitpunkt eines Überflugs ( $C_{t0}$ ) und der Konzentration nach einer zeitlichen Differenz ( $\Delta t$ ) bestimmt. Abbildung 12 visualisiert das Verfahren am Beispiel von Daten in Raunheim-Mönchhof. Die so errechnete Konzentrationsdifferenz wurde für jeden einzelnen Überflug und für Zeitdifferenzen von 1 Sekunde bis zu einem Tag bestimmt. Dadurch wurde für jeden Überflug eine Zeitreihe erzeugt, die den zeitlichen Verlauf der Partikelanzahlkonzentration als Differenz zur Ausgangskonzentration zum Zeitpunkt des Überflugs bis 24 Stunden nach dem Überflug widerspiegelt. Ziel war es, festzustellen, ob isolierte kurzzeitige Konzentrationsanstiege gehäuft nach Überflügen auftreten und ob ein charakteristischer zeitlicher Zusammenhang ableitbar ist.

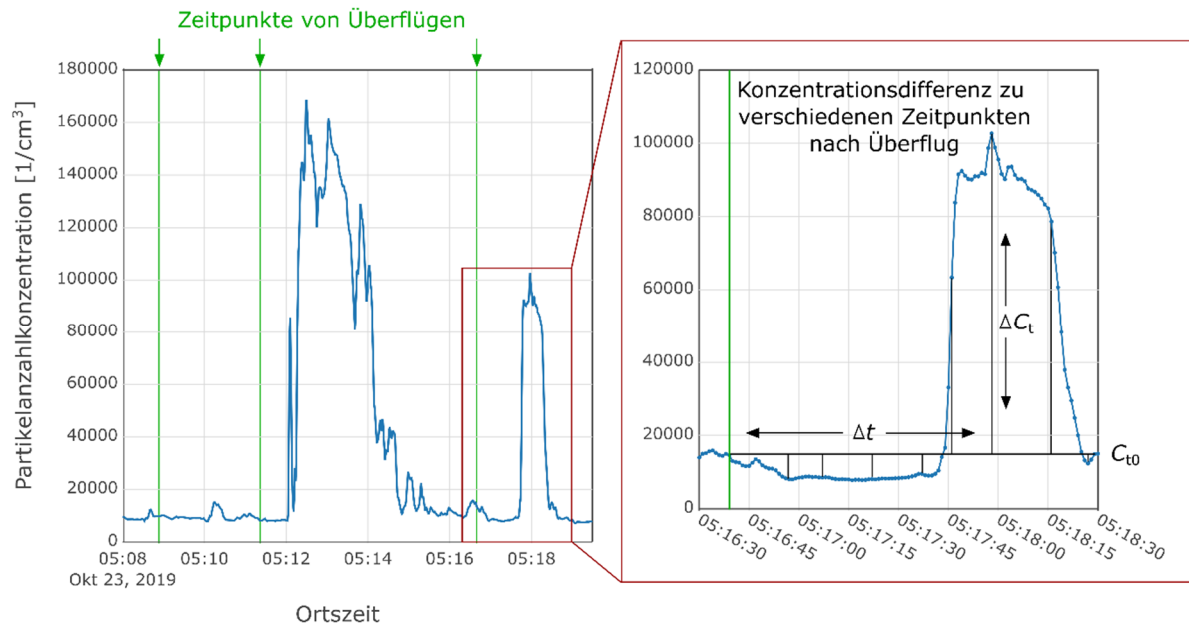


Abbildung 12: Analyse der Partikelkonzentration nach einem Überflug, beispielhaft gezeigt am Verlauf der Anzahlkonzentration für Partikel größer 7 nm in Raunheim-Mönchhof am 23.10.2019 (blaue Linie). Die grünen vertikalen Linien zeigen Zeitpunkte, zu denen die Messstation direkt von einem landenden Flugzeug überflogen wurde. In dem rechten Teil der Abbildung wird das Verfahren zur Bestimmung der Konzentrationsdifferenz nach einem Überflug visualisiert.

Abbildung 12 zeigt im linken Bereich einen 10-minütigen Ausschnitt der Partikelanzahlkonzentration in Raunheim-Mönchhof. Während dieses Zeitraums fanden 3 Überflüge statt, deren Zeitpunkte durch grüne vertikale Linien gekennzeichnet sind. Nach zwei dieser Überflüge sind deutliche Konzentrationsanstiege über 100 000 Partikel pro cm<sup>3</sup> sichtbar. Im rechten Teil von Abbildung 12 ist der Ausschnitt des dritten Überflugs zur Erläuterung der Bestimmung von Konzentrationsdifferenzen vergrößert dargestellt. Es wird deutlich, dass die Partikelanzahlkonzentration in den ersten Sekunden nach dem Überflug zunächst abfällt und etwa eine Minute nach dem Überflug stark ansteigt. Insgesamt bleibt die Konzentration für etwa 45 Sekunden deutlich erhöht.

## 7.2 Ergebnisse

Abbildung 13 zeigt den zeitlichen Verlauf der mittleren Konzentrationsdifferenz für alle detektierten Überflüge nach einer Zeitdifferenz von bis zu 3600 Sekunden für die Messstandorte Raunheim-Mönchhof und Mainz-Hechtsheim.

Aufgrund der geringen Überflughöhe treten in Raunheim-Mönchhof nach Überflügen teils deutliche Konzentrationsanstiege auf. Dies wurde bereits durch das HLNUG berichtet (Freund, 2019 und Ditas, Rose, & Jacobi, 2022). In der hier angewandten Analyse­methode zeigt sich dies durch einen deutlichen Anstieg der mittleren Konzentrationsdifferenz auf ein ausgeprägtes, isoliertes Maximum von etwa 10 000 Partikeln pro  $\text{cm}^3$ , welches im Mittel etwa 105 Sekunden nach dem Überflugereignis auftritt. Im rechten Teil der Abbildung 13 werden die Ergebnisse noch einmal für Zeitdifferenzen bis zu 300 Sekunden (5 min) dargestellt. Hier wird ersichtlich, dass die mittlere Partikelanzahlkonzentration insbesondere im zeitlichen Fenster von ca. 80 bis 140 Sekunden deutlich erhöht ist. Dieser Zeitraum erscheint plausibel für einen vertikalen Transport der Partikel aus ca. 100 m Überflughöhe. Die negative Konzentrationsdifferenz innerhalb der ersten ca. 50 Sekunden ist darauf zurückzuführen, dass die Partikelanzahlkonzentration zum Zeitpunkt eines Überflugs noch durch den vorherigen Überflug beeinträchtigt und noch nicht wieder auf das Hintergrundniveau gesunken ist.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Raunheim-Mönchhof, ist der Verlauf der mittleren Konzentrationsdifferenz in Mainz-Hechtsheim innerhalb der ersten Stunde nach dem Überflugereignis kaum von der Null-Linie zu unterscheiden. Der leichte kontinuierliche Anstieg auf wenige Hundert Partikel pro  $\text{cm}^3$  sinkt ab einer Zeitdifferenz von etwa 2 Stunden (nicht in dieser Grafik gezeigt) ebenso langsam ab und wird negativ. Dieser Kurvenverlauf resultiert aus dem mittleren Tagesgang der Partikelanzahlkonzentration. Ein isoliertes Maximum der mittleren Konzentrationsdifferenz nach direkten Überflügen ist nicht zu erkennen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Überflüge in Mainz-Hechtsheim nicht in einem eindeutigen zeitlichen Zusammenhang mit am Boden auftretenden Konzentrations­spitzen stehen und somit keinen direkten Einfluss auf die Partikelanzahlkonzentration am Boden haben.

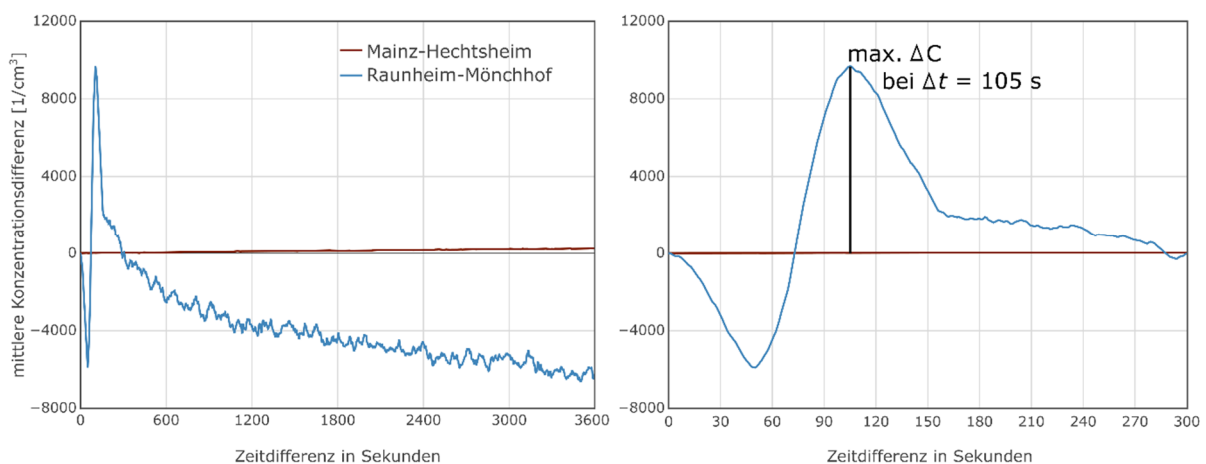


Abbildung 13: Mittlere Konzentrationsdifferenz der Partikelanzahl in Abhängigkeit der Zeitdifferenz nach Überflugereignissen in Raunheim-Mönchhof und Mainz-Hechtsheim bis zu einer Zeitdifferenz von 1 Stunde (3600 s). Der rechte Teil Abbildung zeigt die Ergebnisse bis zu einer Zeitdifferenz von 5 Minuten (300 s).

### 7.3 Beispiele des zeitlichen Verlaufs der Partikelanzahlkonzentration während direkter Überflüge in Mainz-Hechtsheim

Zusätzlich zur oben beschriebenen Methode zur Untersuchung eines möglichen Einflusses von Überflügen auf die Partikelbelastung am Boden wurden Sichtprüfungen des zeitlichen Verlaufs der Partikelanzahlkonzentration durchgeführt. Die folgenden beiden Abbildungen (Abbildung 14, Abbildung 15) zeigen Beispiele für den Verlauf der Partikelanzahlkonzentration im Laufe eines Tages. Die Abbildungen zeigen vereinzelte, kurzfristige Konzentrationsspitzen. Diese treten sowohl während solcher Zeiträume auf, in denen Überflüge über der Messstelle stattgefunden haben, als auch außerhalb solcher Zeiträume (bspw. am 21.5.2024 um ca. 5:00 Uhr und 13:00 Uhr). Weiterhin bleibt über weite Zeiträume trotz häufiger Überflüge die Partikelanzahlkonzentration weitestgehend konstant (bspw. 21.5.2024 9:00 – 11:00 Uhr) oder nimmt während dessen ab (bspw. 22.4.2024 9:00 – 12:00 Uhr). Es lässt sich auch hier kein eindeutiger zeitlicher Zusammenhang erkennen. Konzentrationsspitzen treten auch außerhalb von Zeiten in denen die Messstelle überflogen wird, sowie außerhalb der Betriebszeit des Frankfurter Flughafens auf. Es ist daher davon auszugehen, dass die Ursache dieser Konzentrationsspitzen bei anderen Quellen wie beispielsweise dem Kfz-Verkehr, landwirtschaftlichem Verkehr oder Gebäudeheizungen in unmittelbarer Nähe der Messstelle liegt.

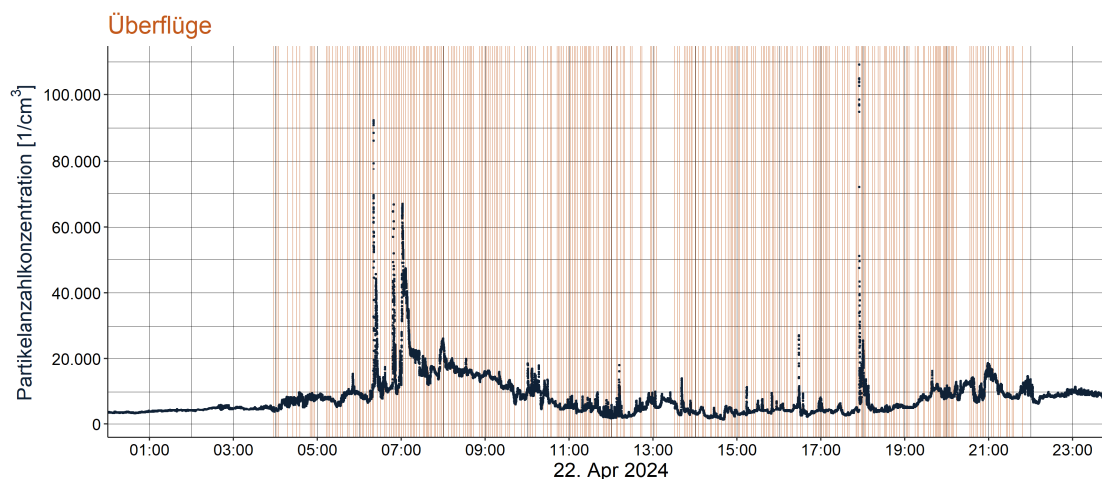


Abbildung 14: Zeitreihe der Anzahlkonzentration von Partikeln größer als 10 nm gemessen am 22. April 2024 in Mainz-Hechtsheim. Vertikale Linien markieren Zeiträume zu denen die Messstelle direkt überflogen wurde. Datengrundlage sind Sekundenwerte, die Darstellung ist in MEZ.

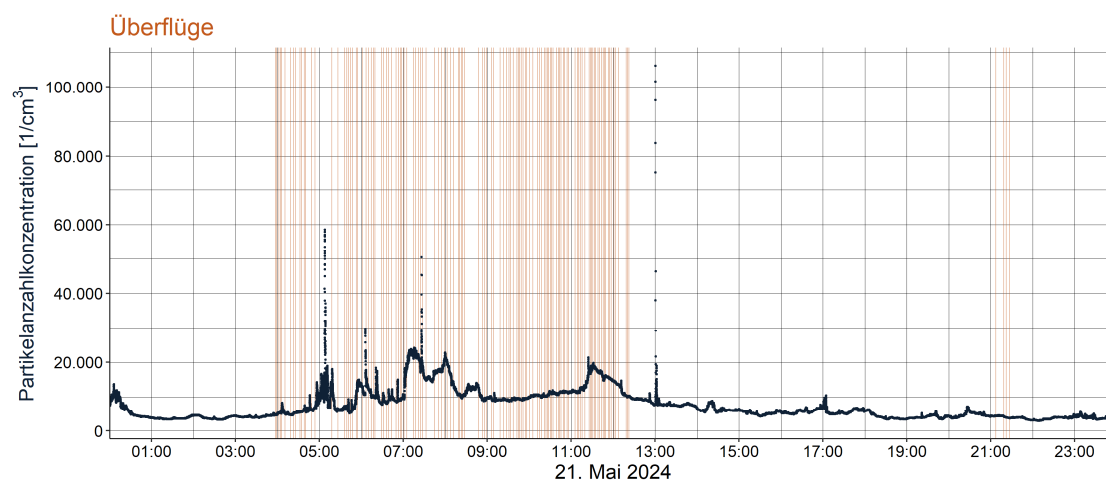


Abbildung 15: Zeitreihe der Anzahlkonzentration von Partikeln größer als 10 nm gemessen am 21. Mai 2024 in Mainz-Hechtsheim. Vertikale Linien markieren Zeiträume zu denen die Messstelle direkt überflogen wurde. Datengrundlage sind Sekundenwerte, die Darstellung ist in MEZ.

## 8 Beurteilung Luftschadstoffsituation in Mainz-Hechtsheim

Zum Ende dieses Berichtes werden alle erzielten Resultate der vorangegangenen Kapitel in einer Gesamtbeurteilung der Luftschadstoffsituation in Mainz-Hechtsheim zusammengeführt. In dieser Beurteilung werden ausschließlich die gesetzlichen Grenzwerte berücksichtigt, die nach der novellierten EU-Luftqualitätsrichtlinie ab 2030 einzuhalten sind.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Luftqualität in Mainz-Hechtsheim in Bezug auf die hier betrachteten Parameter durch die bereits bestehenden ZIMEN-Messstationen hinreichend erfasst wird. Signifikante oder unplausible Konzentrationsunterschiede zu den anderen Stationen sind nicht erkennbar. Alle Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden eingehalten.

Im Falle des gesetzlich geregelten Parameters  $\text{NO}_2$  sind die Werte in Mainz-Hechtsheim verglichen mit den anderen Messstationen im Mainzer Stadtgebiet deutlich niedriger. Daraus lässt sich grundsätzlich ableiten, dass der Einfluss von großen urbanen Stickoxidquellen in unmittelbarer Nähe, wie stark befahrene Straßen/Autobahnen oder Schiffsverkehr am Messstandort in Mainz-Hechtsheim eine untergeordnete Rolle spielt. Diese Quellen tragen über lokalen und regionalen Transport zu den Immissionen vor Ort bei.

Die Ergebnisse für die ebenfalls gesetzlich geregelten Feinstaubparameter  $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$  legen nahe, dass für die Immissionen, die an der Station Mainz-Hechtsheim erfasst wurden, maßgeblich lokale Quellen aus dem umliegenden Stadtgebiet verantwortlich sind. So wurden während der Messkampagne in Mainz-Hechtsheim drei Überschreitungstage für  $\text{PM}_{10}$  festgestellt. Diese sind in zwei Fällen (im Sommer, Wochenende) auf Hechtsheim beschränkt. In einem Fall handelt es sich um Luftverschmutzung, die an einem kalten Januartag durch u.a. den Betrieb von Gebäudeheizungen (Öl-/Gas-/Holzheizungen etc.) im Mainzer Stadtgebiet verursacht und durch eine Inversionswetterlage verstärkt wurde.

Der starke Ursachenbezug zum Mainzer Stadtgebiet wird noch deutlicher bei Betrachtung der Ergebnisse für  $\text{PM}_{2,5}$ . Hier wurden insgesamt vier Überschreitungstage festgestellt, die sich jeweils an allen ZIMEN-Stationen in Mainz mit  $\text{PM}_{2,5}$ -Messung wiederfinden. Bei diesen Tagen handelt es sich mitunter um die Tage im Winter 2023/24 mit den tiefsten Temperaturen. Gleichzeitig lag ebenfalls an diesen Tagen überwiegend eine starke Temperaturinversion vor, was dauerhaft hohe Feinstaubkonzentrationen in Bodennähe begünstigt. Bei derartigen Kälteperioden ist (wie schon für  $\text{PM}_{10}$  ausgeführt) mit verstärkten Emissionen aus Gebäudeheizungen und Feststoffverbrennung zu rechnen, der sich direkt auf die  $\text{PM}_{2,5}$ -Werte auswirkt.

Aus diesen Betrachtungen wird abgeleitet, dass die Luftschadstoffsituation am Messstandort Hechtsheim durch Quellen in Mainz-Hechtsheim und dem angrenzenden Mainzer Stadtgebiet dominiert wird. Dabei ist v.a. der Betrieb von Heizungen in Privathaushalten in der kälteren Jahreszeit zu nennen, als auch Außenaktivitäten (z.B. Grillen, Grünpflege etc.) in den wärmeren Monaten. Diese These wird auch durch die Ergebnisse der im Feinstaub enthaltenen Kohlenstoffparameter (EC, OC) sowie der Levoglucosan-Konzentration (Marker für Holzverbrennung) gestützt. So liegen die Monatsmittelwerte dieser Staubinhaltsstoffe in Hechtsheim auf gleichem Niveau wie an der Mainzer Messstation Zitadelle, welche erheblich zentraler im Stadtgebiet liegt. Auch die Tagesgänge der Rußkonzentrationen in Mainz-Hechtsheim verlaufen ähnlich wie die an der langjährigen städtischen Hintergrundstation im Wohngebiet in Mainz-Mombach. In den Wintermonaten liegt die Rußkonzentration in Hechtsheim sogar höher als in Mombach, was auf eine intensivere Nutzung von Kleinf Feuerungsanlagen hindeutet. Dies ergänzt das Gesamtbild, dass am Messstandort in Mainz-Hechtsheim eine für den durch Wohngebiete geprägten städtischen Hintergrund typische Immissionslage vorherrscht. Diese repräsentiert den Schadstoffmix aus regionalen und lokalen Quellen.

Die Messungen der Partikelanzahlkonzentration haben ergeben, dass die Konzentration am Messstandort in Mainz-Hechtsheim nach aktuellen WHO-Kriterien nicht als hoch einzuschätzen ist. Im Vergleich zu den HLNUG-Messstationen in Raunheim, Frankfurt-Schwanheim und Frankfurt Friedberger Landstraße ist die Partikelanzahlkonzentration deutlich niedriger. Für Wind aus Nordost treten erhöhte Konzentrationswerte auf. Daher wurde eine Quellenanalyse für die UFP-Immissionen durch Verhältnisbildung mit den Stickstoffdioxidwerten unter Berücksichtigung dieser Windrichtung durchgeführt. Diese Ergebnisse, sowie der mittlere Tagesgang deuten neben der Belastung durch lokale Quellen auf eine Überlagerung von Partikelemissionen aus dem Kfz-Verkehr (Schwerpunkt A60/B9; Weisenauer Brücke) und regionalem Herantransport von Emissionen vom Flughafengelände, sowie Emissionen entlang der tiefen Anfluglinien (< ca. 400 m) hin. Wie in Kapitel 7 dargestellt, sind die UFP-Konzentrationen am Boden in Mainz-Hechtsheim nicht von den dort überfliegenden landenden Flugzeugen in Richtung Flughafen Frankfurt a.M. beeinflusst. Aufgrund der deutlich größeren Flughöhe ist ein Einfluss abfliegender Flugzeuge ebenso unwahrscheinlich.

## 10 Literaturverzeichnis

39. BImSchV. (2010). Abgerufen am 02.04.2025 von [https://www.gesetze-im-internet.de/bim-schv\\_39/](https://www.gesetze-im-internet.de/bim-schv_39/)
- Cassee, F., Morawska, L., Peters, A., Wierzbicka, A., Buonanno, G., Cyrus, J., ... Aurelio, T. (2019). *White Paper: Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers*.
- Ditas, F., Rose, D., & Jacobi, S. (2022). 4. Bericht zur Untersuchung der regionalen Luftqualität auf ultrafeine Partikel im Bereich des Flughafens Frankfurt. Wiesbaden: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Abgerufen am 02.04.2025 von <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/luftqualitaet/sondermessprogramme/ufp/UFP-Bericht-4.pdf>
- Freund, J. (2019). *Einfluss von Flugzeugemissionen auf die bodennahe Konzentration von Ultrafeinstaubpartikeln*. Frankfurt am Main: Goethe Universität Frankfurt am Main. Abgerufen am 02.04.2025 von [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/sonstige\\_berichte/ufp/Masterthesis\\_Jannis\\_Freund.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/sonstige_berichte/ufp/Masterthesis_Jannis_Freund.pdf)
- Geiser, M., Quail, O., Wenk, A., Wigge, C., Eigeldicher-Berthou, S., Hirn, S., ... Kreyling, W. G. (2013). *Cellular uptake and localization of inhaled gold nanoparticles in lungs of mice with chronic obstructive pulmonary disease. Part Fibre Toxicol*, 10(19). doi:10.1186/1743-8977-10-19
- Hudda, N., Gould, T., Hartin, K., Larson, T., & Fruin, S. (2014). Emissions from an International Airport Increase Particle Number Concentrations 4-fold at 10 km Downwind. *Environmental Science & Technology*, 48(12), 6628–6635. PMID: 24871496. doi:10.1021/es5001566
- Keuken, M., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, J., & Hoek, G. (2015). Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands). *Atmospheric Environment*, 104, 132–142. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.01.015
- Ohlwein, S., Hoffmann, B., Kappeler, R., Joss, M., & Künzli, N. (2018). *Health Effects of Ultrafine Particles - Systematic literature search and the potential transferability of the results to the German setting*. UMWELT & GESUNDHEIT. Abgerufen am 02.04.2025 von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen>.
- Rivas, I., Beddows, D., Amato, F., Green, D., Järvi, L., Hueglin, C., ... Kelly, F. (2020). Source apportionment of particle number size distribution in urban background and traffic stations in four European cities. *Environment International*, 135, 105345. doi:10.1016/j.env-int.2019.105345
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Abgerufen am 31.03.2025 von <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>
- Zhang, X., Karl, M., Zhang, L., & Wang, J. (2020). Influence of Aviation Emission on the Particle Number Concentration near Zurich Airport. *Environmental Science & Technology*, 54(22), 14161–14171. PMID: 33115230. doi:10.1021/acs.est.0c02249

## 11 Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Standorte von UFP-Messstellen (blau) und Standorte der Standard-Luftqualitätsmessungen (grün), deren Daten in diesem Bericht verwendet werden. Die gestrichelten Linien stellen die Anfluglinien auf die Südbahn sowie die Landebahn Nordwest bei Betriebsrichtung Ost dar. Karte: OpenStreetMap. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 9  |
| Abbildung 2: Gleitender NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 11 |
| Abbildung 3: Gleitender PM <sub>10</sub> -Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12 |
| Abbildung 4: Gleitender PM <sub>2,5</sub> -Jahresmittelwert vom 01.05.2023 bis zum 30.04.2024 für Mainz-Hechtsheim und die anderen ZIMEN-Messstationen in Mainz.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 13 |
| Abbildung 5: Monatsmittelwerte von November 2023 bis einschließlich Mai 2024 für Levoglucosan, Elementaren Kohlenstoff (EC) und Organischen Kohlenstoff (OC) im PM <sub>10</sub> -Feinstaub an den Stationen Mainz-Hechtsheim (MZ-Hec), Mainz-Zitadelle (MZ-Zit) und Mainz-Parcusstraße (MZ-Par) .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 14 |
| Abbildung 6: Monatsmittelwerte für Ruß (BC) in Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße). * In Mainz-Hechtsheim wurde erst am 15.11.2023 das entsprechende Messgerät in Betrieb genommen, daher wurde dieser Mittelwert nur aus den übrigen Tagesmittelwerten im November gebildet.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 16 |
| Abbildung 7: Tagesgänge der Ruß(BC)-Konzentration auf Basis von Stundenmittelwerten an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße aufgeschlüsselt nach Monaten. * In Mainz-Hechtsheim wurde erst am 15.11.2023 das entsprechende Messgerät in Betrieb genommen, daher wurden diese Tagesgänge nur aus den übrigen Stundenmittelwerten im November gebildet.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 17 |
| Abbildung 8: Mittlere Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit der Windrichtung für den Zeitraum 1.Mai 2023 bis 30. April 2024. Es ist zu beachten, dass nicht alle Windrichtungen gleich häufig auftreten (s. Abbildung 9). Datengrundlage der Partikeldaten sind 1-Sekundenwerte, Winddaten der Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf dem Gelände des Flughafen Frankfurt (DWD Stations-ID: 1420).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 19 |
| Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Windrichtung (Windgeschwindigkeit $\geq 1\text{m/s}$ ) in Mainz-Hechtsheim (lokal) und an der Messstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf dem Gelände des Flughafen Frankfurt (DWD Stations-ID: 1420). Datengrundlage sind 10-min-Werte. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 20 |
| Abbildung 10: Mittlere Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Abhängigkeit der Tageszeit für den gleichen Zeitraum wie Abbildung 8. Datengrundlage sind 1-Sekundenwerte.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 21 |
| Abbildung 11: a): Gleichzeitig erhobene Wertepaare für Partikelanzahl- und NO <sub>2</sub> -Konzentration gemessen an der Luftmessstation Frankfurt-Schwanheim (blau, unter Einfluss des Flugbetriebs: 5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen 155° bis 214°) und Frankfurt Friedberger Landstraße (grün, unter Einfluss des Kfz-Verkehrs: 5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen 55° bis 174°) im Zeitraum vom 01. Mai 2023 bis 30. April 2024. Die schwarzen Linien zeigen die lineare Regression der beiden unterschiedlichen Datenkollektive aus Frankfurt-Schwanheim und Frankfurt Friedberger Landstraße. b) Wertepaare für Partikelanzahl- und NO <sub>2</sub> -Konzentration gemessen an der Luftmessstation Mainz-Hechtsheim (5:00 – 23:00 Uhr Ortszeit, Windrichtung zwischen 55° bis 94°). Datengrundlage sind 30-min-Mittelwerte. .... | 23 |
| Abbildung 12: Analyse der Partikelkonzentration nach einem Überflug, beispielhaft gezeigt am Verlauf der Anzahlkonzentration für Partikel größer 7 nm in Raunheim-Mönchhof am 23.10.2019                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |

(blaue Linie). Die grünen vertikalen Linien zeigen Zeitpunkte, zu denen die Messstation direkt von einem landenden Flugzeug überflogen wurde. In dem rechten Teil der Abbildung wird das Verfahren zur Bestimmung der Konzentrationsdifferenz nach einem Überflug visualisiert. .... 26

Abbildung 13: Mittlere Konzentrationsdifferenz der Partikelanzahl in Abhängigkeit der Zeitdifferenz nach Überflugereignissen in Raunheim-Mönchhof und Mainz-Hechtsheim bis zu einer Zeitdifferenz von 1 Stunde (3600 s). Der rechte Teil Abbildung zeigt die Ergebnisse bis zu einer Zeitdifferenz von 5 Minuten (300 s). .... 27

Abbildung 14: Zeitreihe der Anzahlkonzentration von Partikeln größer als 10 nm gemessen am 22. April 2024 in Mainz-Hechtsheim. Vertikale Linien markieren Zeiträume zu denen die Messstelle direkt überflogen wurde. Datengrundlage sind Sekundenwerte, die Darstellung ist in MEZ. .... 28

Abbildung 15: Zeitreihe der Anzahlkonzentration von Partikeln größer als 10 nm gemessen am 21. Mai 2024 in Mainz-Hechtsheim. Vertikale Linien markieren Zeiträume zu denen die Messstelle direkt überflogen wurde. Datengrundlage sind Sekundenwerte, die Darstellung ist in MEZ. .... 29

## 12 Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Informationen zum Messort in Mainz-Hechtsheim.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 6  |
| Tabelle 2: Beschreibung der Standorte, deren Daten in diesem Bericht verwendet werden. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 8  |
| Tabelle 3: Übersicht NO <sub>2</sub> -Stundengrenzwert in µg/m <sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz .....                                                                                                                                                                                                                                          | 10 |
| Tabelle 4: Übersicht NO <sub>2</sub> -Tagesgrenzwert in µg/m <sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz .....                                                                                                                                                                                                                                            | 10 |
| Tabelle 5: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für NO <sub>2</sub> in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in µg/m <sup>3</sup> .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 11 |
| Tabelle 6: Übersicht PM <sub>10</sub> -Tagesgrenzwert in µg/m <sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz .....                                                                                                                                                                                                                                           | 12 |
| Tabelle 7: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für PM <sub>10</sub> in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in µg/m <sup>3</sup> .....                                                                                                                                                                                                                                                | 12 |
| Tabelle 8: Übersicht PM <sub>2,5</sub> -Tagesgrenzwert in µg/m <sup>3</sup> und Anzahl der Überschreitungen in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz .....                                                                                                                                                                                                                                          | 13 |
| Tabelle 9: Übersicht Jahresgrenzwerte und Jahresmittelwerte für PM <sub>2,5</sub> in Mainz-Hechtsheim und den anderen Messstationen in Mainz in µg/m <sup>3</sup> .....                                                                                                                                                                                                                                               | 13 |
| Tabelle 10: Gesamtmittelwerte auf Basis der einzelnen Tageswerte über den Messzeitraum November 2023 bis einschließlich Mai 2024 für Levoglucosan, Elementaren Kohlenstoff und Organischen Kohlenstoff im PM <sub>10</sub> -Feinstaub an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Zitadelle und Mainz-Parcusstraße in µg/m <sup>3</sup> .....                                                                        | 15 |
| Tabelle 11: Gesamtmittelwerte auf Basis der einzelnen Tageswerte über den Messzeitraum 16.11.2023 bis einschließlich Mai 2024 für Ruß (Black Carbon) an den Messstationen Mainz-Hechtsheim, Mainz-Mombach und Mainz-Parcusstraße in µg/m <sup>3</sup> .....                                                                                                                                                           | 16 |
| Tabelle 12: Anzahlkonzentration aller Partikel größer als 10 nm in Mainz-Hechtsheim, Frankfurt-Schwanheim, Frankfurt Friedberger Landstraße und Raunheim im Zeitraum vom 1. Mai 2023 bis 30. April 2024. Datengrundlage sind Stundenmittelwerte. ....                                                                                                                                                                 | 18 |
| Tabelle 13: Einordnung der gemessenen Anzahlkonzentration für Partikel größer 10 nm nach den Luftqualitätsrichtlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Hierbei wird die Anzahl und die relative Häufigkeit (bezogen auf den Messzeitraum) der Überschreitungen eines Stundenmittelwerts von 20 000 Partikeln pro cm <sup>3</sup> und eines Tagesmittelwerts von 10 000 Partikeln pro cm <sup>3</sup> angegeben. | 22 |