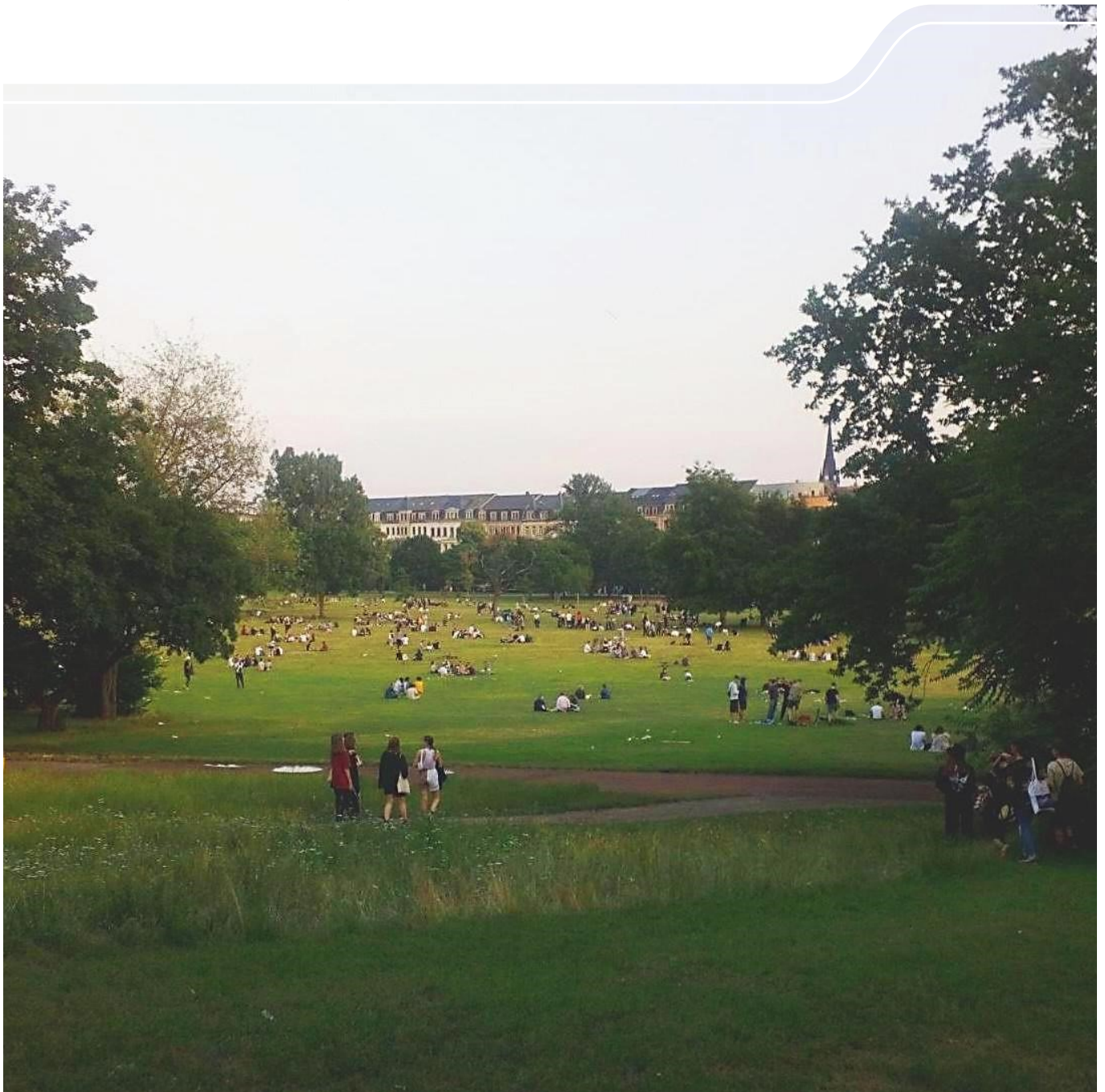




Mobile Partikelmessungen in Dresden 2021

Schriftenreihe, Heft 9/2021



Mobile Partikelmessungen zur Charakterisierung des Freitag-/ Samstagabendeffekts in Dresden 2021

Jens Voigtländer, Dominik van Pinxteren, Hartmut Herrmann

Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V.
Permoserstr. 15
04318 Leipzig

im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	8
1.1	Der Freitag-/Samstagabendeffekt.....	8
1.2	Emissionen aus Holzfeuerungen	9
1.3	Zielstellung des Projektes.....	10
1.4	Messgebiet und Route der mobilen Messungen.....	10
1.5	Messgeräte.....	12
1.6	Messungen	13
2	Ergebnisse und Diskussion	14
2.1	Messdaten Messstation Dresden Nord	14
2.1.1.1	Wetterdaten.....	14
2.1.1.2	PM ₁₀ und BC-Daten.....	16
2.2	Mobile Messungen.....	17
2.2.1	Messungen im Frühsommer bis Mitte Juli	17
2.2.1.1	Beispiel Messungen vom 18. Juni 2021	18
2.2.1.2	Beispiel Messungen vom 26. Juni 2021	19
2.2.1.3	Beispiel Messungen vom 3. Juli 2021	19
2.2.2	Messungen ab Mitte August	20
2.2.2.1	Beispiel Messung vom 21. August 2021	20
2.2.2.2	Beispiel Messung vom 4. September 2021	21
2.2.3	Messungen von Levoglucosan	23
3	Zusammenfassung	25
	Literaturverzeichnis	27
	Anhang	28
A 1	Anhang.....	28
A 1.1	Freitag-/Samstagabendeffekt.....	28
A 1.2	Übersicht über die einzelnen Messungen.....	30
A 1.3	Messergebnisse der mobilen Messungen - totale Massenkonzentrationen	33
A 1.4	Messergebnisse - Tagesgang an Dresden-Nord während der mobilen Messungen	34
A 1.5	Messergebnisse - Kartendarstellungen der Messrundgänge	36
A 1.6	Messergebnisse - Partikelgrößenverteilungen.....	50
A 1.7	Messergebnisse - PM ₁₀ -Konzentrationen.....	52
A 1.8	Messergebnisse - BC-Konzentrationen.....	53
A 1.9	Fotos	54

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mittlerer Wochengang der BC-Konzentration (Ruß) in den Sommermonaten (jeweils Jun-Sep), gemessen über mehrere Jahre an der Messstation Dresden-Nord.	9
Abbildung 2: Karte des Messgebietes Dresden-Neustadt	11
Abbildung 3: Mobile Messrucksäcke des TROPOS.....	12
Abbildung 4: Zeitreihe des Luftdrucks, gemessen an der Messstation Dresden-Nord.....	15
Abbildung 5: Zeitreihe der Temperatur, gemessen an der Messstation Dresden-Nord.....	15
Abbildung 6: Zeitreihe der gemessenen PM ₁₀ -Konzentration an der Messstation Dresden-Nord in den Sommermonaten 2021	16
Abbildung 7: Mittlerer Tagesgang der PM ₁₀ -Konzentrationen in den Sommermonaten 2021 (Juni - September), gemessen an der Messstation Dresden-Nord	16
Abbildung 8: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, dem 18. Juni 2021.....	18
Abbildung 9: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 3. Juli 2021.....	19
Abbildung 10: Zeitreihe der gemessenen Partikelgrößenverteilung (PNSD) vom 03. Juli 2021	20
Abbildung 11: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 21.08.2021.....	21
Abbildung 12: Zeitreihe der PM ₁₀ -Stundenmittelwerte an der Messstation Dresden-Nord.....	22
Abbildung 13: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 04.09.2021.....	22
Abbildung 14: Konzentrationen von Levoglucosan an beiden Stationen als 2 h-Mittelwerte	23
Abbildung 15: Mittlerer Wochengang der PM ₁₀ -Konzentration im Sommer an der Messstation Collmberg	28
Abbildung 16: Mittlerer Wochengang der PM ₁₀ -Konzentration im Sommer an der Messstation DD-Nord.....	28
Abbildung 17: Mittlerer Tagesgang der PM ₁₀ -Konzentration im Sommer 2021 an DD-Nord.....	29
Abbildung 18: Ergebnisse der mobilen Messungen für PM ₁₀ und BC, jeweils gemittelt über einen kompletten Messrundgang.....	33
Abbildung 19: Stundenwerte PM ₁₀ an der Messstation Dresden-Nord während der mobilen Messungen.....	34
Abbildung 20: Stundenwerte PM ₁₀ an der Messstation Dresden-Nord während der mobilen Messungen.....	35
Abbildung 21: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Donnerstag, den 10. Juni 2021.....	36
Abbildung 22: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13. Juni 2021.....	37
Abbildung 23: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13. Juni 2021.....	38
Abbildung 24: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 18. Juni 2021.....	39
Abbildung 25: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 26. Juni 2021.....	40
Abbildung 26: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 27. Juni 2021.....	41
Abbildung 27: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 02. Juli 2021.....	42
Abbildung 28: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 03. Juli 2021.....	43
Abbildung 29: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 16. Juli 2021.....	44
Abbildung 30: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 20. August 2021.....	45
Abbildung 31: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 21. August 2021.....	46
Abbildung 32: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 27. August 2021.....	47
Abbildung 33: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 03. September 2021.....	48
Abbildung 34: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 04. September 2021.....	49
Abbildung 35: Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem mobilen Messsystem (TSI OPS-3330), 10. Juni bis 16. Juli 2021.....	50

Abbildung 36: Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem mobilen Messsystem (TSI OPS-3330).....	51
Abbildung 37: Bei den mobilen Messungen erfasste PM ₁₀ -Konzentrationen.....	52
Abbildung 38: Bei den mobilen Untersuchungen (Rucksack-Messungen) erfasste BC Konzentrationen.....	53
Abbildung 39: Fotos, aufgenommen während der mobilen Messungen am 4. September 2021.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle: Übersicht der durchgeführten Messungen.....	13
--	----

Tabellenverzeichnis Anhang

Tabelle A 1: Übersicht über die einzelnen Messungen.....	30
--	----

Tabelle A 2: Übersicht über die einzelnen Messungen.....	31
--	----

Abkürzungsverzeichnis

BC	schwarzer Kohlenstoff (engl. black carbon)
KV	Kleingartenverein
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
OPS	optisches Partikelspektrometer (engl. optical particle sizer)
MAAP	Absorptionsphotometer (Schwarzkohlenstoffmonitor, engl. multi angle absorption photometer)
MEZ	Mitteleuropäische Zeit (UTC + 1 Stunde)
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
UTC	koordinierte Weltzeit (engl. Coordinated Universal Time)
PM	Partikelmasse (engl. particulate matter)
PM ₁	Partikelmasse von Partikeln kleiner als 1 Mikrometer (µm)
PM _{2,5}	Partikelmasse von Partikeln kleiner als 2,5 Mikrometer (µm)
PM ₁₀	Partikelmasse von Partikeln kleiner als 10 Mikrometer (µm)
PNSD	Partikelgrößenverteilung
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance (Messgerät zur Erfassung der PM ₁₀ -Konzentration)
TKE	Turbulente kinetische Energie
TROPOS	Leibniz-Institut für Troposphärenforschung

1 Einleitung

Zur kontinuierlichen Überwachung der Luftqualität im Sinne der Vorsorge betreibt der Freistaat Sachsen ein landesweites Luftmessnetz mit derzeit 26 Messstationen (Stand 1. Januar 2021). Darüber hinaus wurden in langjähriger Zusammenarbeit zwischen dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und dem Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS) innerhalb von nationalen und europäischen Projekten in Dresden und Leipzig seit 2001 Grundlagen zur Überwachung der Partikelgrößenverteilung in der Außenluft als wissenschaftliche Sondermessgröße geschaffen. Gegenstand der Untersuchungen waren dabei insbesondere die Großstädte Dresden und Leipzig, einschließlich der Umweltzone in Leipzig. Die Auswertungen der langen Datenreihen an den Verkehrsmessstationen zeigen insgesamt einen abnehmenden Trend der Partikelkonzentrationen in den letzten 10 bis 15 Jahren (RASCH et al., 2013; LÖSCHAU et al., 2017; VOIGTLÄNDER et al., 2021b), insbesondere zu den Hauptverkehrszeiten.

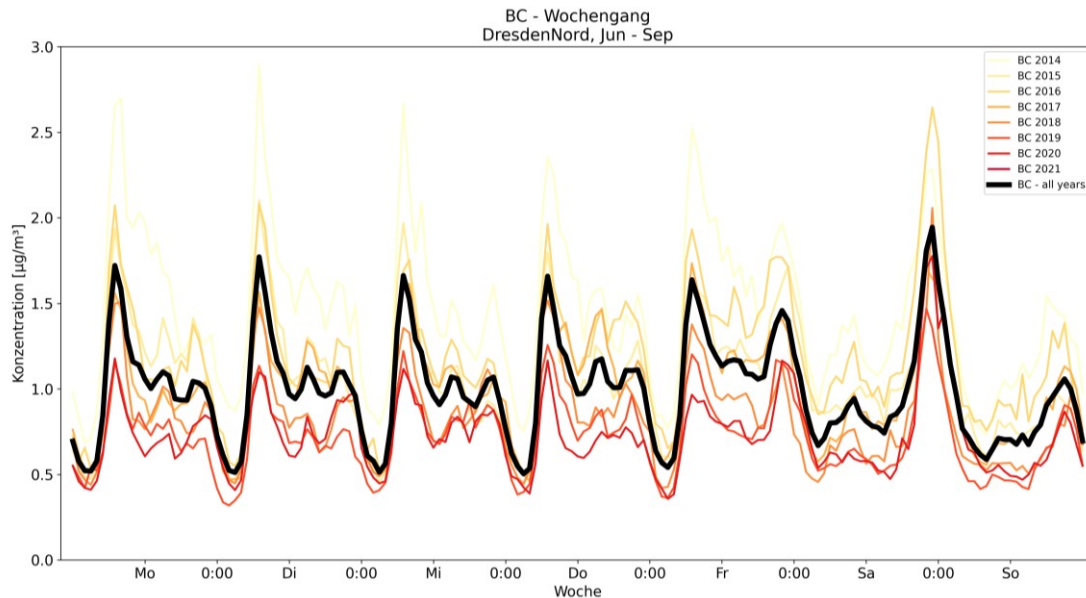
Demgegenüber hat sich allerdings in den letzten Jahren gezeigt, dass im Vergleich zur restlichen Woche in den Abendstunden von Freitagen und Samstagen teilweise höhere Konzentrationen gemessen werden. Der Effekt tritt vor allem im Sommerhalbjahr auf und zeigt sich insbesondere bei (ultra)feinen Partikeln im Größenbereich von 30 bis 200 nm und Ruß (BC), ist allerdings auch bei PM₁₀ erkennbar. Dieser Effekt, der im Folgenden als sogenannter Freitag-/Samstagabendeffekt bezeichnet wird, wird nachfolgend anhand von Messdaten noch genauer erläutert. Der Effekt kann in den Sommermonaten an vielen sächsischen Messstationen beobachtet werden und lässt sich nicht allein auf Verkehrsemissionen oder auf Emissionen temperaturbedingter Heizaktivitäten (wie während der Wintermonate) zurückführen. Es lässt sich daraus schließen, dass mit der Reduzierung der Verkehrsemissionen offensichtlich andere Quellen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Die Vermutung, dass sich der Effekt aufgrund des vorwiegenden Auftretens in den Sommermonaten an Freitag- und Samstagabenden auf Freizeitaktivitäten, wie Feuerungen von Gartenfeuern, Feuerschalen oder Grillen, zurückführen lässt, wurde bereits in einer ersten explorativen Studie in Leipzig (VOIGTLÄNDER et al., 2021) untersucht. Grundsätzlich wurde die These durch die Studie in Leipzig gestützt. Zur weiteren Untersuchung des Effektes dienen die Untersuchungen in Dresden im Rahmen der hier vorliegenden Studie.

1.1 Der Freitag-/Samstagabendeffekt

Um die Entwicklung und den Sachverhalt des Freitag-/Samstagabendeffekts zu verdeutlichen, sind in Abbildung 1 der mittlere Wochengang der an der Messstation Dresden-Nord gemessenen Rußkonzentration der Jahre 2014 bis 2021 dargestellt. Weitere Abbildungen zur Problematik des Freitag-/Samstagabendeffekts von Messungen aus Leipzig wurden bereits im Bericht des vergangenen Projekts (VOIGTLÄNDER et al., 2021) vorgestellt. Außerdem ist eine Abbildung des mittleren Tagesgangs im weiteren Teil des Berichts zu finden.

Für die Abbildung 1 wurden dabei jeweils die an der Station Dresden-Nord mit einem Absorptionsphotometer (MAAP, Model 5012, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA USA) gemessenen BC-Konzentrationen über den jeweils angegebenen Zeitraum gemittelt. Die Angabe aller Uhrzeiten erfolgt hier, sowie auch in allen folgenden Abbildungen, in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ = UTC+1h). Erkennbar ist in den Abbildungen zunächst eine über die Jahre kontinuierliche Abnahme der Konzentrationen, was sich auf Fortschritte bei der Emissionsreduktion im Straßenverkehr zurückführen lässt.



Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

Abbildung 1: Mittlerer Wochengang der BC-Konzentration (Ruß) in den Sommermonaten (jeweils Jun-Sep), gemessen über mehrere Jahre an der Messstation Dresden-Nord. Die Messungen werden mit einem Absorptionsphotometer Model 5012 (MAAP, engl. Multi Angle Absorption Photometer) durchgeführt. Die Abbildung dient zur Visualisierung des Freitag-/ Samstagabend-Effektes.

Sichtbar ist ein sprunghafter Anstieg der Konzentrationen in den Morgenstunden zwischen etwa 5:00 und 8:00 Uhr (MEZ) zu Zeiten des Berufsverkehrs. Weiterhin sind in der Abbildung zwei weitere, zumeist schwächer ausgeprägte, relative Maxima am Nachmittag und in den Abendstunden zu erkennen. Besonders an den Tagen Freitag bis Sonntag ist jedoch vom Nachmittag bis zum Abend ein starker Anstieg der Konzentrationen feststellbar. Dieser Anstieg ist nicht mit Verkehrsdaten erklärbar. Verglichen mit BC ist der Effekt für PM_{10} geringer, aber dennoch messbar (Abbildung 16 im Anhang). An der Hintergrundstation Collberg ist der Effekt nicht, bzw. deutlich weniger ausgeprägt (Abbildung 15 im Anhang).

1.2 Emissionen aus Holzfeuerungen

Für dieses, und auch für das vergangene Projekt in Leipzig-Gohlis (VOIGTLÄNDER et al., 2021), wurde die These aufgestellt, dass sich der beobachtete Freitag-/Samstagabendeffekt auf Freizeitaktivitäten, wie Feuerungen von Gartenfeuern, Feuerschalen oder Grillen, zurückführen lässt. Bei den aufgezählten Vorgängen handelt es sich im Wesentlichen um Aktivitäten, bei denen Holz oder Holzkohle verbrannt werden. Bei der Verbrennung werden verschiedene Schadstoffe emittiert, darunter auch feste Schadstoffe, vor allem Ruß (BC) und Feinstaub (PM_{10}). Während die Emissionen aus dem Straßenverkehr, wie bereits erläutert, in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken sind, so ist dies bei den Holzfeuerungen nicht der Fall. Im Gegenteil, Holzfeuerungen werden weiter unvermindert stark genutzt. Dadurch ist der relative Anteil der Emissionen von Holzfeuerungen an den Gesamtemissionen gestiegen, v. a. im Winter durch Heizen mit Holz (Mothes et al., 2020, van Pinxteren et al., 2020). Inzwischen liegen, bezogen auf $PM_{2.5}$, die Emissionen aus Holzkleinfeuerungsanlagen deutlich über den Auspuffemissionen aus dem Straßenverkehr (Umweltbundesamt, 2020).

Ähnlich den Verkehrsemissionen sind die Emissionen aus Holzfeuerungen zeitlich nicht gleichmäßig verteilt. Die zu erwartenden zeitlichen Maxima der Emissionen sind dabei allerdings verschieden. Während Maxima der Verkehrsemissionen hauptsächlich zu Zeiten des Berufsverkehrs an Werktagen auftreten, so sind Emissionen aus Holzfeuerungen zu Freizeit Zwecken vor allem am Wochenende und in den Abendstunden zu erwarten. Eine spezielle Quelle sind dabei Holzfeuerungen im Freien in der warmen Jahreszeit (Grillen, Feuerschalen, Gartenfeuer, etc.).

1.3 Zielstellung des Projektes

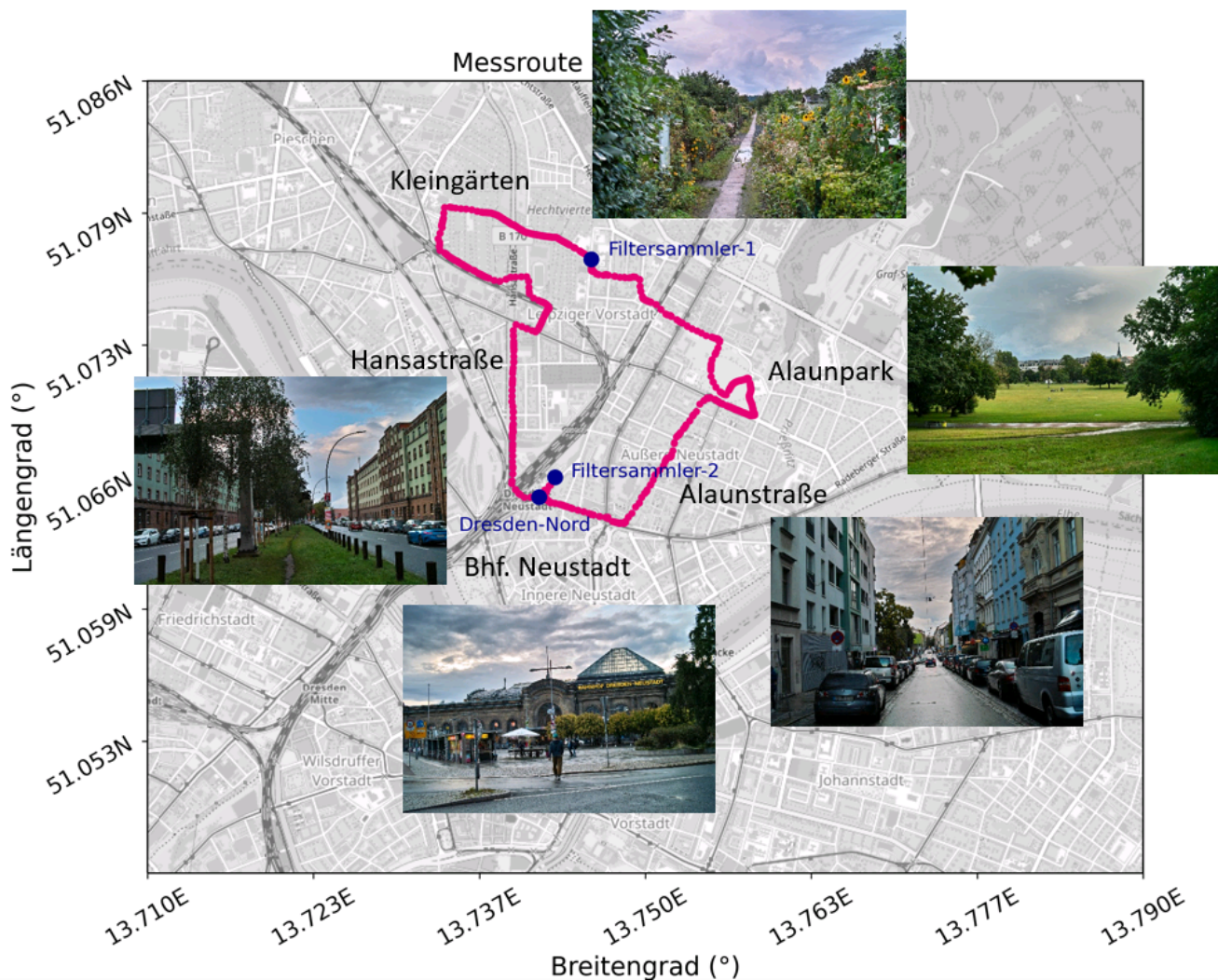
Wie bereits das Vorgängerprojekt im September 2020 in Leipzig-Gohlis beschäftigt sich dieses Vorhaben mit der These, dass sich Effekt erhöhter Schadstoffkonzentrationen insbesondere in den Abendstunden von Freitagen und Samstagen durch Emissionen von Feuerungen aus Freizeitaktivitäten erklären lässt. Um dieser Fragestellung nachzugehen, wurden in den Sommermonaten 2021 in Dresden-Neustadt mobile Partikelmessungen durchgeführt sowie Filterproben genommen und auf die chemische Verbindung Levoglucosan analysiert, die ein spezifischer Marker für Holzverbrennung ist (Mothes et al., 2020).

1.4 Messgebiet und Route der mobilen Messungen

Im Rahmen des Projektes wurden in Dresden mobile Messungen und Filterprobennahmen durchgeführt. Ausgewählt wurde dafür der Stadtbezirk Dresden-Neustadt. Dresden-Neustadt liegt im nördlichen Teil von Dresden und setzt sich aus den Stadtteilen Innere Neustadt, Äußere Neustadt (Süden), Radeberger Vorstadt (Osten), Leipziger Vorstadt mit dem Hechtviertel (Westen) und Albertstadt (Norden) zusammen. Die Lage der Neustadt innerhalb des Stadtgebiets von Dresden ist in Abbildung 2 dargestellt. Dresden-Neustadt ist geprägt durch sehr heterogene Nutzungs- und Bebauungsstrukturen. Es finden sich sowohl Straßenzüge mit Villen und Gründerzeithäusern, aber auch Genossenschaftswohnblöcken, sowie Gewerbegrundstücke und zahlreiche Anlagen der aktiven Erholung (Kleingärten und Parkanlagen). Innerhalb der Dresdner-Neustadt wurden die Messungen im Gebiet zwischen äußerer Neustadt und Leipziger Vorstadt durchgeführt. Die Äußere Neustadt gilt als "Szeneviertel". Weit mehr als 100 Kneipen und Restaurants finden sich in den teilweise engen Gassen und verwinkelten Hinterhöfen. Dazu kommen zahlreiche Clubs, Theater und Geschäfte. Eine der wichtigsten Straßen ist dabei die Alaunstraße, die ebenfalls auf der Messroute lag. Begrenzt wird die Äußere Neustadt unter anderem durch den Alaunpark (bzw. Alaunplatz) sowie den Bahnhof Dresden-Neustadt, auf dessen Vorplatz sich auch die Messstation Dresden-Nord befindet. Die Leipziger Vorstadt ist dagegen gekennzeichnet durch eine Blockrandbebauung mit großen Wohnblöcken, beispielsweise entlang der verkehrsreichen Hansastraße, aber auch durch Gewerbegrundstücke und zahlreiche Kleingartenanlagen. Insgesamt 25 Kleingartenvereine sind in der Leipziger Vorstadt zu finden.

Für die mobilen Messungen mit dem Messrucksack wurde eine Messroute von ca. 7,5 km Länge ausgewählt. Die Route, die in Abbildung 2 dargestellt ist, wurde dabei bei fast allen Rundgängen nahezu konstant gelassen und an jedem der Messtage mehrfach begangen. Die Route führt in ausgewogenen Anteilen durch Wohngebiete (Hechtviertel und entlang der Hansastraße), Kleingartenanlagen (u.a. KV "Morgensonne", "Abendfrieden", "Kleeblatt", "Erdkugel", "Sommerlust", "Friedenseck", "Rosenhain"), Parks (Alaunpark), Gewerbeflächen (wie Umspannwerk Dresden-Neustadt) sowie entlang belebter Straßen im Szeneviertel "Äußere Neustadt" (Alaunstraße). Ebenfalls lag der Bahnhof Dresden-Neustadt mit der Messstation Dresden-Nord auf der Messroute. Durch die Abdeckung unterschiedlicher Bebauungs- und Nutzungsstrukturen kann eine möglicherweise vorhandene kleinräumige Variabilität der erfassten Luftschadstoffe bei verschiedenen Umgebungsbedingungen untersucht werden.

Wie bereits bei den Untersuchungen in Leipzig-Gohlis fand an ausgewählten Tagen und an zwei Stationen wieder eine Filterprobennahme statt. Eine Station befand sich am Bahnhof Dresden-Neustadt und diente als Beobachtungsstation für die generelle Belastung der städtischen Luft mit Holzverbrennungsemissionen. Die andere Station befand sich in der Johann-Meyer-Straße etwas nördlich zur Kreuzung Seitenstraße gegenüber einer Schule und in der Nähe vom Eingang zur Kleingartenanlage "Fortschritt I.e.V. Gartenfreunde" und repräsentiert einen "Hotspot", der noch im Wohngebiet, aber quellnah zu möglichen Emissionen aus der benachbarten Kleingartenanlage liegt. Die Filterprobennahme erfolgte in der Regel für jeweils zwei Stunden am Nachmittag (ca. 15:00-17:00 Uhr), sowie in den Abendstunden (ca. 17:00-19:00 Uhr und 19:00-21:00 Uhr, jeweils MEZ, d. h. MESZ minus 1 h).



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 2: Karte des Messgebietes Dresden-Neustadt, mit der Messroute der mobilen Rucksack-Messungen (magentafarbene Linie) sowie den beiden Standorten der mobilen Filtersammler: Standort 1 als quellnahe Hotspot-Station an der Grenze zwischen Wohngebiet (im Hechtviertel) und einer Kleingartenanlage ("Fortschritt I e.V. Gartenfreunde"), Standort 2 auf dem Vorplatz des Bahnhofs Dresden-Neustadt.

Die Route für die mobilen Messungen wurde von der Länge so gewählt, dass eine Begehung mit mäßiger Laufgeschwindigkeit innerhalb einer einzelnen Filterprobennahme von zwei Stunden gut machbar ist. Darin eingeschlossen ist dann jeweils die notwendige Zeit für den Filterwechsel. An den Messtagen ohne Filterprobennahme wurde die Zeitspanne für eine Messrunde daher teilweise etwas verkürzt (auf etwa 90 Minuten) und die Messungen ggf. um eine zusätzliche Runde erweitert. Außerdem war die Routenführung derart gestaltet, dass zu allen Zeiten ohne Einschränkung eine Begebarkeit gewährleistet war. Beispielsweise existieren in Kleingartenvereinen meist sogenannte Schließzeiten und das Betreten der Anlagen durch Nichtmitglieder ist nicht gestattet. Es wurde daher im Rahmen der Untersuchungen weder Vereins- noch Privatgelände betreten, sondern die Messungen erfolgten entlang öffentlich zugänglicher Wege und Straßen. Da das Ziel des Projektes aber nicht das Aufspüren von Einzelquellen, sondern die generelle Untersuchung des Freitag-/Samstagabendeffekts ist, stellte dies keine Einschränkung dar.

1.5 Messgeräte

Für die physikalischen Partikelmessungen kamen dieselben mobilen Messsysteme des TROPOS zum Einsatz (Abbildung 3), die bereits auch für die Studie in Leipzig-Gohlis verwendet wurden. In diesen Systemen sind verschiedene Messgeräte zu einem tragbaren Rucksacksystem zusammengefasst. Erfasst werden können die Partikelgrößenverteilung im Größenbereich zwischen $0,3\ \mu\text{m}$ und $10\ \mu\text{m}$ sowie die Massenkonzentration von BC (black carbon, Ruß). Dabei kommen qualitätsgeprüfte Messgeräte mit optischen Streu- und Absorptionsmesslichtverfahren zum Einsatz. Konkret werden ein optisches Partikelgrößenspektrometer des Typs OPS-3330 der Firma TSI (TSI GmbH, Aachen, Deutschland), sowie ein Schwarzkohlenstoffmonitor (Aethalometer) vom Typ MA-200 der Firma AethLabs (AethLabs, San Francisco, CA, USA) verwendet. Beide Geräte bieten, gemessen an aktuell verfügbarer tragbarer mobiler Messtechnik, höchstmögliche Messgenauigkeit bei gleichzeitig hoher zeitlicher (und damit bei mobilen Messungen auch räumlicher) Auflösung. Das OPS-3330 misst dabei Partikel zwischen $0,3$ und $10\ \mu\text{m}$ in bis zu 16 einstellbaren Größenkanälen gemäß Standard ISO ISO21501/04. Das MA-200 ist ein 5-Wellenlängen-UV-IR-Schwarzkohlenstoffmonitor und bietet eine "state-of-the-art" dual-spot Messtechnik zur Korrektur thermodynamischer Beladungseffekte (Drinovec et al., 2014). Verglichen mit dem vorher verwendeten AE-51 bietet es neben den zusätzlichen Wellenlängen ein verbessertes Signal-Rausch-Verhältnis. Als mobiles Messgerät entwickelt, bietet es mit eingebautem GPS die Möglichkeit einer fortlaufenden Positionsbestimmung. Ein wesentlicher Bestandteil ist dabei auch das Einlasssystem mit einer Messgasaufbereitung, die eine Trocknung des Luftstromes beinhaltet. Ein zentrales Datenerfassungssystem (Odroid-Micro-Rechner) übernimmt die Steuerung der einzelnen Geräte und Sensoren und bildet die Schnittstelle zum betreibenden Wissenschaftler. Die Systeme wurden in mehreren Projekten in Labor und Feld evaluiert und haben eine gute Übereinstimmung gegenüber Referenzgeräten gezeigt (Alas et al., 2018). Für die Messungen in Dresden-Neustadt wurde das Rucksacksystem um einen zusätzlichen Pt100-Sensor zur Erfassung der Lufttemperatur ergänzt.

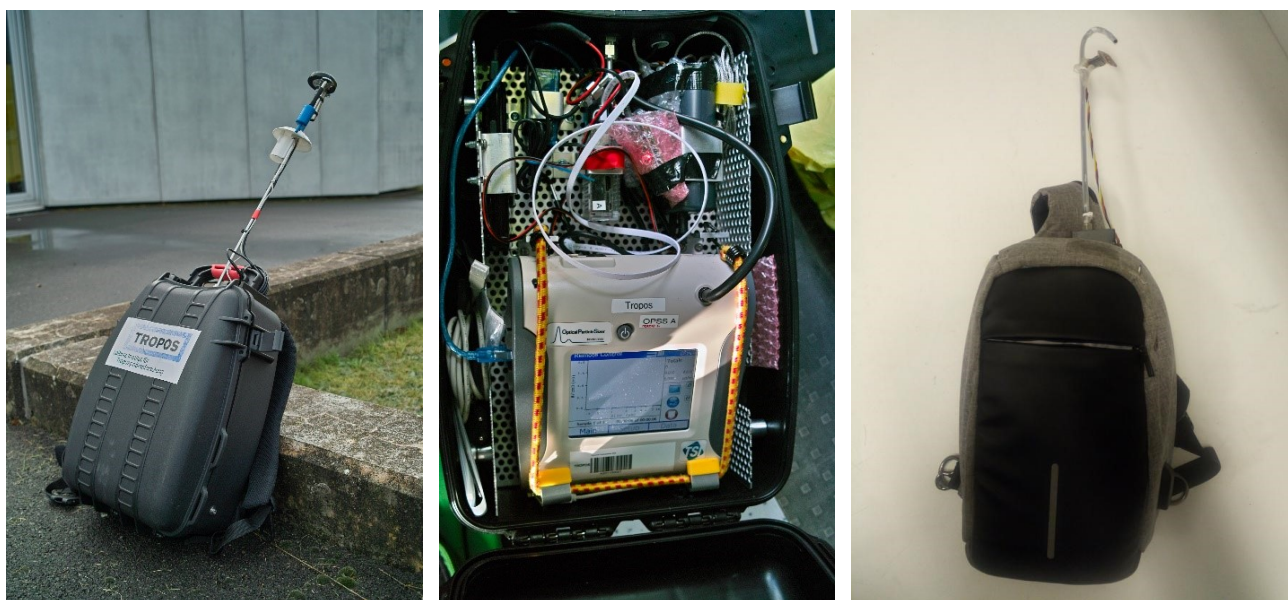


Abbildung 3: Mobile Messrucksäcke des TROPOS (links/Mitte: Messrucksack mit OPS-3330, Aethalometer AE-51 und Pt100-Temperatursensor, rechts: miniaturisierter Messrucksack mit PM_{10} -Sensor, meteorologischen Sensoren und Aethalometer MA-200. Für die Messungen wurden beide Rucksäcke parallel eingesetzt.

Zur Bestimmung von Levoglucosan als eindeutige chemische Markerverbindungen für die Biomasseverbrennung wurden tragbare, akkubetriebene Filtersammler verwendet, die ursprünglich für Expositionsmessungen konzipiert wurden. Im Vergleich zu stationären Kleinfiltergeräten bieten sie den Vorteil, dass sie flexibel und autark an beliebigen Orten betrieben werden können, was für dieses Projekt von Vorteil war. Die Filtersammler sind mit einem PM₁₀-Einlasskopf ausgestattet und scheiden mit einer Flussrate von 10 l min⁻¹ Feinstaubpartikelmasse auf Quarzfaserfiltern ab.

1.6 Messungen

Die Messungen zur Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes in Dresden wurden während der Sommermonate des Jahres 2021 durchgeführt. Der Start der Untersuchungen war in der ersten Junihälfte, die letzten Messungen fanden am ersten Wochenende im September statt. Eine Unterbrechung aus meteorologischen (s. u.) und logistischen Gründen gab es während der sächsischen Sommerferien im Juli und August 2021. Einen tabellarischen Überblick über die durchgeführten mobilen Messungen gibt Tabelle 1. Die Messroute für die mobilen Partikelmessungen wurde an 14 Messtagen insgesamt etwa 40-mal begangen, Filterprobennahmen fanden parallel zu den mobilen Partikelmessungen an sechs Messtagen statt.

Die Messungen wurden ausschließlich in den Nachmittags- und Abendstunden vorgenommen. Konkret wurden die Messungen in der Regel zwischen 15:30 und 16:30 Uhr gestartet und dann bis jeweils ca. 21:30 Uhr (MEZ, d. h. 22:30 Uhr MESZ) fortgesetzt. Das Ende der Messungen lag damit an den ersten Messtagen im Bereich der Abenddämmerung, an den späteren Messtagen bereits deutlich nach Sonnenuntergang, bzw. teilweise in der Nachtphase nach der astronomischen Dämmerung. Lediglich am 3. September starteten die Messungen etwas früher (14:00 Uhr), an zwei Messtagen konnte erst später begonnen werden. Der Grund dafür war einmal der Straßenverkehr bei Anreise aus Leipzig (2. Juli) und an einem Vergleichstag unter Tiefdruckeinfluss (21. August) musste ein Regenschauer abgewartet werden.

Tabelle: Übersicht der durchgeführten Messungen

Nr.	Datum	Rucksackmessung	Filtersammler	Bemerkung
1	Do, 10. Jun 2021	3x	-	Erkundungsmessungen
2	Sa, 12. Jun 2021	3x	-	Techn. Probleme
3	So, 13. Jun 2021	mehrfach	-	Fahrrad
4	Fr, 18. Jun 2021	3x	-	Pressetermin, warm
5	Sa, 26. Jun 2021	3x	3x	Warm
6	So, 27. Jun 2021	2x	3x	Warm
7	Fr, 02. Jul 2021	3x	3x (1x verkürzt)	Windig, bewölkt
8	Sa, 03. Jul 2021	3x	3x	Warm
9	Fr, 16. Jul 2021	3x	3x	Schwül
10	Fr., 20. Aug 2021	3x	-	Warm
11	Sa, 21. Aug 2021	4x	-	Kalt
12	Fr, 27. Aug 2021	2x	-	Niederschlag vorher/zu Beginn
13	Fr, 03. Sep 2021	4x	-	Warm
14	Sa, 04. Sep 2021	3x	3x	Warm, Schulanfang

Außer dem ersten Messtag am 10. Juni (Sondierungs-Messung) lagen, im Gegensatz zur Studie in Leipzig-Gohlis, alle Messtage an Freitagen, Samstagen oder Sonntagen, da sich in der Studie in Leipzig zeigte, dass an diesen Tagen besonders häufig Effekte sommerlicher Grill- und Feueraktivitäten auf die lokale Luftqualität beobachtet werden können. Bis auf den bereits angesprochenen Vergleichstag am 21. August wurden alle Messungen unter sommerlichen, niederschlagsfreien Bedingungen, meist unter Hochdruckeinfluss, durchgeführt.

2 Ergebnisse und Diskussion

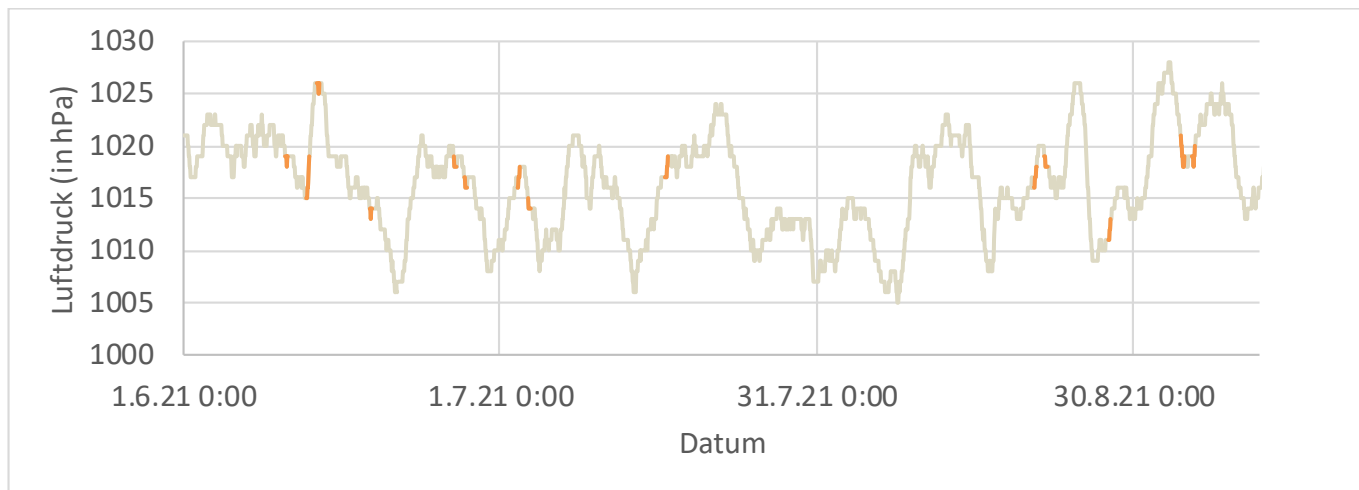
2.1 Messdaten Messstation Dresden Nord

2.1.1.1 Wetterdaten

Ziel des Projektes war die Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes, eines Effektes, der, wie oben gezeigt, hauptsächlich im Sommerhalbjahr zu beobachten ist. Die Messungen fanden daher in den Sommermonaten von Juni bis Anfang September statt. Die letzte Messung im Rahmen des Projektes wurde am 4. September 2021 durchgeführt. Als Messtage wurden (überwiegend) warme, niederschlagsfreie Tage mit stabilen Wetterverhältnissen ausgewählt, die eine potentielle Eignung zur Untersuchung des Effekts versprachen.

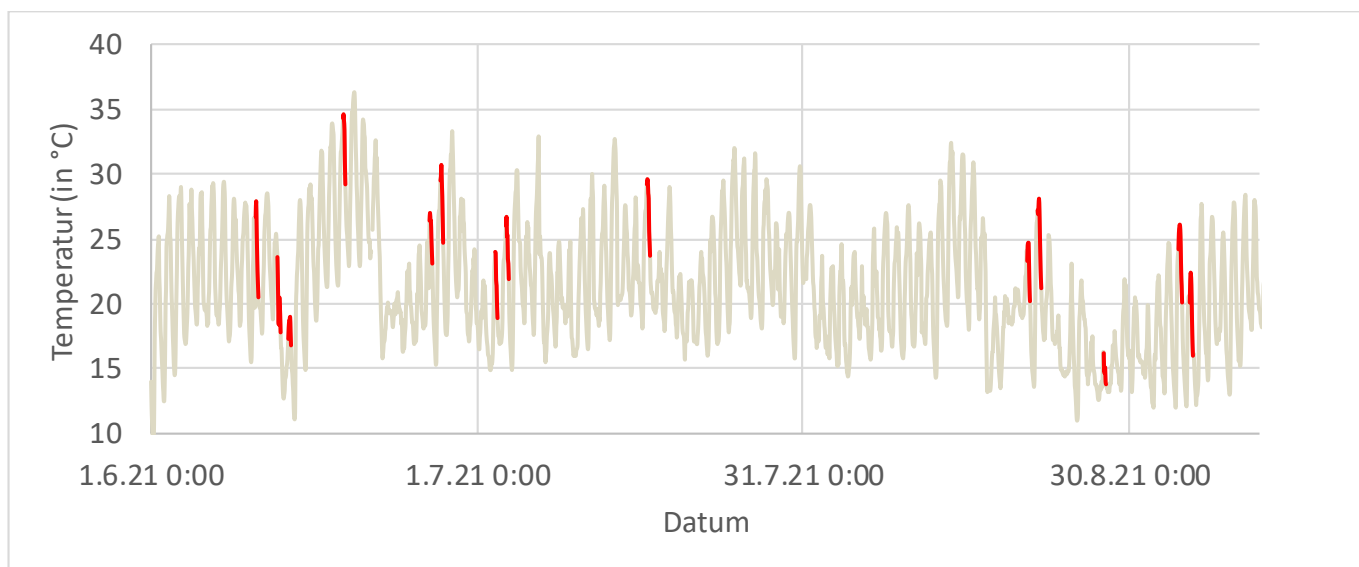
Die im Sommer 2021 (hier: Juni - September) an der Messstation Dresden-Nord gemessenen Zeitreihen für Luftdruck und Temperatur sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt. Dabei sind die Zeiträume, an denen mobile Messungen, bzw. auch Filtersammlungen, stattfanden, zur besseren Orientierung farblich hervorgehoben. Zur Einordnung in einen gesamtheitlichen Kontext ist jedoch auch die gesamte Zeitreihe dargestellt und grau unterlegt.

Das Frühjahr 2021 war wettermäßig sehr durchwachsen. Die Monate April und Mai waren, verglichen mit dem Durchschnitt der Referenzperiode von 1961 bis 1990, deutlich zu kühl (April mehr als 3 °C, Mai mehr als 2 °C kühler, DWD, 2021) und zu nass. Nach dem deutlichen Niederschlagsdefizit der Jahre 2019 und 2020 waren die hohen Niederschlagsmengen gut für die Natur, auf der anderen Seite aber wenig einladend für Freizeitaktivitäten im Freien. Der Juni war schließlich, verglichen mit den Durchschnittswerten, fast 3 °C zu warm. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, waren dabei besonders in der zweiten Juni-Dekade Hitzewellen zu beobachten (die ersten des Jahres 2021). Demgegenüber entsprach die mittlere Temperatur im Juli nahezu dem langjährigen Mittelwert. Der August war insgesamt kühler als das klimatische Mittel. Die Sommermonate Juni bis August wiesen größere Niederschlagsmengen als im klimatischen Mittel auf, ehe dann im September wieder eine deutlich unterdurchschnittliche Gesamt-Niederschlagsmenge bei über dem Mittel liegenden Temperaturen erreicht wurde (DWD, 2021). Damit waren die Sommermonate Juli und August 2021 insgesamt sehr durchwachsen, zu kühl, zu nass und wiesen vergleichsweise wenige Sonnenstunden auf. Während dieser Zeit waren Perioden hohen Luftdrucks nur von kurzer Dauer und wurden von zahlreichen (niederschlagsbringenden) Tiefdruckgebieten unterbrochen.



Quelle LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 4: Zeitreihe des Luftdrucks, gemessen an der Messstation Dresden-Nord im Zeitraum zwischen Anfang Juni und der ersten September-Dekade 2021. Die eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.



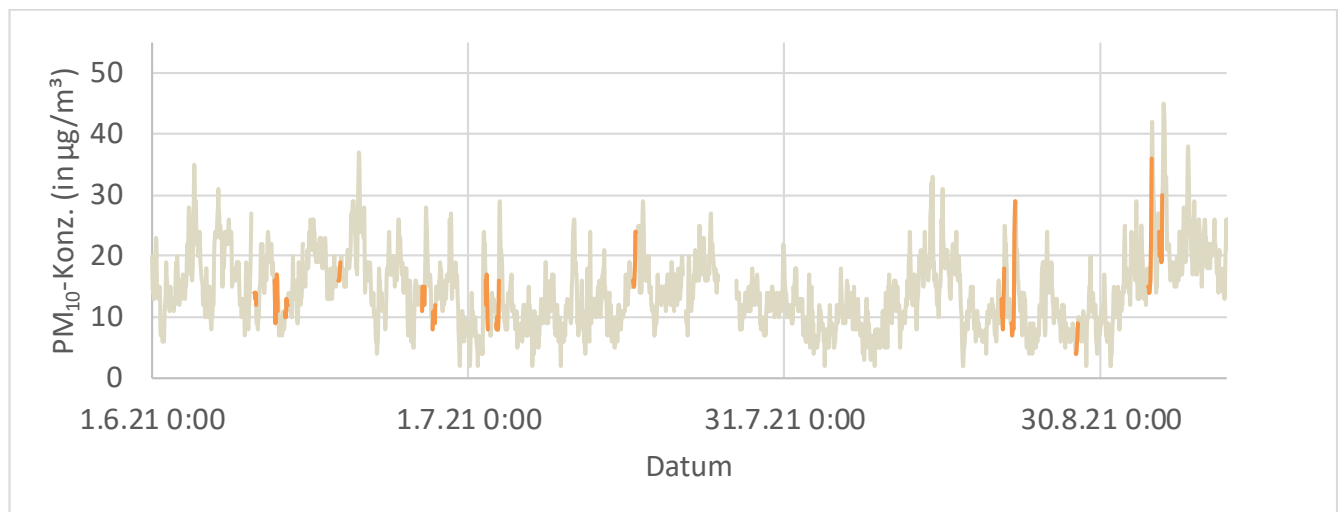
Quelle LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 5: Zeitreihe der Temperatur, gemessen an der Messstation Dresden-Nord in den Sommermonaten 2021 (Juni - September 2021). Die rot eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.

Unter anderem auch deshalb wurden zwischen Anfang Juli und Ende August nur sehr wenige Messtage mit mobilen Messungen durchgeführt. Bereits acht Messtage konnten in den ersten Wochen bis Anfang Juli (3. Juli) absolviert werden. Die meisten der verbleibenden Messungen wurden dann auf den Zeitraum zwischen Ende August und Anfang September verschoben. Damit wurden auch kaum Messungen innerhalb der sächsischen Sommerferien (26.07. - 03.09.2021) durchgeführt. Die Messungen am ersten September-Wochenende konnten schließlich bei warmen, sommerlichen Bedingungen durchgeführt werden.

2.1.1.2 PM₁₀ und BC-Daten

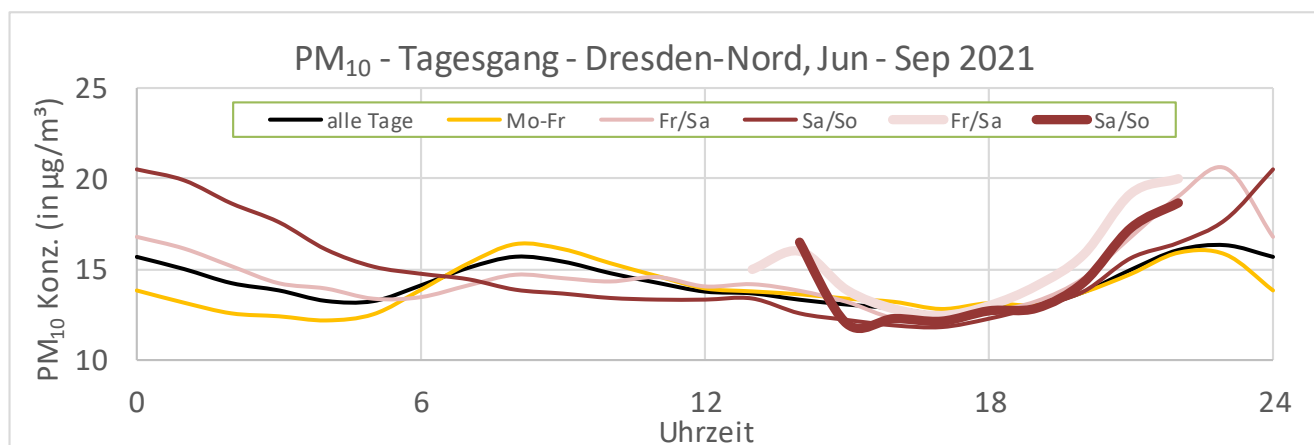
In Abbildung 6 sind die an der Messtation Dresden-Nord gemessenen und stundengemittelten Massenkonzentrationen von PM₁₀ (TEOM-Messungen) dargestellt.



Quelle LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 6: Zeitreihe der gemessenen PM₁₀-Konzentration an der Messtation Dresden-Nord in den Sommermonaten 2021 (Juni-September 2021). Die eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.

Die Abbildung 6 zeigt, sichtbar an der längeren vertikalen Ausdehnung der farbig markierten Abschnitte, dass insbesondere die letzten Messtage eine hohe tägliche Variabilität aufwiesen und damit auf einen deutlicher ausgeprägten Abendeffekt schließen lassen. Demgegenüber ist bereits in der Zeitreihendarstellung nur eine geringe Variabilität an den ersten Messtagen im Juni zu erkennen.



Quelle LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 7: Mittlerer Tagesgang der PM₁₀-Konzentrationen in den Sommermonaten 2021 (Juni - September), gemessen an der Messtation Dresden-Nord. Bei der Darstellung des mittleren Tagesganges wurde nach verschiedenen Wochentagen (alle Tage, Mo-Fr, Fr/Sa, Sa/So) unterschieden. Die dicken Linien zeigen mittlere Werte während der mobilen Messungen.

Insgesamt konnte der Freitag-/Samstagabendeffekt, wie bereits in Abbildung 1 ersichtlich, auch im Sommer 2021 an der Station Dresden-Nord beobachtet werden. In Abbildung 7 ist dazu nochmals der mittlere Tagesgang der PM₁₀-Konzentrationen, gemessen an der Station Dresden-Nord, dargestellt. Im Vergleich dazu sind dabei auch die nur über alle Zeiträume der mobilen Messungen gemittelten Werte eingetragen (dicke Linien). An den Messtagen war der Effekt im Mittel etwas stärker zu beobachten als über den gesamten Sommer.

Wird der Zeitraum weiter unterteilt, so ergibt sich ein sehr heterogenes Bild. Während in der ersten Hälfte des Sommers nur ein sehr schwach ausgeprägter Freitag-/Samstagabendeffekt zu beobachten war, so war er im Spätsommer deutlich stärker ausgebildet (siehe Abbildung 17 im Anhang). Dafür kommen verschiedene Ursachen in Betracht. Zum einen war, wie im letzten Abschnitt dargelegt, der Sommer 2021 insgesamt durch teilweise sehr wechselhafte Wetterbedingungen gekennzeichnet. Es ist zu vermuten, dass dies auch die Intensität der Freizeitaktivitäten beeinflusst hat, was möglicherweise zu geringeren lokalen Emissionen geführt haben könnte, die als Ursache für den Freitag-/Samstagabendeffekt vermutet werden. Zum anderen könnte im frühen Sommer eine größere Mischungsschichthöhe, bzw. Grenzschichthöhe, eine Rolle gespielt haben. Insbesondere im Juni wurden, bedingt durch die lange Tageslänge, die Messungen nicht bis in die Nachstunden, d. h. die Zeit nach der astronomischen Dämmerung (Sonnenscheibe 18° unterhalb des Horizonts), fortgesetzt. Demgegenüber wurde am 3. September in Dresden das Ende der astronomischen Dämmerung und damit der Beginn der Nacht um 21:15 Uhr erreicht, was innerhalb des Messzeitraums lag. Allgemein nimmt die Höhe der Grenzschicht, und damit die turbulente Durchmischung, nachts deutlich ab. Mit anderen Worten ist die atmosphärische Grenzschicht nachts stabiler geschichtet. Der Grund liegt in der fehlenden Sonneneinstrahlung, der damit verbundenen geringeren zur Verfügung stehenden turbulenten kinetischen Energie (TKE), sowie der möglichen Ausbildung von Inversionen durch Ausstrahlung vom Boden. In Folge dessen werden lokal emittierte Schadstoffe in der Nacht deutlich weniger effektiv vermischt (verdünnt, wegtransportiert) und die Konzentrationen steigen schneller an. So konnte an der Messstation Dresden-Nord auch beobachtet werden (Abbildung 19 im Anhang), dass der Abendeffekt an einzelnen Tagen zu Beginn der Untersuchungsphase auch erst nach Beendigung der Messungen (ca. 22:30 Uhr MESZ) deutlicher wurde (26. Juni und 3. Juli 2021). Vermutlich kann dies auf die höhere Mischungsschichthöhe während aktiver Sonneneinstrahlung zurückgeführt werden.

Insgesamt, d. h. unter Berücksichtigung der meteorologischen Daten sowie der Beobachtungen an der Station Dresden-Nord, kann davon ausgegangen werden, dass insbesondere die letzten Messtage zur Untersuchung des Freitag-/Samstagabendeffektes geeignet waren.

2.2 Mobile Messungen

Die Messtage der mobilen Messungen können grob in zwei zeitliche Abschnitte unterteilt werden. Zum einen sind dies die Messungen bis Anfang/Mitte Juli, d. h. vor den sächsischen Sommerferien. Neben der charakteristischen langen Tageslänge gab es in dieser Zeit (besonders zweite Juni-Dekade) eine erste sommerliche Hitzeperiode. Zum anderen wurden Messungen in einer zweiten Messphase am Ende der Sommerferien durchgeführt. Von der jahreszeitlichen Einordnung sind diese späteren Messungen damit bereits recht gut mit den Messungen aus Leipzig-Gohlis vergleichbar.

Wie bereits anhand der PM₁₀-Messdaten der Station Dresden-Nord gezeigt wurde, so war besonders an den späteren Messtagen ein Freitag-/Samstagabendeffekt zu beobachten, während der Effekt bei den ersten Messungen kaum zu beobachten war. Dies spiegelte sich auch bei den mobilen Messungen und den Filterproben wider.

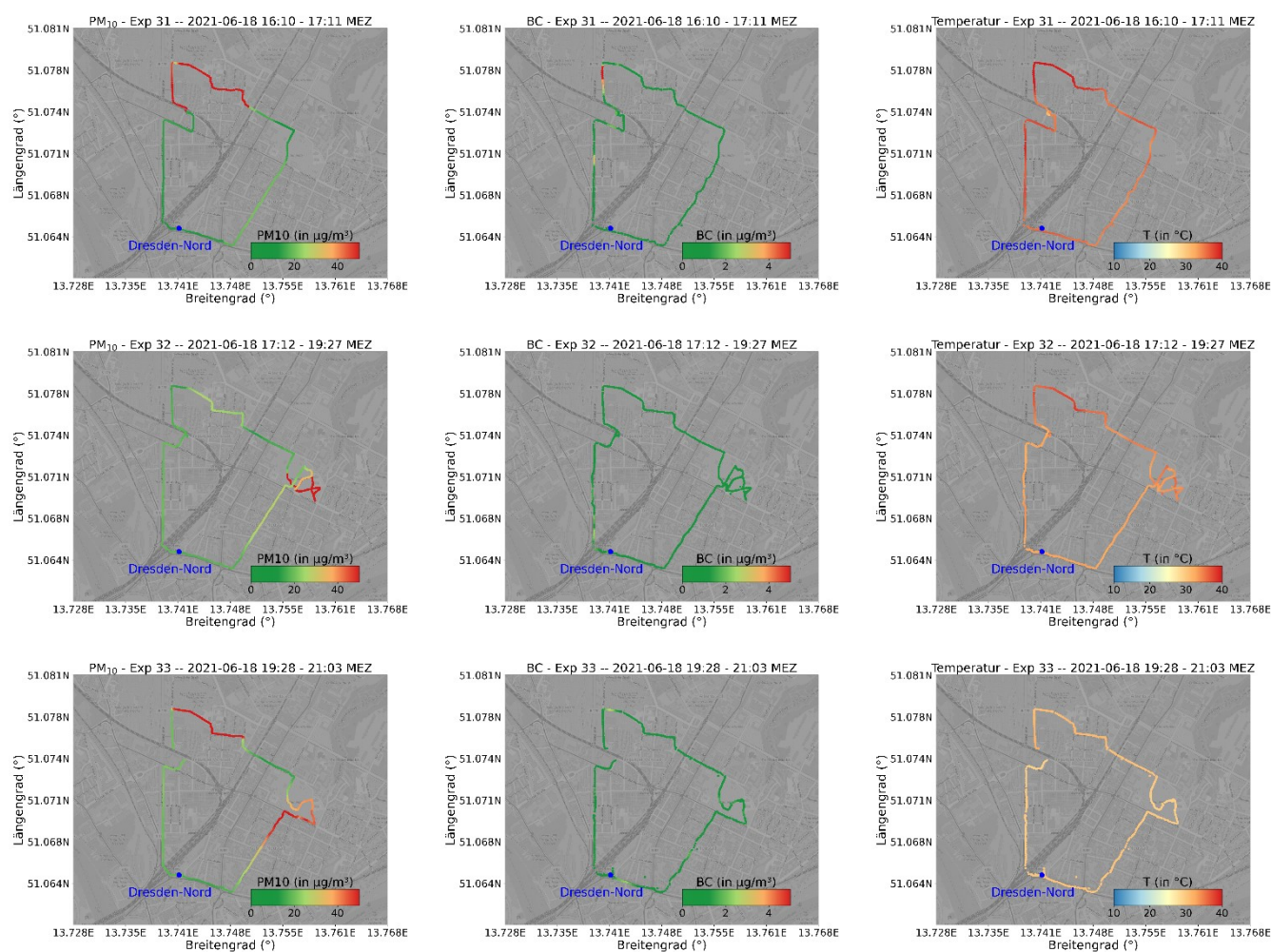
Insgesamt sind die Resultate der mobilen Messungen wie erwartet sehr heterogen, da viele Faktoren Einfluss haben. Die Ergebnisse werden daher ähnlich wie im Bericht zu den Messungen in Leipzig anhand von ausgewählten Beispielen erläutert. Darstellungen weiterer Messtage befinden sich im Anhang des Berichts.

2.2.1 Messungen im Frühsommer bis Mitte Juli

Ab 10. Juni wurden die ersten mobilen Messungen in Dresden-Neustadt durchgeführt. Die ersten Messtage (10. - 13. Juni) lagen noch vor der sich anschließenden ersten Hitzeperiode. Während der ersten Messtage erfolgte noch keine Filterprobennahme. Die Ergebnisse sind nur im Anhang aufgeführt.

2.2.1.1 Beispiel Messungen vom 18. Juni 2021

Am 18. Juni wurden die Untersuchungen ebenfalls noch ohne Filtersammler durchgeführt. Das Wochenende war gekennzeichnet durch die erste Hitzeperiode des Jahres. Es gab mehrere "heiße" Sommertage mit Tagesmaximum-Temperaturen von über 30 °C. Diese erste hochsommerliche Wetterlage lockte viele Menschen nach draußen ins Freie. In den Kleingartenanlagen, Parkanlagen sowie in den Freisitzen der Gastronomie gab es ein hohes Menschaufkommen. Erkennbar sind diese Gebiete bei den PM10-Messungen anhand ansteigender Konzentrationen. Die durchquerte Kleingartenanlage, der Alaunpark (Alaunplatz) und die Alaunstraße sind als Hot-Spots deutlich in den Daten der PM10-Konzentrationen erkennbar. Innerhalb des Beobachtungsgebietes gab es damit eine deutliche kleinräumige Variabilität der Partikel-Konzentrationen. Im Gegensatz dazu stiegen die BC-Konzentrationen kaum. Das hohe Menschaufkommen im Freien sorgte an diesem Tag kaum für Feuerungsaktivitäten. Es kann vermutet werden, dass, bedingt durch die große Hitze, kaum Anreiz zum Grillen oder anderen Holzverbrennungsaktivitäten bestand. Ebenfalls konnte an diesem Tag kein signifikanter Abendeffekt beobachtet werden. Vermutlich sorgte die bis nach Beendigung der Messungen an diesem Tag hohe Mischungsschichthöhe für eine gute Durchmischung innerhalb der Grenzschicht. Der 18. Juni kann damit als Beispiel dienen, dass eine pauschale Aussage über das Auftreten eines Freitag-/Samstagabendeffekts im Sommer nicht möglich ist.



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 8: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, dem 18. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die gemessenen PM₁₀- (links) und BC- (Mitte) Konzentrationen sowie die Temperaturen (rechts) für die an diesem Tag durchgeführten Messungen in chronologischer Reihenfolge.

2.2.1.2 Beispiel Messungen vom 26. Juni 2021

In der darauffolgenden Woche wurden am 26. und 27. Juni mobile Rucksackmessungen erstmals zusammen mit den Filtersammlern durchgeführt. Besonders der 26. Juni (Samstag) war kühler als der 18. Juni in der Woche zuvor. Dennoch herrschten gute Wetterverhältnisse und sommerliche Bedingungen. Während der Messungen konnte abermals ein hohes Menschenaufkommen beobachtet werden. Im Gegensatz zur Vorwoche waren an diesem Wochenende jedoch auch zahlreiche Freizeitaktivitäten in Verbindung mit Feuerungen (vor allem Grillen) zu verzeichnen. In den Kartendarstellungen der Messergebnisse ist vor allem der Bereich der Kleingartenanlage als Hot-Spot ersichtlich (Abbildung 25 im Anhang). Diesmal sticht dann auch die BC-Konzentration am Abend hervor und in der Partikel-Größenverteilung (Abbildung 35 im Anhang) ist ein starker Anstieg feiner Partikel ($< 1\mu\text{m}$) am Ende der Zeitreihe auszumachen. Die Messroute wurde so begangen, dass die Durchquerung der Kleingartenanlage auf das Ende der Messungen fiel.

2.2.1.3 Beispiel Messungen vom 3. Juli 2021

Als weiteres Beispiel sollen hier die Messungen vom darauffolgendem Wochenende, konkret vom 3. Juli gezeigt werden. Der 3. Juli 2021 (Samstag) war ein Tag mit angenehmen Temperaturen um $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nachdem sich der Freitag recht kühl gestaltete, führte dies dazu, dass die Park- und Kleingartenanlagen gegen Abend gut besucht waren.

Die kartographischen Darstellungen der Messrundgänge (Abbildung 9) weisen in den Nachmittagsstunden keinerlei Auffälligkeiten auf. Die Konzentrationen entlang der Messroute waren zunächst insgesamt niedrig (siehe auch die Zeitreihendarstellung in Abbildung 37 und Abbildung 38 im Anhang).

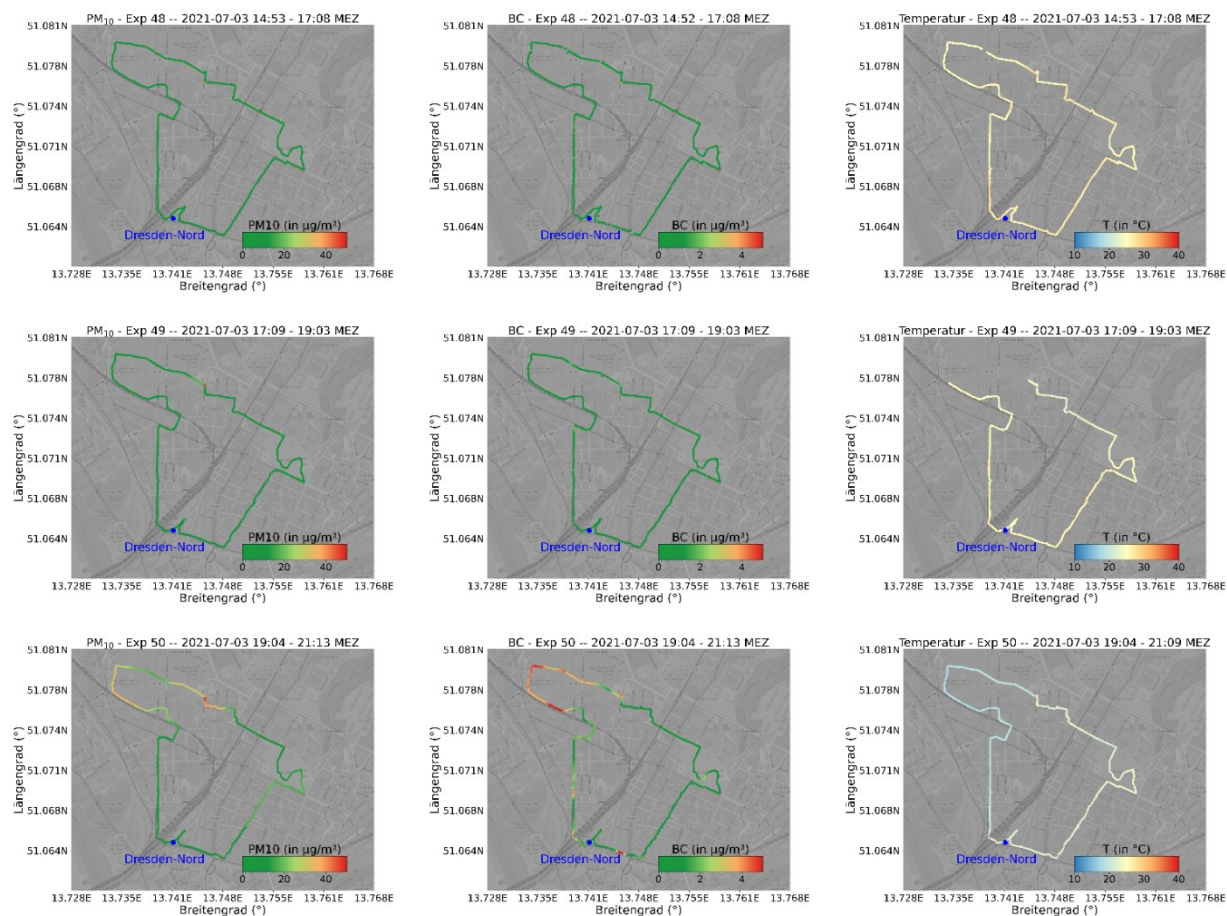


Abbildung 9: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 3. Juli 2021. Dargestellt sind jeweils die gemessenen PM₁₀ (links) und BC (Mitte) Konzentrationen sowie die Temperaturen (rechts) für die an diesem Tag durchgeführten Messungen in chronologischer Reihenfolge.

Gegen Abend gab es dann im Bereich der Kleingartenanlagen einen starken Anstieg der Konzentrationen zu verzeichnen. In der Kartendarstellung sind besonders für BC hohe Konzentrationen erkennbar (Abbildung 9). Der Anstieg der Konzentrationen lässt sich auch in der Darstellung der Partikelgrößenverteilung nachverfolgen und wird vor allem im Bereich submikroner Partikel deutlich (Abbildung 10). Die im letzten Drittel erkennbaren Inhomogenitäten (Peaks) in Abbildung 10 stammen von der beobachteten kleinräumigen Variabilität und können den Maxima im Bereich der Kleingärten zugeordnet werden.

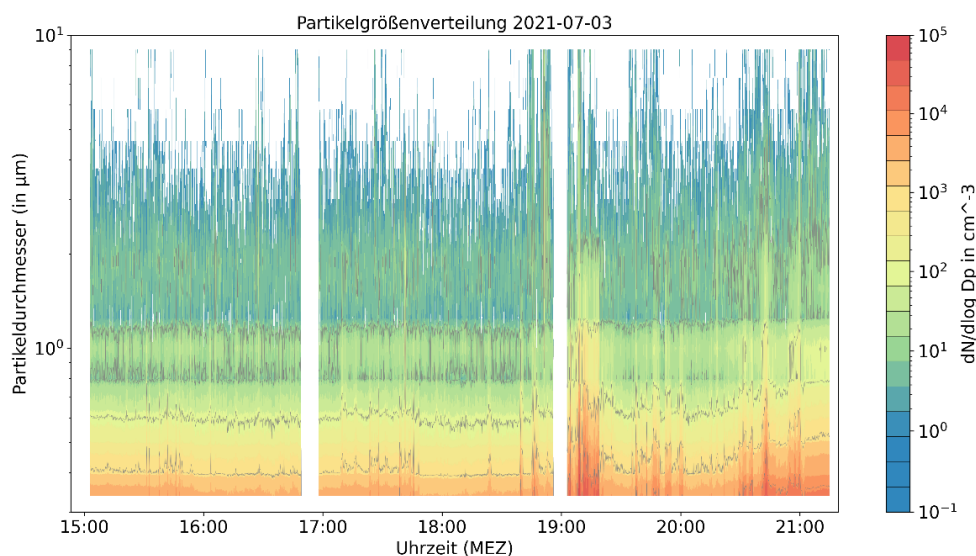


Abbildung 10: Zeitreihe der gemessenen Partikelgrößenverteilung (PNSD) vom 03. Juli 2021 (gemessen mit dem Größenspektrometer TSI OPS-3330).

Deutlich wird der Konzentrationsanstieg am Abend auch in den Ergebnissen der Filtermessungen (Abbildung 14). So wurden in der Filterprobe am Standort Johann-Meyer-Straße am Abend die während der gesamten Untersuchungszeit höchsten Levoglucosan-Werte gemessen. Levoglucosan ist als Holzverbrennungsmarker ein starkes Indiz für Emissionen aus den Freizeitaktivitäten (z. B. Grillen, Feuerschalen, etc.).

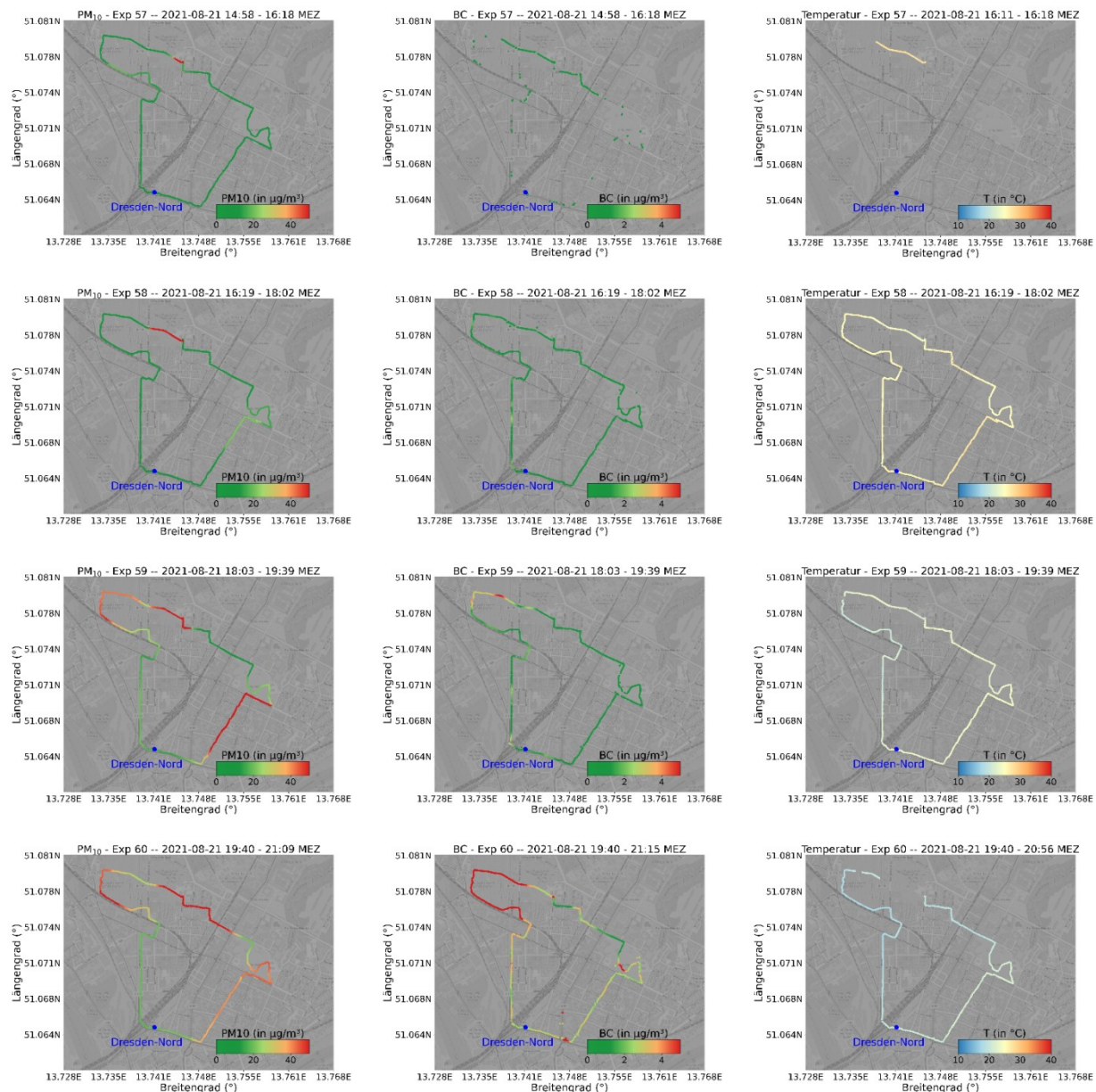
2.2.2 Messungen ab Mitte August

Zwischen Mitte August und Anfang September wurden noch fünf weitere Messtage durchgeführt, davon ein Messtag mit Filtersammler (4. September 2021). Die Untersuchungen fanden bei verschiedenen, jedoch überwiegend stabilen, Wetterverhältnissen statt. Eine Ausnahme stellte der 27. August dar. Dieser wurde als Vergleichstag bei kühlen Temperaturen und Niederschlägen vor Beginn der Messungen durchgeführt. Am Rand eines Tiefdruckgebietes war das Wetter unbeständig, kühl und nass. Die Messungen am 27. August konnten daher auch erst deutlich später begonnen werden, nachdem gegen 16:30 Uhr (MEZ) der Regen aufgehört hatte. Am 27. August waren dann auch kaum Emissionsquellen aus Freizeitaktivitäten auszumachen. Alle anderen Messtage in dieser Phase der Untersuchungen wurden jedoch bei deutlich freudlicheren Wetterverhältnissen durchgeführt.

2.2.2.1 Beispiel Messung vom 21. August 2021

Am Wochenende 20./21. August wurden erstmals nach der längeren Unterbrechung (während der Ferien) wieder mobile Messungen durchgeführt. Während es am Freitag, dem 20. August bei für sommerliche Verhältnisse recht kühlen Temperaturen (unter 25 °C) recht ruhig blieb, was Freizeitaktivitäten anging, so gestaltete sich der Samstag bei etwas höheren Temperaturen deutlich interessanter. Bei warmem, sonnigem Wetter mit Temperaturen bis über 25 °C waren in den Kleingärten, Parks und auch in der Alaunstraße sehr viele Menschen im Freien unterwegs. In der Zeitreihe der an der Station Dresden-Nord gemessenen PM₁₀-Konzentrationen ist nach 18:00 Uhr (MEZ) der Abendeffekt ersichtlich (Abbildung 19), und auch in den

Messreihen der mobilen Messungen ist ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen am Abend deutlich erkennbar. So zeigen etwa die Kartendarstellungen (Abbildung 11) eindrucksvoll, dass der Anstieg zunächst im Bereich der Kleingärten, sowie dem Alaunpark und der Alaunstraße mit ihren zahlreichen und gut besuchten Restaurants auftrat. Diese Hot-Spots sind ein starkes Indiz dafür, dass Emissionen aus Freizeitaktivitäten und der Gastronomie dazu beigetragen haben.



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

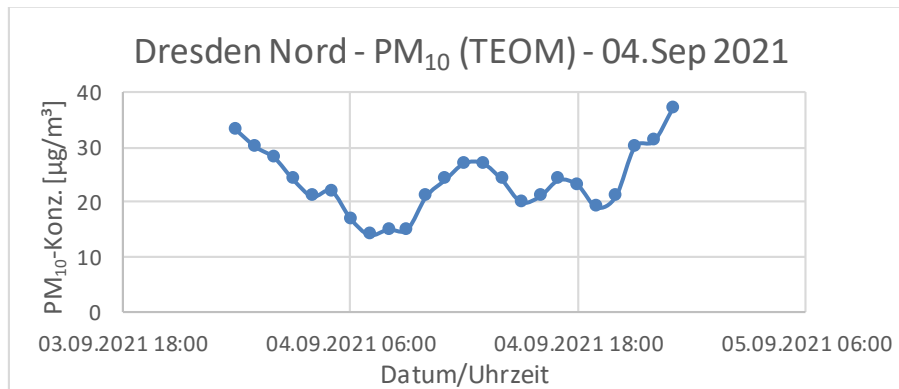
Abbildung 11: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 21.08.2021. Dargestellt sind jeweils die PM10. (links) und BC- (Mitte) Konzentrationen sowie die Temperaturen (rechts) für die durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.

Begünstigt haben könnte den recht deutlichen Anstieg der Konzentrationen die nach Einbruch der Dämmerung sich rasch verringemde Mischungsschichthöhe der atmosphärischen Grenzschicht.

2.2.2.2 Beispiel Messung vom 4. September 2021

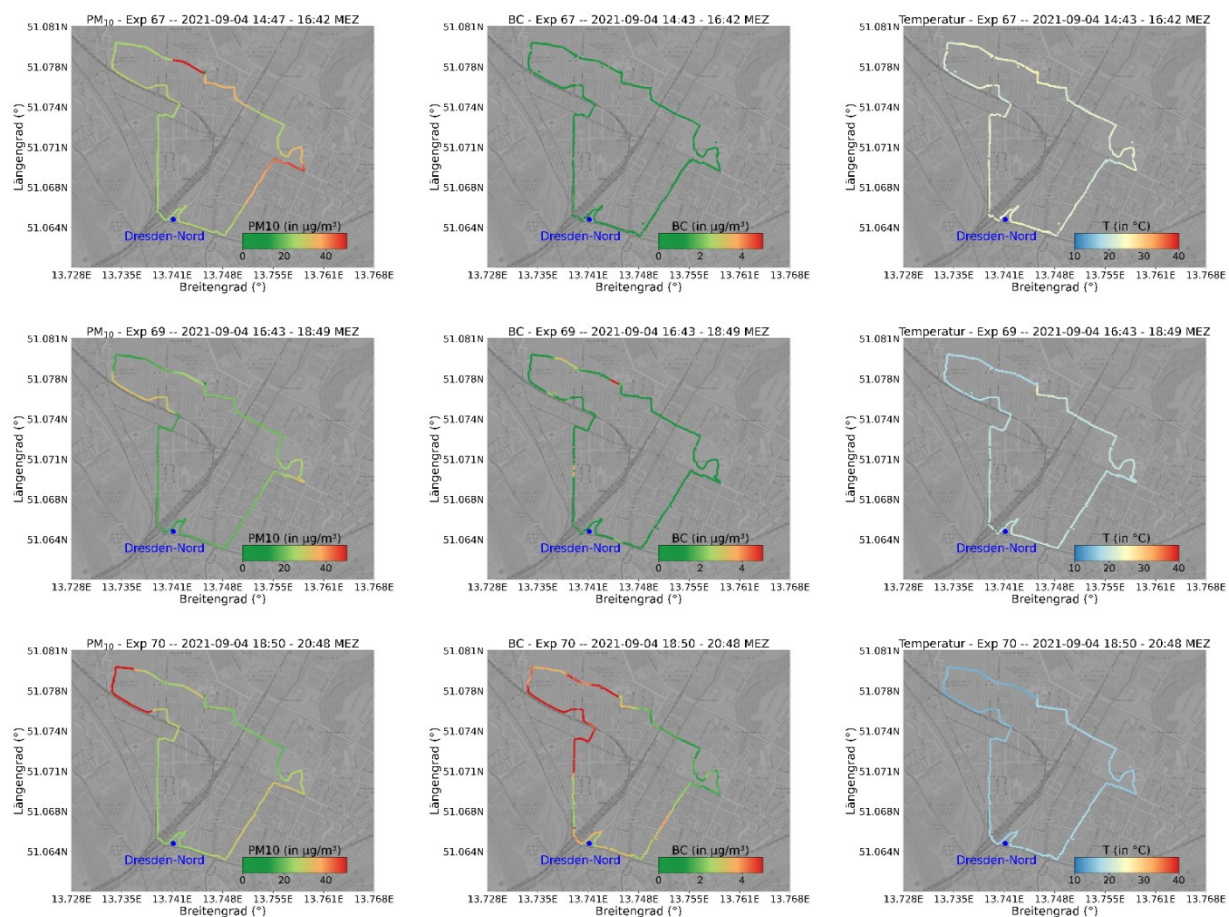
Am 4. September 2021 fand die letzte Messreihe im Rahmen dieser Studie statt. An diesem Tag wurde noch einmal sowohl mit den Messrucksäcken, als auch mit den Filtersammlern gemessen. Speziell dieses Wochenende war durch mehrere, verschiedene große Veranstaltungen charakterisiert. Zum einen fanden an

diesem Wochenende in Dresden die Christopher Street Days statt; zum anderen wurde am 4. September Schulanfang gefeiert. Bei angenehm warmen Temperaturen und sonnigem Wetter nutzten viele Menschen die Gelegenheit zu Aktivitäten im Freien. Dabei waren die Feierlichkeiten nicht auf die Abendstunden begrenzt, sondern bereits am frühen Nachmittag zu beobachten. Vermutlich deshalb konnte auch schon am Nachmittag ein erstes Maximum der gemessenen Konzentrationen erfasst werden (siehe Abbildung 12 und auch Abbildung 20 im Anhang).



Quelle LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 12: Zeitreihe der PM₁₀-Stundenmittelwerte an der Messstation Dresden-Nord.



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 13: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 04.09.2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ (links) und BC- (Mitte) Konzentrationen sowie die Temperaturen für durchgeführte Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.

Auch insgesamt wurden an diesem Tag recht hohe Konzentrationen beobachtet. Es kann davon ausgegangen werden, dass lokale Emissionen bei den Veranstaltungen in Dresden einen deutlichen Anteil haben. Dennoch ist auch an diesem Tag noch ein Abendeffekt ersichtlich (siehe Abbildung 13 mit den Kartendarstellungen der Messergebnisse). Damit ist dieser Tag trotz allem ein gutes Beispiel und ein starkes Indiz dafür, dass Emissionen aus Freizeitaktivitäten unter bestimmten Voraussetzungen vermutlich eine große Rolle spielen können.

2.2.3 Messungen von Levoglucosan

In Abbildung 14 sind die mit den mobilen Filtersammlern ermittelten Konzentrationen des Holzverbrennungsmarkers Levoglucosan gezeigt. Die beiden Sammelstationen sind farblich codiert und die meist zwei-stündigen Proben als Nachmittag (ca. 16-18 Uhr MESZ, 15-17 Uhr MEZ), Abend 1 (ca. 17-19 Uhr MEZ) und Abend 2 (ca. 19-21 Uhr MEZ) gekennzeichnet.

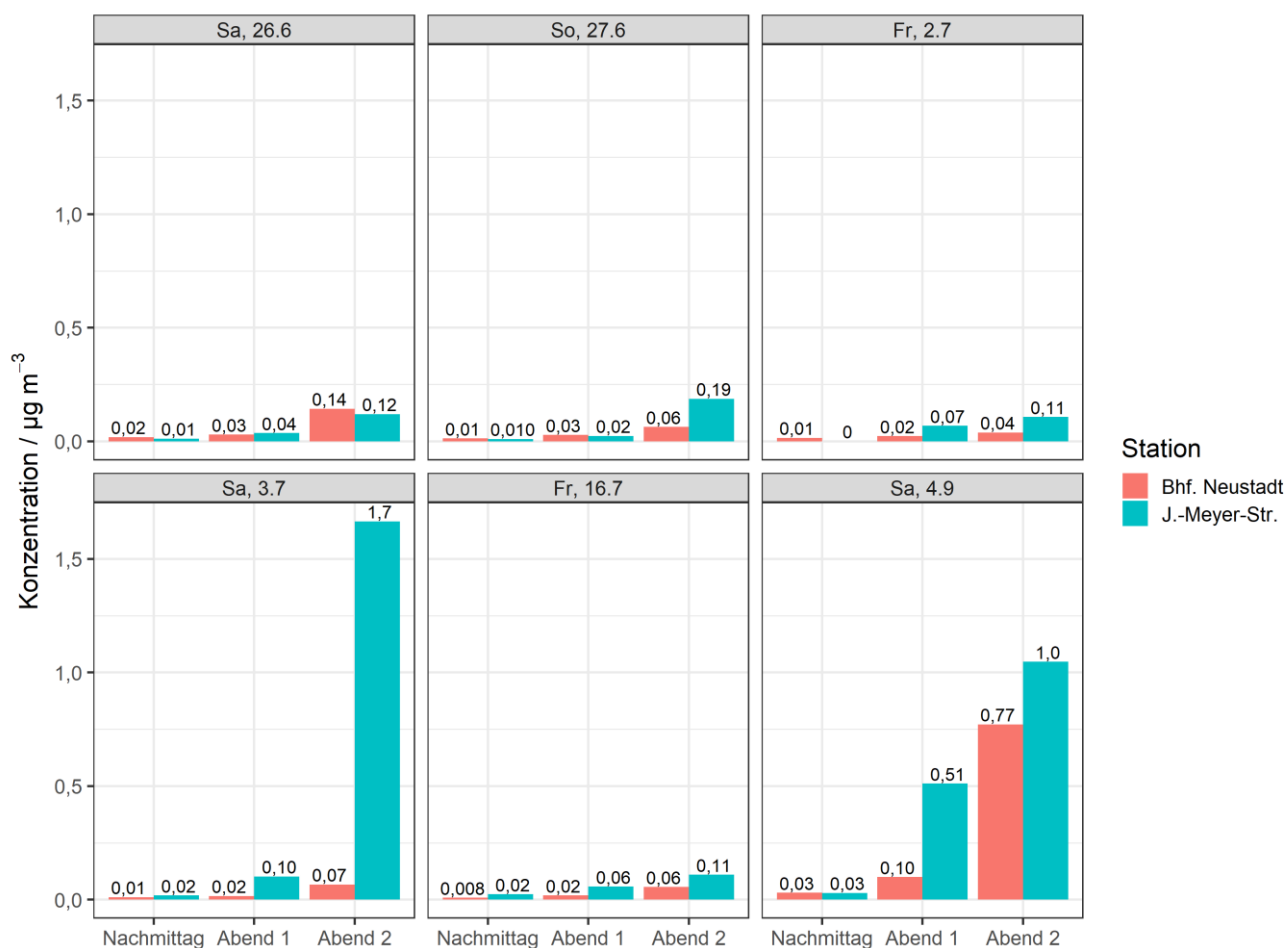


Abbildung 14: Konzentrationen von Levoglucosan an beiden Stationen als 2 h-Mittelwerte am Nachmittag (ca. 15-17 Uhr MEZ), frühen Abend (Abend 1, ca. 17-19 Uhr) und späten Abend (Abend 2, ca. 19-21 Uhr).

Der Tag mit den insgesamt höchsten Levoglucosan-Konzentrationen war Samstag, der 4. September 2021. Hier stiegen die Konzentrationen im Wohngebiet am Rand der Kleingartenanlage (Johann-Meyer-Str.) von $0,03 \mu\text{g m}^{-3}$ am Nachmittag um mehr als eine Größenordnung auf $0,51 \mu\text{g m}^{-3}$ am frühen Abend an und verdoppelten sich zum späten Abend hin nochmals auf dann $1,0 \mu\text{g m}^{-3}$. Gut zu erkennen ist, wie sich auch im städtischen Umfeld des Bahnhofs Neustadt die Konzentrationen v. a. zur Probenahme am späten Abend, der an diesem letzten Messtag schon teilweise in der Nacht lag, sehr deutlich erhöhen auf eine Konzentration von $0,77 \mu\text{g m}^{-3}$, die an den Messtagen in Juni und Juli dort nie auch nur annähernd erreicht wurde. Hier spielt

sicherlich der Effekt einer niedrigen nächtlichen Inversionsschicht eine Rolle, die sich mit Sonnenuntergang – an diesem Tag um 18:43 Uhr MEZ – schnell ausbilden kann. Wie oben beschrieben werden dadurch bodennahe Emissionen in einem sehr viel kleineren Mischungsvolumen verdünnt, was zum schnellen Anstieg der gemessenen Konzentrationen führt. Am Bahnhof Neustadt können hierfür Aktivitäten in der näheren Umgebung relevant sein, die an diesem Tag durch die oben erwähnten Events Christopher Street Day und Schulanfangsfeiern besonders häufig waren. Es erscheint aber auch sehr wahrscheinlich, dass die Rauchemissionen in den Parks und Kleingartenanlagen der Dresdner Neustadt sich unter diesen Bedingungen schnell über das gesamte Stadtviertel ausbreiten, insbesondere für die komplett nach Sonnenuntergang gewonnene späte Abendprobe. Tatsächlich sind in Abbildung 34 entlang fast der gesamten Route mit dem Messrucksack erhöhte bis sehr hohe Konzentrationen von PM₁₀ und BC zu erkennen, was diese These unterstützt.

Die höchste Einzelkonzentration für Levoglucosan wurde mit 1,7 µg m⁻³ am Samstag, dem 3. Juli 2021, in der späten Abendprobe an der Johann-Meyer-Str. gemessen. Mit Sonnenuntergang um 21:22 Uhr könnte auch an diesem Tag für die letzte Probe der Effekt einer niedrigen nächtlichen Inversionsschicht eine gewisse Rolle gespielt haben, allerdings maximal für ca. eine halbe Stunde und damit weniger stark ausgeprägt als am 4. September. Es erscheint daher naheliegend, dass an diesem Tag besonders intensive Grill- und Feuerungsaktivitäten in der Kleingartenanlage stattfanden, die auch im benachbarten Wohngebiet zu sehr stark erhöhten Partikelkonzentrationen durch Holzverbrennung führten, sich aber zumindest zum Zeitpunkt der Messung noch nicht über das gesamte Stadtviertel verteilt hatten. Bestätigt wird dies durch die in Abbildung 28 gezeigten mobilen Messungen von PM₁₀ und BC, die an diesem Abend ebenfalls vor allem im Umfeld der Kleingartenanlage sehr hoch waren.

An den übrigen Messtagen lagen die Konzentrationen des Levoglucosans auch in den Abendstunden sehr viel niedriger als an den beiden bislang diskutierten Tagen. Dennoch zeigte sich auch an diesen Tagen ein leichter Konzentrationsanstieg hin zu den späten Abendstunden und eine Tendenz zu höheren Konzentrationen an der Johann-Meyer-Str. als am Bahnhof Neustadt. Beides ist konsistent mit der Lage der Quellen (Grill- und Feuerungsaktivitäten insbes. in der Kleingartenanlage) und dem zeitlichen Verlauf der Quellstärke (Aktivitäten v. a. am Abend), gekoppelt mit dem meteorologischen Faktor einer niedrigeren Mischungsschichthöhe in den späten Abendstunden.

Die sommerliche Hintergrundkonzentration von Levoglucosan am Nachmittag und quelfern oft auch noch am frühen Abend liegt in Dresden basierend auf den hier vorliegenden Messungen in einem typischen Bereich von 0 - 0,06 µg m⁻³, was praktisch identisch zu den im früheren Projekt in Leipzig-Gohlis erhaltenen Ergebnissen ist (VOIGTLÄNDER et al., 2021). Die Spitzenkonzentration lag in Leipzig mit 2,4 µg m⁻³ in einer quellnahen Nachtprobe etwas höher als in Dresden. Abgesehen von dieser Spitzenkonzentration liegt der Bereich stark erhöhter Levoglucosanwerte vor allem in der späten Abend- bzw. Nachtprobe bei geeigneten Witterungsbedingungen und entsprechender Intensität der Grill- und Feuerungsaktivitäten aber sowohl in Dresden als auch im September in Leipzig bei ca. 0,5 – 1 µg m⁻³. Wie schon in der Leipziger Studie angemerkt, sind dies für die Sommermonate hohe Konzentrationen des Holzverbrennungstracers. Typische Tagesmittelwerte lagen in früheren Untersuchungen in Leipzig bei ca. 0,04 – 0,05 µg m⁻³ und im Maximum bei 0,26 µg m⁻³ (VAN PINXTEREN et al., 2016), wobei aus diesen Tagesmittelwerten keine Rückschlüsse auf höhere Konzentrationen während kürzerer Zeiträume im Tagesgang gezogen werden können.

Wie schon in Leipzig, bestätigen auch die im vorliegenden Projekt in Dresden explorativ durchgeführten Levoglucosan-Messungen mit zweistündiger Zeitauflösung, dass die an Wochenenden im Sommer beobachteten abendlichen Spitzenwerte von PM₁₀ und BC durch die Verbrennung von Holz oder Holzkohle verursacht sind. Wie stark ausgeprägt die Spitzenwerte auftreten, ist zum einen von der Intensität entsprechender Freizeitaktivitäten und zum anderen von den meteorologischen Bedingungen wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung und vor allem der Höhe der Grenzschicht bzw. der Ausbildung einer nächtlichen bodennahen Inversion abhängig.

3 Zusammenfassung

Ähnlich wie in einer vorherigen Untersuchung in Leipzig wurde im Rahmen dieser Studie für ein Stadtgebiet in Dresden der Frage nachgegangen, ob sich die besonders im Sommerhalbjahr an Freitagen und Samstagen abends oft beobachtbaren Anstiege bestimmter Luftschadstoffkonzentrationen auf Emissionen aus Freizeitaktivitäten, insbesondere im Zusammenhang mit der Verbrennung von Holz, zurückführen lassen. Dazu wurden im Zeitraum zwischen Juni und Anfang September 2021 in Dresden Neustadt überwiegend an Freitag- und Samstagabenden mobile Partikelmessungen und mehrere jeweils 2-stündige Filterprobenahmen von Feinstaub durchgeführt. Während der Messperiode wurden mit wenigen Ausnahmen Tage mit sommerlichen Bedingungen ausgewählt, um den Effekt möglichst repräsentativ untersuchen zu können. Lediglich zu Vergleichszwecken wurde im Einzelfall davon abgewichen. Wie zu erwarten, lagen die (Maximal-)Temperaturen an den Messtagen oft im Bereich um 25 °C. Der beschriebene Abendeffekt ließ sich an diesen Tagen auch oft an der Messstation Dresden-Nord an den dort erfassten PM₁₀- und BC-Konzentrationen feststellen.

Ausgemachte Hot-Spots waren meist zum einen das Umfeld der Kleingartenanlagen und zum anderen der Alaunpark sowie die angrenzende, meist gut besuchte Alaunstraße. So konnte bei den in Dresden-Neustadt rund um zahlreiche Kleingartenanlagen und den Alaunpark durchgeführten mobilen Messungen an den Messtagen (Freitag und Samstag) oft ein hohes Aufkommen von Menschen und Freizeitaktivitäten wie Grillen oder Holzfeuerung (Feuerschalen, Gartenfeuer) beobachtet werden. Ein Zusammenhang mit den insbesondere lokal gemessenen erhöhten Partikelkonzentrationen in den Abend-/Nachtstunden ist sehr wahrscheinlich. Demgegenüber war die meist vielbefahrene HansasträÙe nicht als Hot-Spot in den Messungen erkennbar. Die teilweise auch entlang der durch viele Kneipen und Bars belebten Alaunstraße gemessenen erhöhten Konzentrationen von PM₁₀ und BC könnten einerseits durch Ausbreitung im Stadtgebiet, womöglich aber zumindest teilweise auch durch andere Quellen wie (Gas-)Grill- und Kochemissionen oder Zigarettenrauch verursacht sein. Generell kann die Gastronomie in großen Städten als eine potentiell bedeutende Partikelquelle angesehen werden (ROBINSON et al., 2018).

Wie stark ausgeprägt der Effekt ist, hängt zum einen mit der Häufigkeit und Intensität von Grill- und Feuerungsaktivitäten zusammen. Beispielsweise zeigten sich am Samstag, den 4. September bereits am Nachmittag deutlich ansteigende Konzentrationen von PM₁₀, BC und dem Holzverbrennungsmarker Levoglucosan. Der 4. September war durch den Schulanfang, die Dresdner Christopher Street Days sowie auch durch gute Wetterverhältnisse, durch ganztägige Feierlichkeiten und Freizeitaktivitäten im Freien gekennzeichnet.

Zum anderen spielen auch meteorologische Faktoren und hier insbesondere die Höhe der Mischungsschicht in der unteren Atmosphäre eine Rolle. Die turbulente Durchmischung in der atmosphärischen Grenzschicht beeinflusst die Ausbreitung der emittierten Schadstoffe. Bei guter Durchmischung (hohe Mischungsschicht) erfolgt eine starke Verdünnung, was zu niedrigeren Konzentrationen führt. Fehlt dagegen der Austausch, beispielsweise durch die Ausbildung einer Temperaturinversion und damit einem deutlich geringeren Mischungsvolumen, dann können sich die Schadstoffe rasch am Boden anreichern. Antrieb für die turbulente Mischungsenergie, und damit einflussnehmend auf die Mischungsschichthöhe, ist die Intensität der solaren Einstrahlung. Insbesondere kommt es nach Einbruch der Dunkelheit durch terrestrische Ausstrahlung (Ausstrahlung vom Boden) zu einer bodennahen Abkühlung, was die Ausbildung von niedrigen Inversionen begünstigt, die dann die Durchmischung bis in höhere Luftschichten verhindern. Während die durchgeführten mobilen Messungen Anfang September bis in den Beginn der Nacht andauerten, so wurde im Juni das Ende des Messzeitraums jeweils bereits in der Dämmerung erreicht. Es kann daher gefolgert werden, dass Unterschiede in der Stabilität der Schichtung der atmosphärischen Grenzschicht die Ergebnisse der Untersuchungen beeinflusst haben.

Qualitativ stimmen die mittleren Konzentrationen aus den mobilen Messungen gut mit den Beobachtungen an der Station Dresden-Nord überein. Wie erläutert stiegen die gemessenen Konzentrationen der PM₁₀- und BC-Konzentrationen in den Abendstunden, bzw. nach Einbruch der Nacht, teilweise stark an. In den Partikelgrößenverteilungen war ein Anstieg der Partikelanzahl vor allem im Bereich submikroner Partikel sichtbar.

Die Auswertung der Filterproben an den zwei gewählten Standorten am Bahnhof Dresden-Neustadt sowie quellnah in einem Wohngebiet benachbart zu den Kleingartenanlagen der Leipziger-Vorstadt zeigten, dass sich die erhöhten Belastungen mit PM₁₀ und BC eindeutig auf Emissionen aus der Verbrennung von Holz und anderer Biomasse ergaben. Die Konzentrationen der chemischen Markerverbindung Levoglucosan lagen vor allem in den jeweils letzten Stunden der Messungen am späten Abend teilweise über typischen sommerlichen Hintergrundwerten dieses Partikelinhaltsstoffes. Insbesondere in der Probe nach Sonnenuntergang am 4. September wurden an beiden Stationen sehr hohe Konzentrationen gemessen, was nahelegt, dass sich Holzverbrennungsrauch aus Park- und Kleingartenanlagen unter bestimmten Bedingungen über das ganze Stadtviertel ausbreitet. Auch vor Sonnenuntergang können bei entsprechender Intensität der Aktivitäten sehr hohe Levoglucosankonzentrationen zumindest in quellnah gelegenen Wohngebieten gemessen werden, wie es z. B. am 3. Juli der Fall war.

Mit den Ergebnissen dieser Studie konnte ein weiterer Beitrag zur Charakterisierung des Freitag-/ Samstagabendeffektes geleistet werden. Wie bereits die Untersuchungen in Leipzig stützen die Beobachtungen grundsätzlich die These, dass die beobachteten Anstiege partikulärer Luftschadstoffkonzentrationen in den Abendstunden durch Emissionen von Freizeitaktivitäten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Holz oder Holzkohle verursacht werden. So wurden starke Anstiege der Konzentrationen zum einen zunächst im unmittelbaren Umfeld der Kleingartenanlagen und im Bereich des Alaunparks gemessen, also dort, wo auch Grill- und Feuerungsaktivitäten gesichtet wurden. Zum anderen stiegen die Konzentrationen am Abend besonders auch im Bereich gastronomischer Einrichtungen in der Alaunstraße stark an. Kaum zu beobachten war im Gegensatz dazu ein Anstieg der Konzentrationen an der ebenfalls begangenen verkehrsreichen, großen Hansastraße. Allerdings ist wie bereits in Leipzig festzuhalten, dass die Anzahl der Messungen sehr begrenzt war. Da außerdem die Bandbreite (Variabilität) der gemessenen Konzentrationen recht groß ist, ist eine detailliertere statistische Auswertung der Ergebnisse nicht sinnvoll möglich. Die Untersuchungen stellen daher explorative Fallstudien dar, aus denen der Zusammenhang zwischen Grill- und Feuerungsaktivitäten und temporär teilweise sehr stark erhöhter Belastung der Luft mit Feinstaub und Ruß jedoch deutlich sichtbar wird.

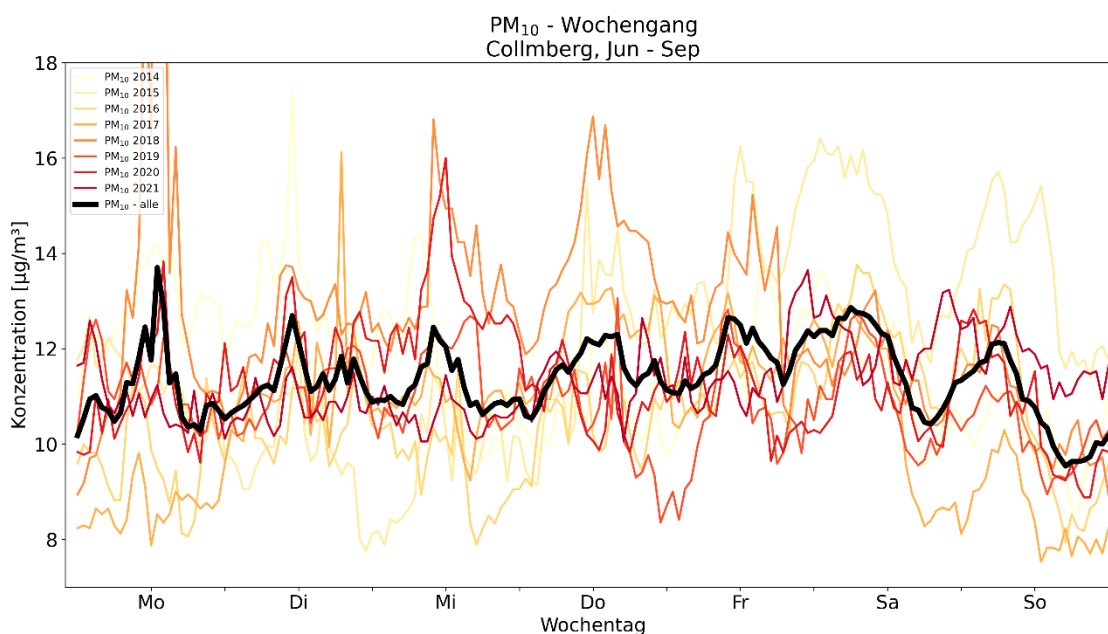
Literaturverzeichnis

- ALAS, H.D., MÜLLER, T., BIRMILI, W., KECORIUS, S., CAMBALIZA M. O., SIMPAS, J. B., CAYETANO, M., WEINHOLD, K., VALLAR, E., GALVEZ, M. C., WIEDENSOHLER, A. (2018): Spatial Characterization of Black Carbon Mass Concentration in the Atmosphere of a Southeast Asian Megacity: An Air Quality Case Study for Metro Manila. Philippines, *Aerosol Air Qual Res*, 18, 2301-2317, doi: 10.4209/aagr.2017.08.0281.
- DRINOVEC, L., MÖCNIK, G., ZOTTER, P., PRÉVÔT, A.S.H., RUCKSTUHL, C., COZ, E., RUPAKHETI, M., SCIARE, J., MÜLLER, T., WIEDENSOHLER, A., HANSEN, A.D.A. (2014): The "dual-spot" Aethalometer: An improved measurement of aerosol black carbon with real-time loading compensation, *Atmos. Mas. Techn.*, 7, 10179-10220, doi: 10.5194/amtd-7-10179-2014.
- DWD (2021): Archiv der Pressemitteilungen, www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/pressemitteilungen_archiv_2021_node.html
(abgerufen am 6.11.2021)
- LÖSCHAU G., WIEDENSOHLER, A., BIRMILI, W., RASCH, F., SPINDLER, G., MÜLLER, K., HAUSMANN, U.-W., WOLF, U., SOMMER, W., ANHALT, M., DIETZ, V., HERRMANN, H., BÖHME, U., KATH, H.-G., KÜHNE, H. (2017): Messtechnische Begleitung der Einführung der Umweltzone Leipzig - Abschlussbericht, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- MOTHES, F., VAN PINXTEREN, D., SPINDLER, G., LÖSCHAU G., HAUSMANN, A., HERRMANN, H. (2020): Partikuläre Emissionen aus der Holzverbrennung und ihr Beitrag zu PM, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 80, 305-317
- RASCH, F., BIRMILI, W., WEINHOLD, K., NORDMANN, S., SONNTAG, A., SPINDLER, G., HERRMANN, H., WIEDENSOHLER, A., LÖSCHAU G. (2013): Signifikante Minderung von Ruß und der Anzahl ultrafeiner Partikel in der Außenluft als Folge der Umweltzone in Leipzig. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 11-12, 483-489.
- ROBINSON, E.S., GU, P., YE, Q., LI, H.Z., SHAH, R.U., APTE, J.S., ROBINSON, A.L., PRESTO A.A. (2018): Restaurant Impacts on Outdoor Air Quality: Elevated Organic Aerosol Mass from Restaurant Cooking with Neighborhood-Scale Plume Extents, *Environ. Sci. Technol.* 2018 52 (16), 9285-9294, doi: 10.1021/acs.est.8b02654.
- UMWELTBUNDESAMT (2020): Feinstaub Emissionen von Kleinf Feuerungsanlagen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/emissionsminderung-bei-kleinfuerungsanlagen>
(abgerufen am 6.11.2021).
- VAN PINXTEREN, D., SPINDLER, MÜLLER, K. FOMBA, K.W., IINUMA, Y., RASCH, F., WEINHOLD, K., BIRMILI, W., WIDENSOHLER. A, HERRMANN, H. (2016): Aerosole zur Indikation der Luftqualität im Raum Leipzig, Schriftenreihe LfULG, Heft 7/2016, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- VAN PINXTEREN, D., MOTHES, F., SPINDLER, G., FOMBA, K.W., CUESTA, A., TUCH, T., MÜLLER, T., WIEDENSOHLER, A., HERRMANN, H. (2020): Zusatzbelastung aus Holzheizung, Schriftenreihe LfULG, Heft 12/2020, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- VOIGTLÄNDER, J., VAN PINXTEREN, D., WIEDENSOHLER, A., HERRMANN, H. (2021): Mobile Partikelmessungen in Leipzig im September 2020, Schriftenreihe LfULG, Heft 03/2021, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG).
- VOIGTLÄNDER, J., VAN PINXTEREN, D., WIEDENSOHLER, A., HERRMANN, H. (2021b): Mobile Messungen zur Charakterisierung des Freitag/Samstagabendeffektes in Leipzig und Dresden, 6. Statuskolloquium »Luftqualität in Sachsen«, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), www.luft.sachsen.de/download/luft/JensVoigtländer_TROPOS_MobileMessungen.pdf

Anhang

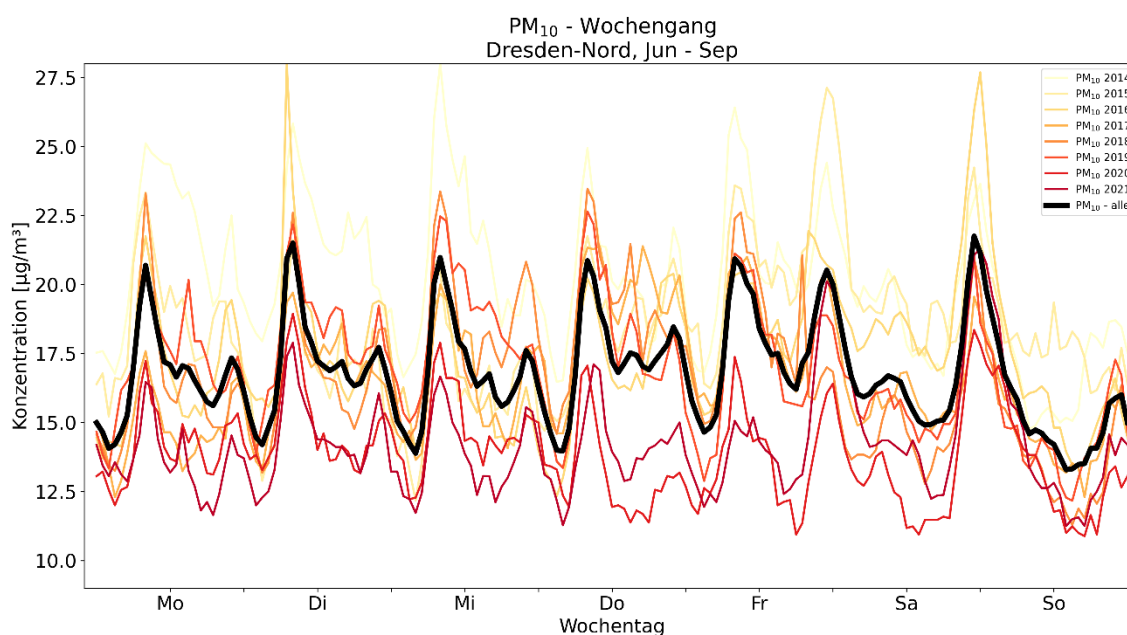
A 1 Anhang

A 1.1 Freitag-/Samstagabendeffekt



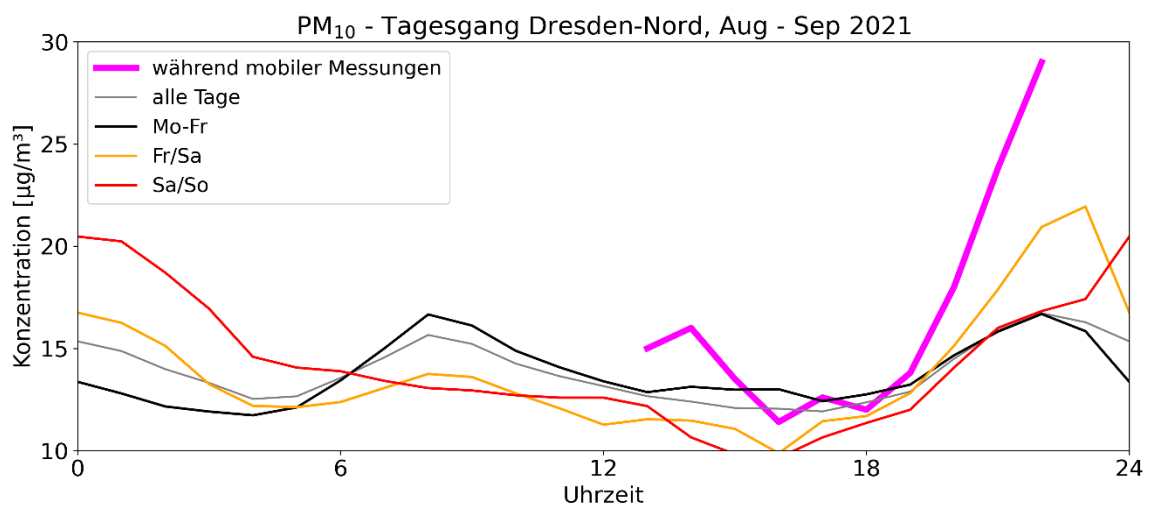
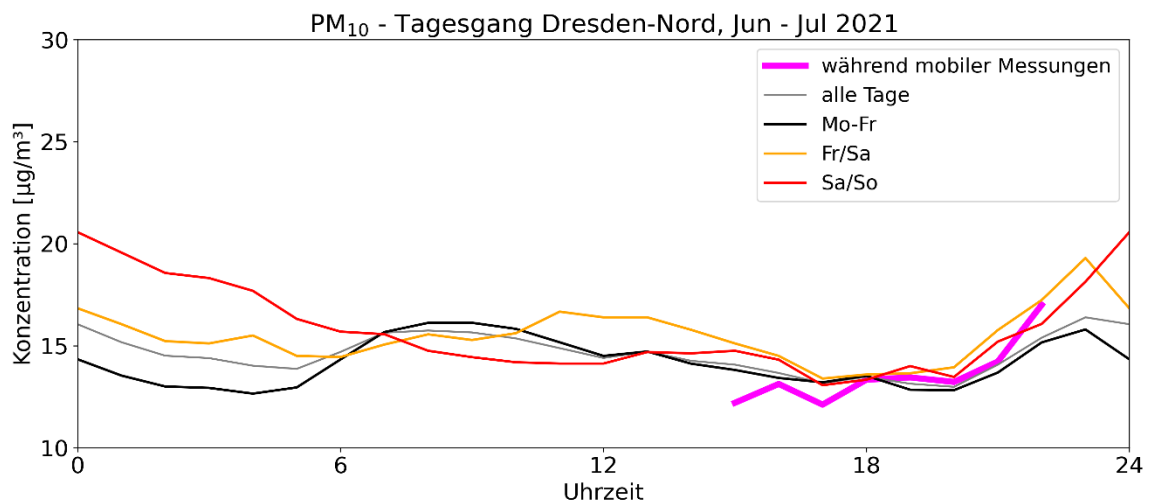
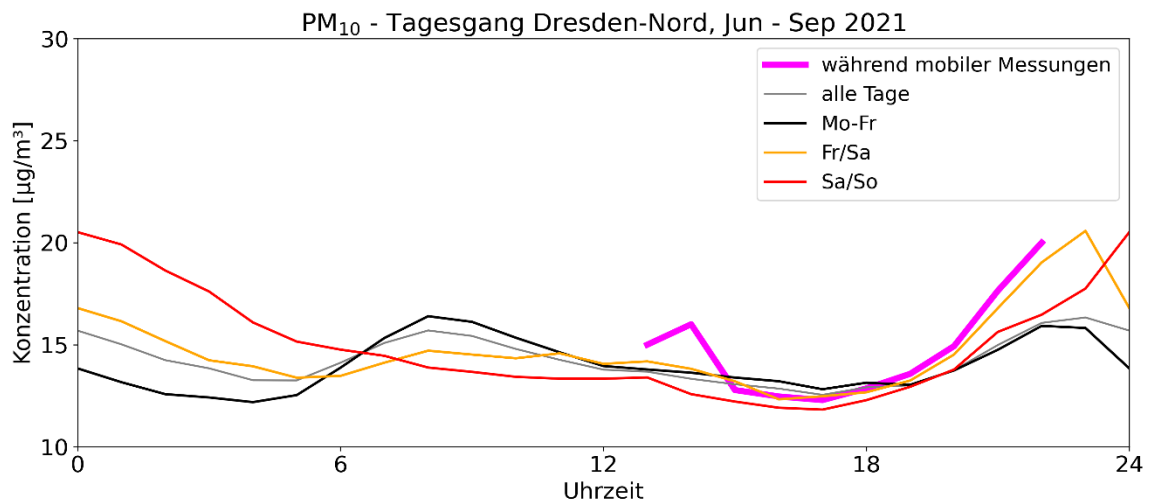
Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

Abbildung 15: Mittlerer Wochengang der PM₁₀-Konzentration im Sommer an der Messstation Collmberg, gemessen über mehrere Jahre jeweils Jun-Sep



Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

Abbildung 16: Mittlerer Wochengang der PM₁₀-Konzentration im Sommer an der Messstation DD-Nord, gemessen über mehrere Jahre jeweils Jun-Sep. Die Messungen werden mit einem TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) durchgeführt. Die Abbildung dient zur Visualisierung des Freitag-/Samstagabend-Effektes.



Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

Abbildung 17: Mittlerer Tagesgang der PM₁₀-Konzentration im Sommer 2021 an DD-Nord. Die Abbildung wurde aus den stundengemittelten TEOM-Messdaten erstellt. Zusätzlich zu den Tagesgängen über den jeweiligen Gesamtzeitraum ist auch der mittlere Verlauf nur während der mobilen Messungen dargestellt (dicke magentafarbene Linie).

A 1.2 Übersicht über die einzelnen Messungen

In der folgenden Tabelle sind die Daten und Zeiten der einzelnen Messungen aufgelistet (alle Zeitangaben in MEZ, d. h. UTC + 1h bzw. MESZ - 1h). Es wurden über eine Periode von mehr als drei Monaten an insgesamt 14 Tagen mobile Messungen durchgeführt. An sechs Tagen fanden parallel dazu Filterbeprobungen statt.

Tabelle A 1: Übersicht über die einzelnen Messungen

Laufende Nummer	Datum	Uhrzeit (MEZ)	Mobile Messung	Filter-sammler	Bemerkungen
1-1 EXP13	Do, 10.06.2021	13:46 - 14:35	Ja	Nein	Erkundungsmessungen
1-2 EXP14	Do, 10.06.2021	14:42 - 17:50	Ja	Nein	
1-3 EXP15	Do, 10.06.2021	17:50 - 19:03	Ja	Nein	
1-4 EXP16	Do, 10.06.2021	19:03 - 20:40	Ja	Nein	
2-1 EXP18	Sa, 12.06.2021	15:25 - 17:13	Ja	Nein	technische Probleme OPS-3330
2-2 EXP19	Sa, 12.06.2021	17:13 - 18:46	Ja	Nein	
2-3 EXP20	Sa, 12.06.2021	18:46 - 20:19	Ja	Nein	
2-4 EXP21	Sa, 12.06.2021	20:19 - 21:59	Ja	Nein	
3-1 EXP22	So, 13.06.2021	15:15 - 16:18	Ja	Nein	per Fahrrad, kühl, windig, bewölkt
3-2 EXP23	So, 13.06.2021	16:19 - 17:09	Ja	Nein	
3-3 EXP24	So, 13.06.2021	17:10 - 17:50	Ja	Nein	
3-4 EXP25	So, 13.06.2021	17:51 - 18:30	Ja	Nein	
3-5 EXP26	So, 13.06.2021	18:31 - 19:03	Ja	Nein	
3-6 EXP27	So, 13.06.2021	19:04 - 19:21	Ja	Nein	
3-7 EXP28	So, 13.06.2021	19:22 - 20:28	Ja	Nein	
3-8 EXP29	So, 13.06.2021	20:29 - 21:11	Ja	Nein	
4-1 EXP31	Fr, 18.06.2021	16:10 - 17:11	Ja	Nein	später Start durch Stau, warm, sonnig
4-2 EXP32	Fr, 18.06.2021	17:11 - 19:27	Ja	Nein	
4-3 EXP33	Fr, 18.06.2021	19:27 - 21:04	Ja	Nein	

Tabelle A 2: Übersicht über die einzelnen Messungen

Laufende Nummer	Datum	Uhrzeit (MEZ)	Mobile Messung	Filtersammler	Bemerkungen
5-1 EXP36	Sa, 26.06.2021	14:54 - 16:34	Ja	Ja	warm, sonnig, Parkplatz Start geändert
5-2 EXP38	Sa, 26.06.2021	17:08 - 18:42	Ja	Ja	1. Filtermessung an diesem Tag
5-3 EXP40	Sa, 26.06.2021	19:02 - 21:28	Ja	Ja	
6-1 EXP42	So 27.06.2021	15:08 - 17:11	Ja	Ja	sehr warm, mit Filtersammler
6-2 EXP43	So 27.06.2021	17:11 - 19:16	Ja	Ja	
6-3 EXP44	So 27.06.2021	19:16 - 21:21	Ja	Ja	
7-1 EXP45	Fr, 02.07.2021	15:54 - 17:35	Ja	Ja	windig, bewölkt, mit Filtersammler
7-2 EXP46	Fr, 02.07.2021	17:35 - 19:36	Ja	Ja	
7-3 EXP47	Fr, 02.07.2021	19:36 - 21:29	Ja	Ja	
8-1 EXP48	Sa, 03.07.2021	14:52 - 17:08	Ja	Ja	warm, mit Filtersammler
8-2 EXP49	Sa, 03.07.2021	17:09 - 19:03	Ja	Ja	
8-3 EXP50	Sa, 03.07.2021	19:03 - 21:13	Ja	Ja	
9-1 EXP51	Fr, 16.07.2021	15:36 - 17:40	Ja	Ja	schwül, "Gewitterstimmung"
9-2 EXP52	Fr, 16.07.2021	17:40 - 19:42	Ja	Ja	Mit Filtersammler
9-3 EXP53	Fr, 16.07.2021	19:42 - 21:30	Ja	Ja	Gewitter nach Beendigung der Messungen
10-1 EXP54	Fr, 20.08.2021	15:35 - 17:37	Ja	Nein	windig, bewölkt, recht kühl (knapp >20°C)
10-2 EXP55	Fr, 20.08.2021	17:37 - 19:24	Ja	Nein	
10-3 EXP56	Fr, 20.08.2021	19:24 - 21:05	Ja	Nein	
11-1 EXP57	Sa, 21.08.2021	14:58 - 16:18	Ja	Nein	bewölkt, warm, windig
11-2 EXP58	Sa, 21.08.2021	16:18 - 18:02	Ja	Nein	viel Aktivität in Parks und Gärten
11-3 EXP59	Sa, 21.08.2021	18:03 - 19:39	Ja	Nein	
11-4 EXP60	Sa, 21.08.2021	19:39 - 21:15	Ja	Nein	
12-1 EXP61	Fr, 27.08.2021	16:48 - 18:54	Ja	Nein	Regen vor Beginn der Messungen, kalt
12-2 EXP62	Fr, 27.08.2021	18:54 - 21:04	Ja	Nein	Rückseite Kaltfront, Vergleichstag
13-1 EXP63	Fr, 03.09.2021	13:06 - 14:31	Ja	Nein	warm, sonnig, zeitiger Start

Laufende Nummer	Datum	Uhrzeit (MEZ)	Mobile Messung	Filtersammler	Bemerkungen
13-2 EXP64	Fr, 03.09.2021	14:31 - 18:24	Ja	Nein	Christopher Street Days, viele Menschen
13-3 EXP65	Fr, 03.09.2021	18:24 - 19:57	Ja	Nein	
13-4 EXP66	Fr, 03.09.2021	19:57 - 21:40	Ja	Nein	
14-1 EXP67	Sa, 04.09.2021	14:43 - 16:43	Ja	Ja	warm
14-2 EXP69	Sa, 04.09.2021	16:43 - 18:49	Ja	Ja	Christopher Street Days, Schulanfang
14-3 EXP70	Sa, 04.09.2021	18:50 - 20:48	Ja	Ja	

A 1.3 Messergebnisse der mobilen Messungen - totale Massenkonzentrationen

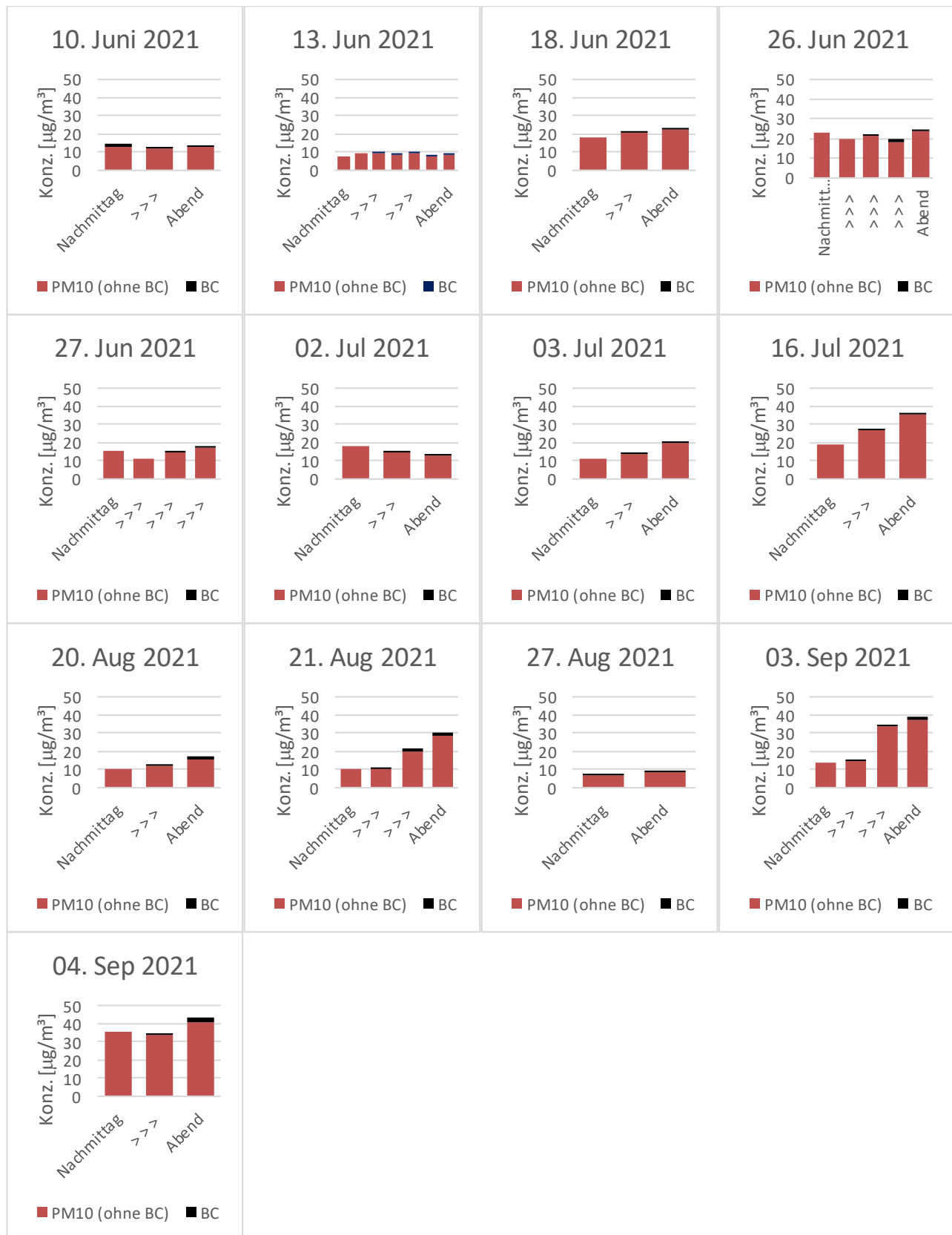


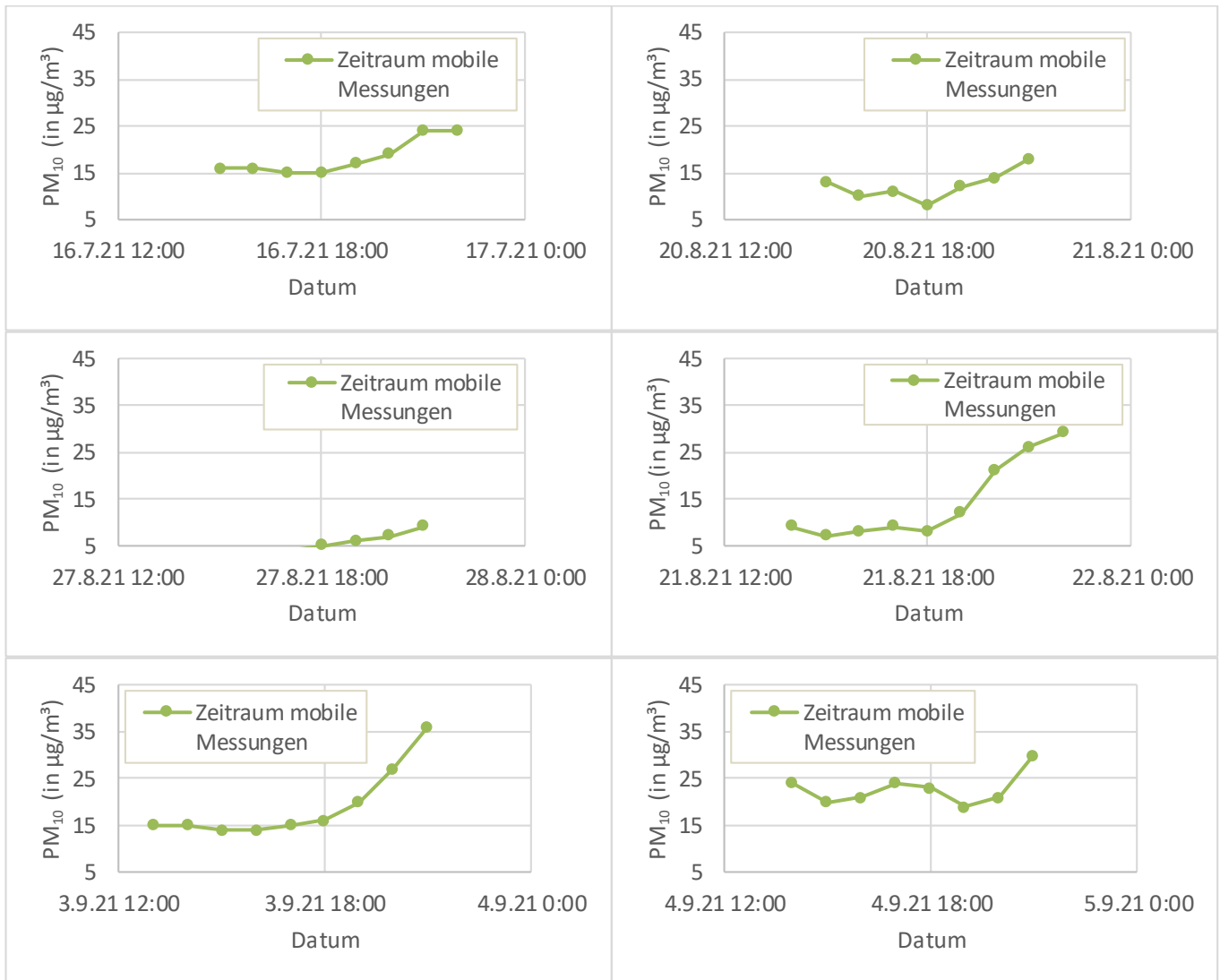
Abbildung 18: Ergebnisse der mobilen Messungen für PM₁₀ und BC, jeweils gemittelt über einen kompletten Messrundgang. Die Höhe der Balken entspricht der Gesamtkonzentration an PM₁₀, der BC-Anteil davon ist jeweils schwarz eingefärbt (BC ist in PM₁₀ enthalten).

A 1.4 Messergebnisse - Tagesgang an Dresden-Nord während der mobilen Messungen



Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

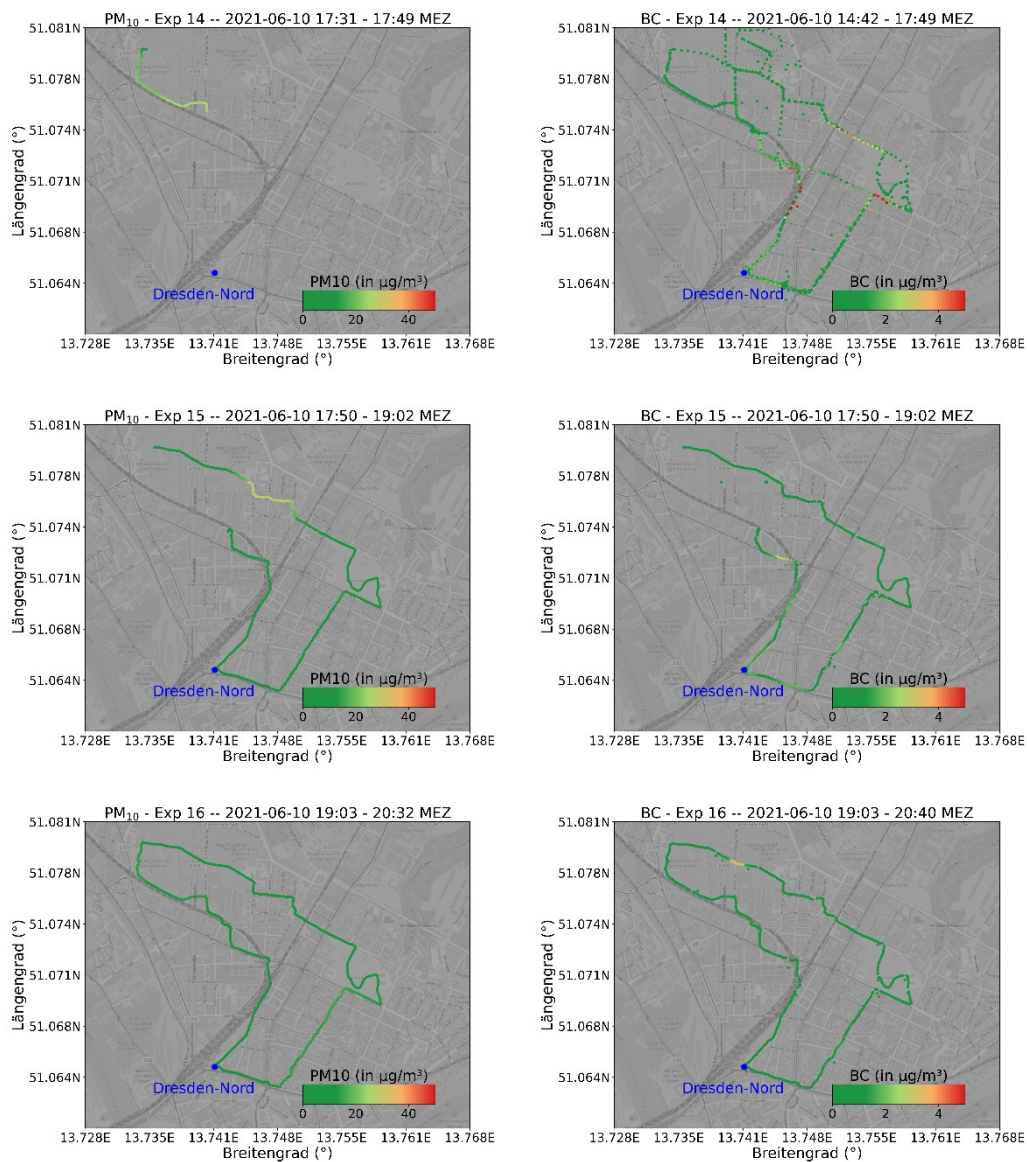
Abbildung 19: Stundenwerte PM₁₀ an der Messtation Dresden-Nord während der mobilen Messungen.



Quelle Daten: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/Recherche.aspx>

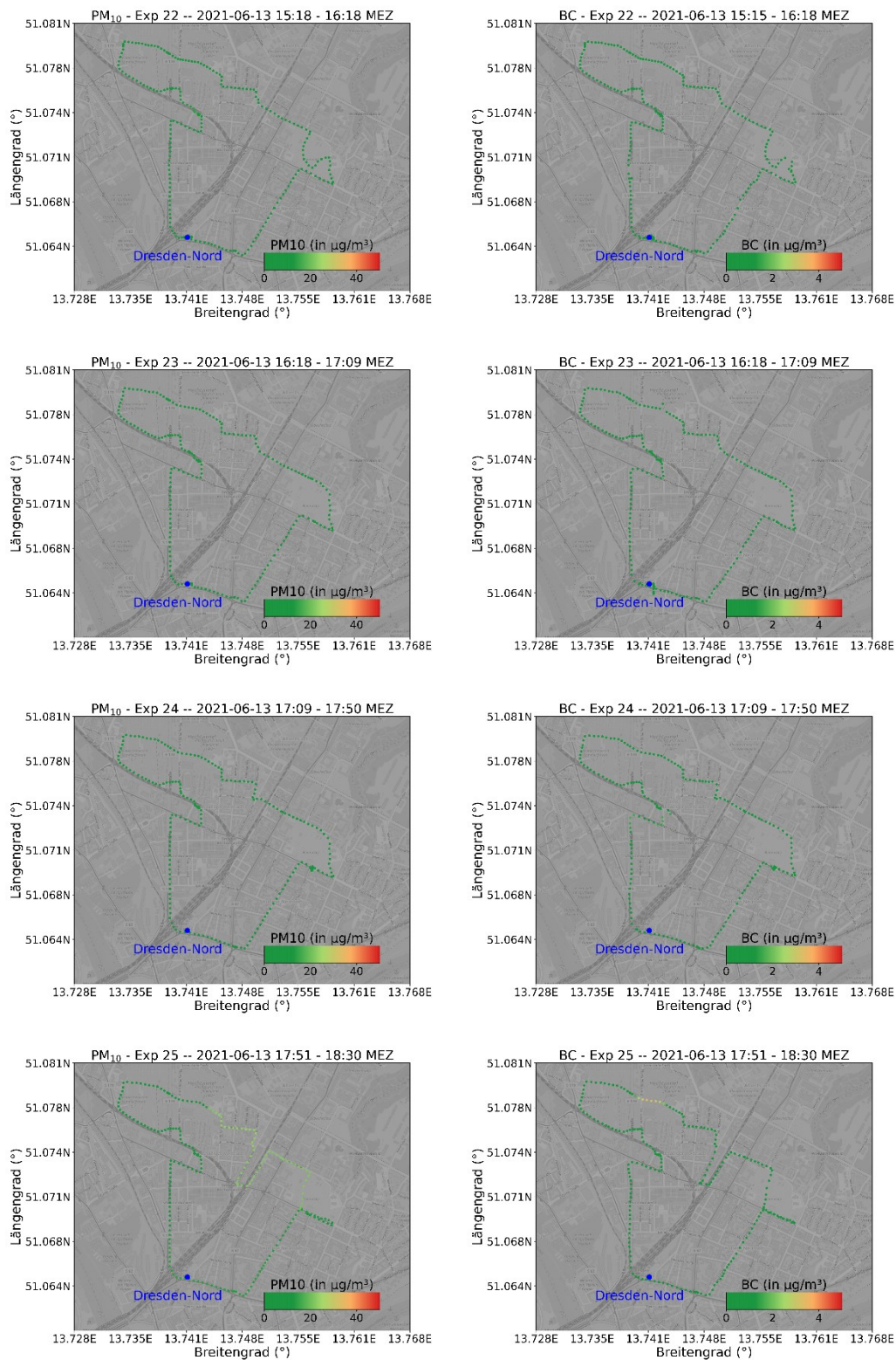
Abbildung 20: Stundenwerte PM₁₀ an der Messstation Dresden-Nord während der mobilen Messungen.

A 1.5 Messergebnisse - Kartendarstellungen der Messrundgänge



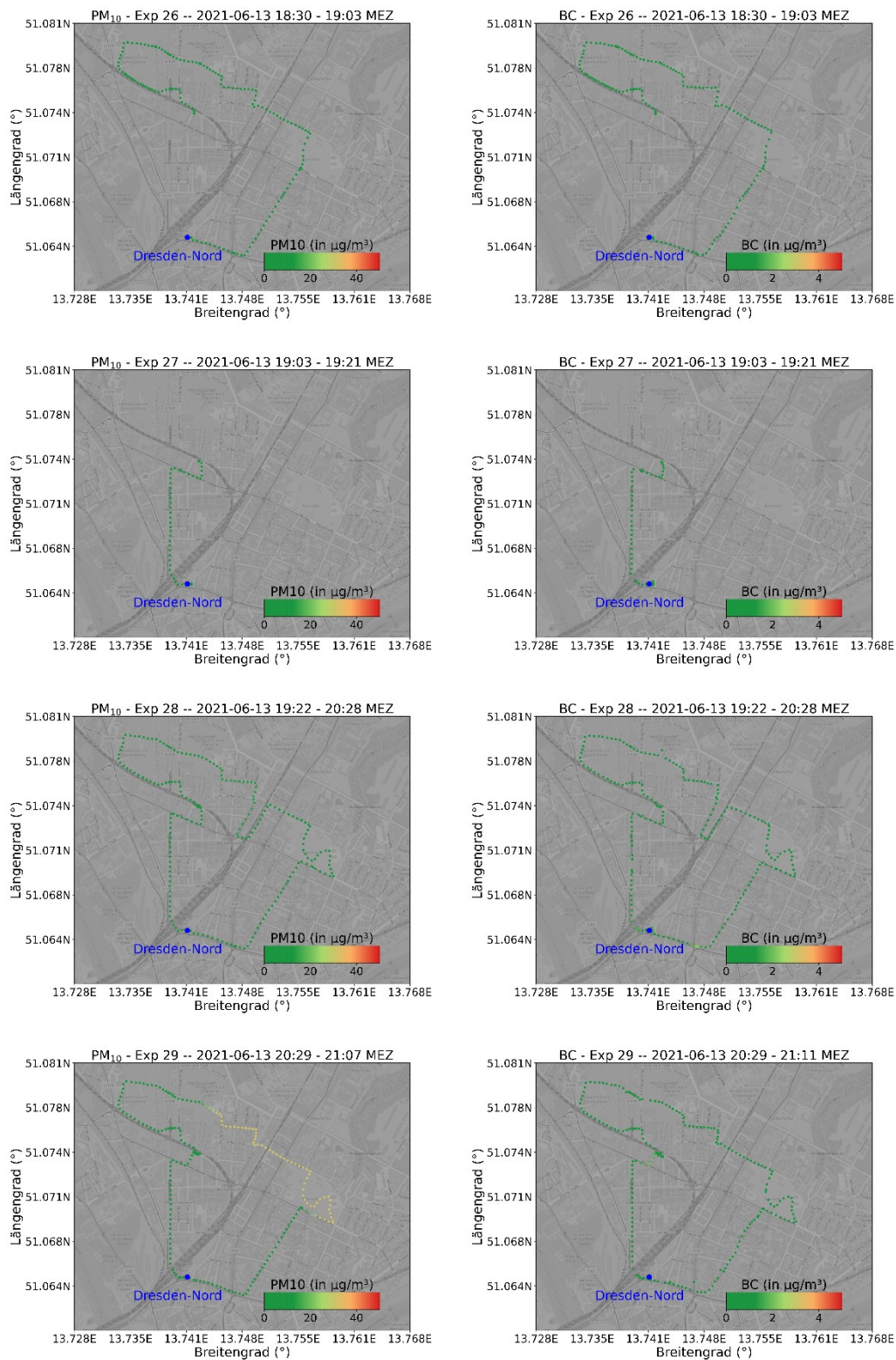
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 21: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Donnerstag, den 10. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ (links) und BC (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



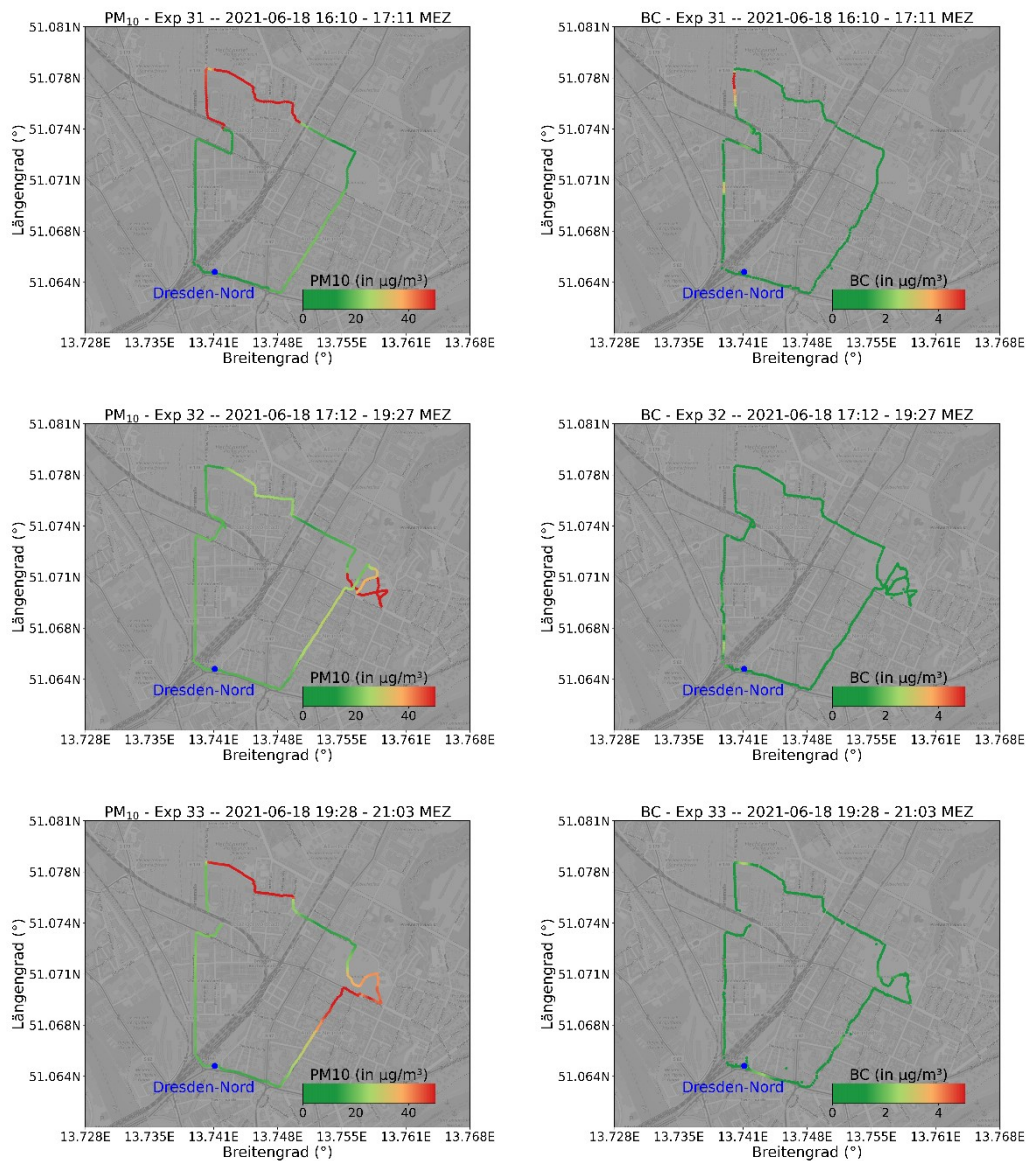
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 22: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ (links) und BC (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



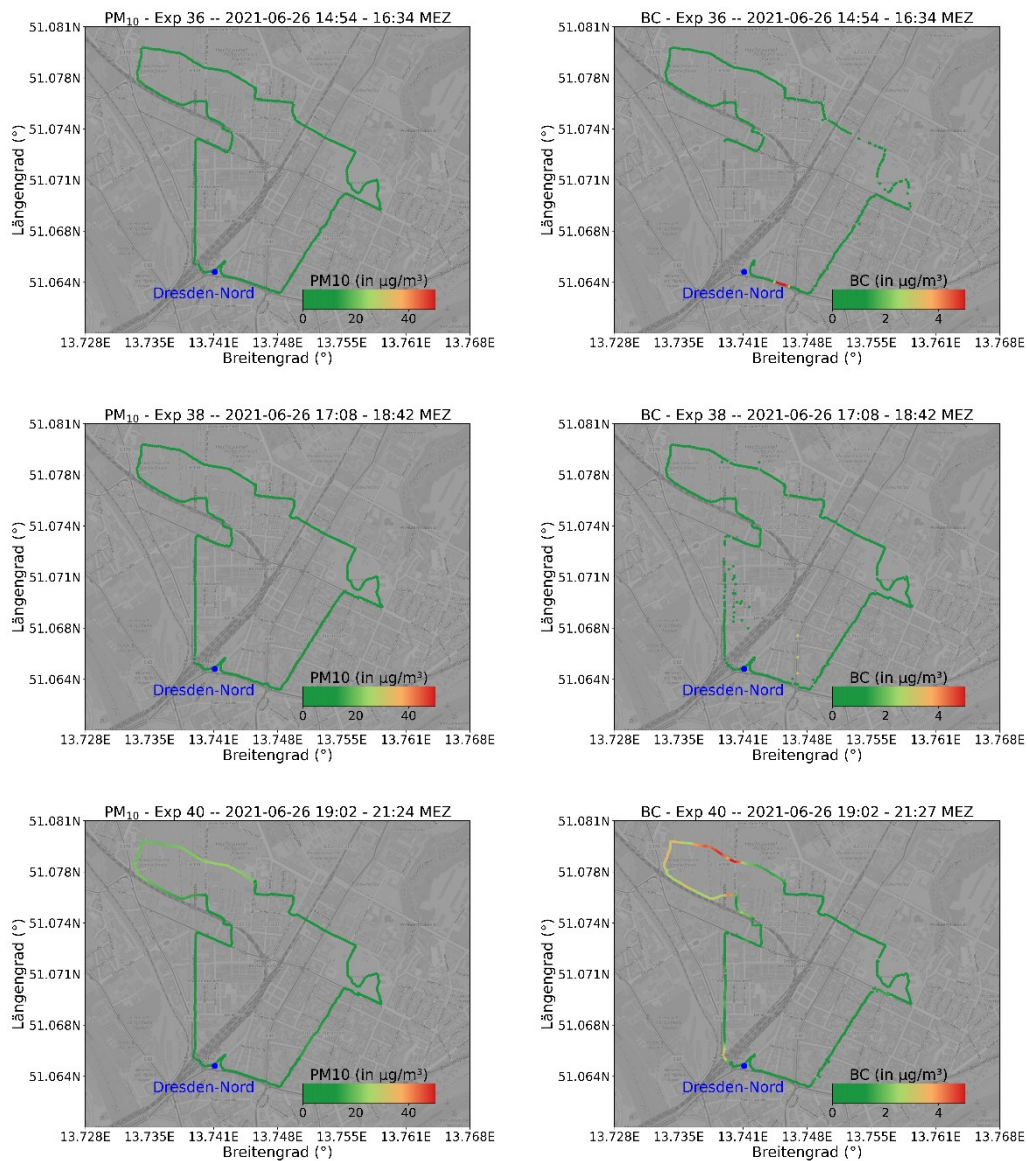
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 23: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ (links) und BC (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



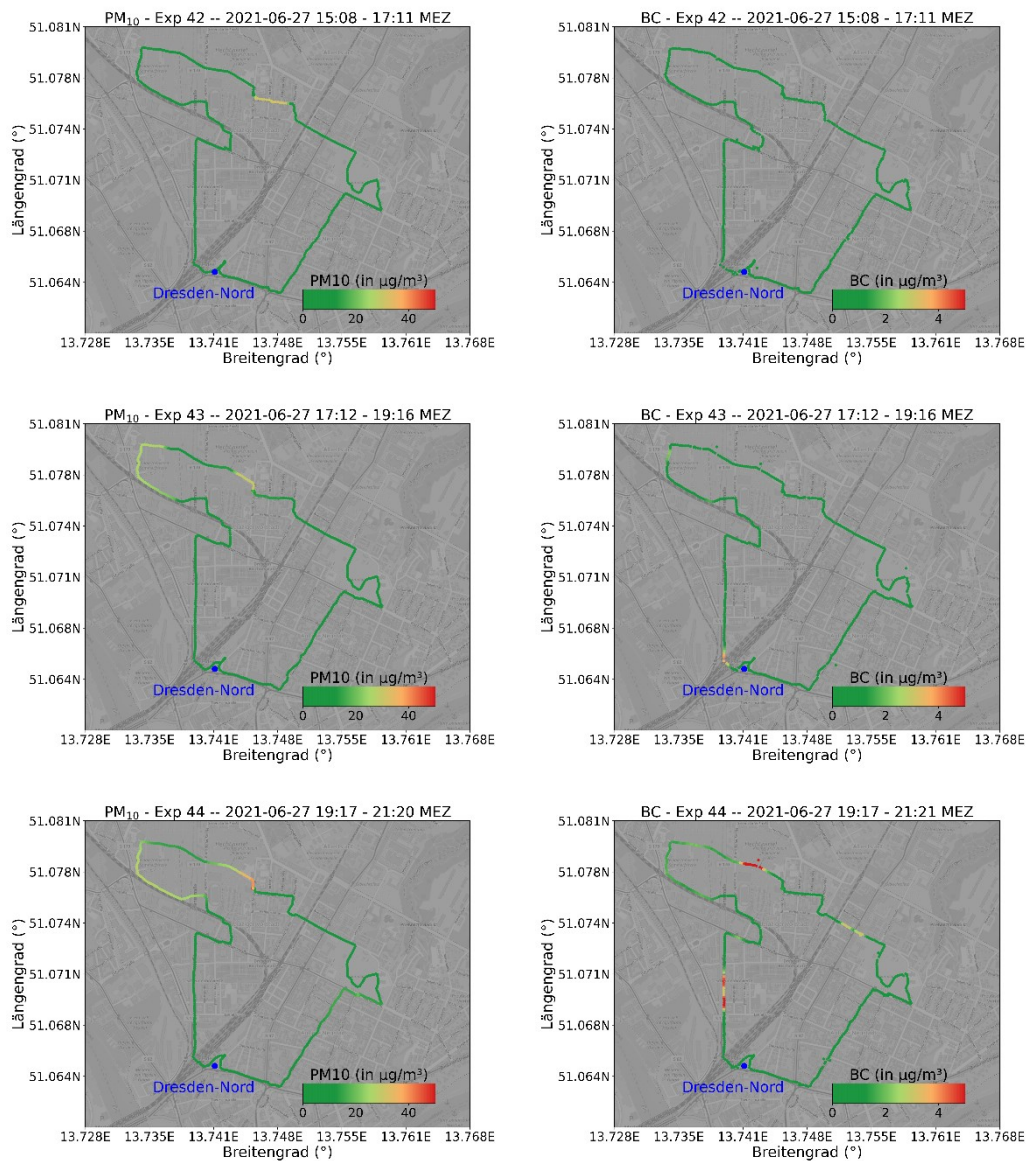
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 24: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 18. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀- (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



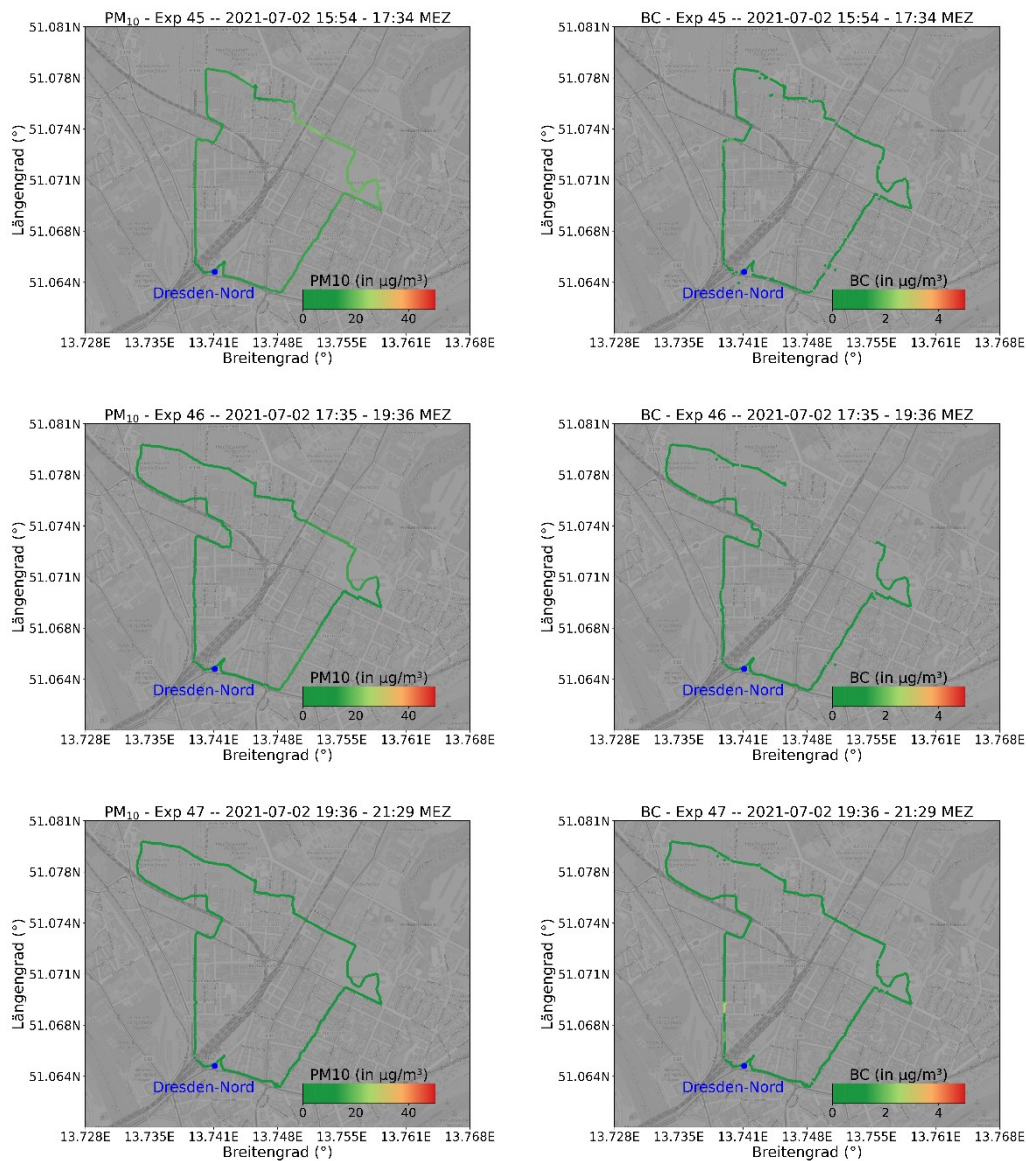
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 25: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 26. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀- (links) und BC (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



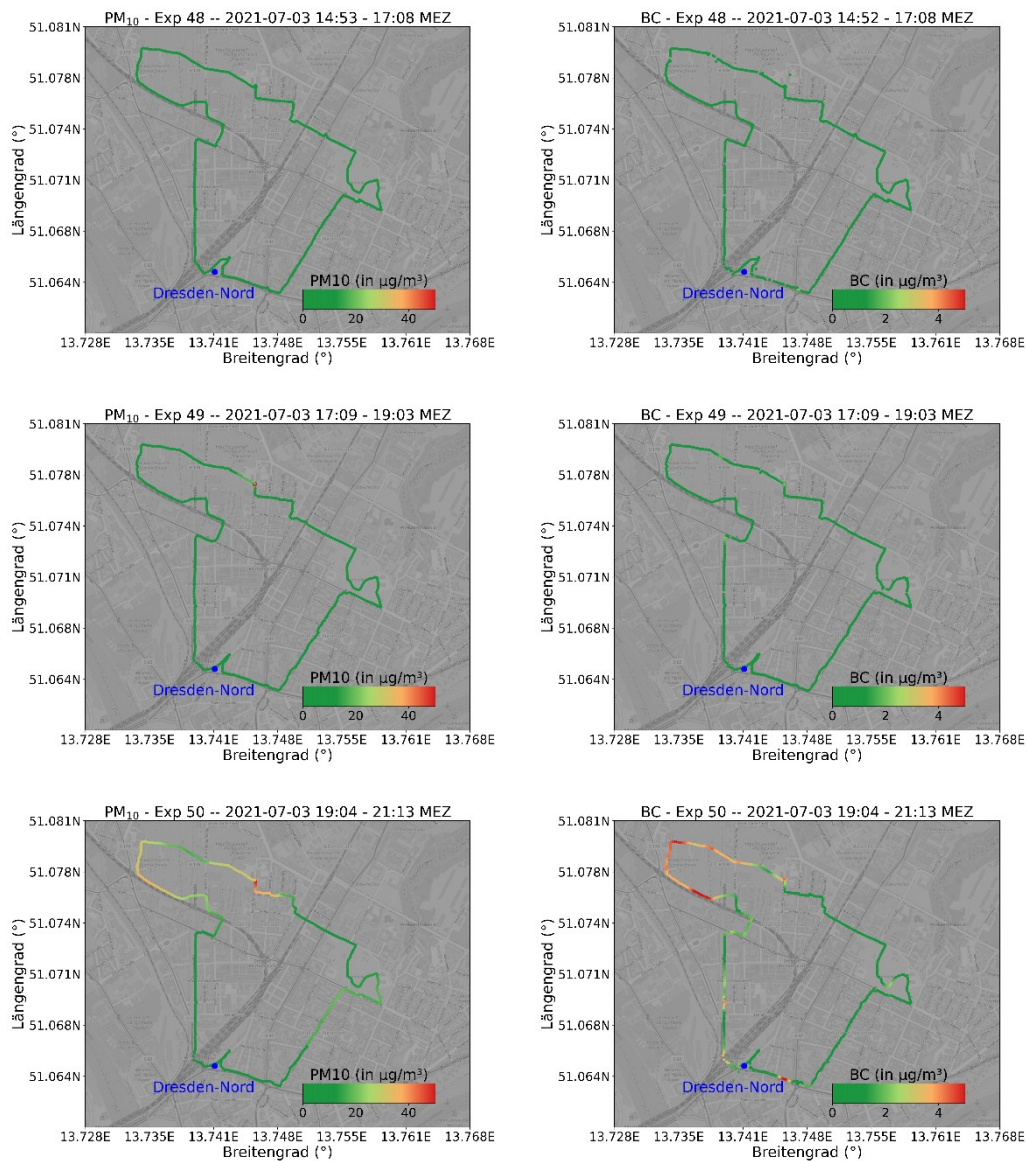
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 26: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 27. Juni 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀- (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



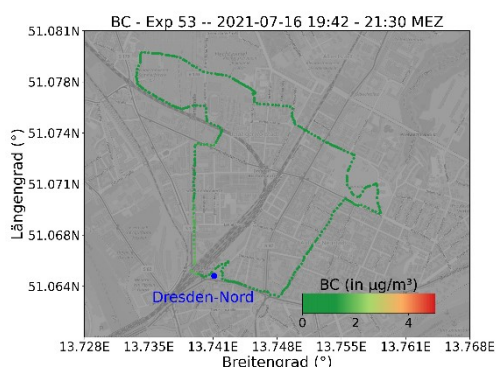
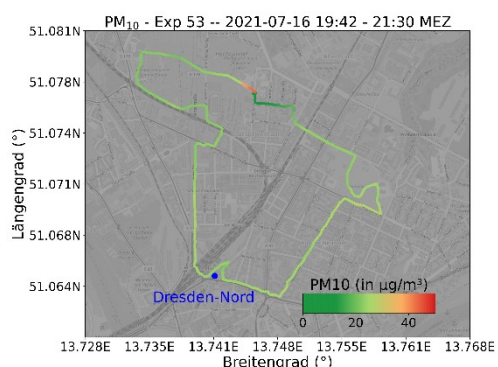
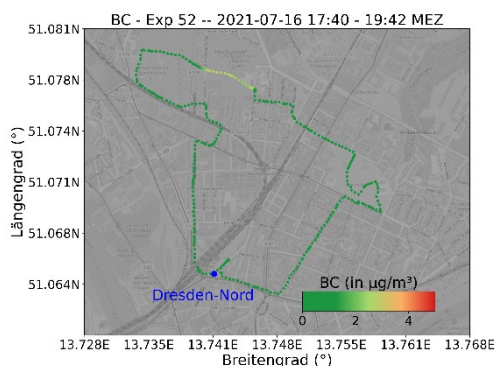
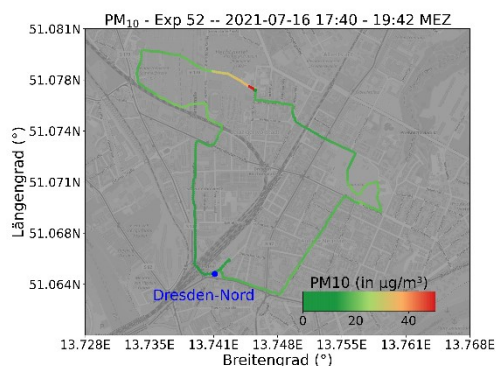
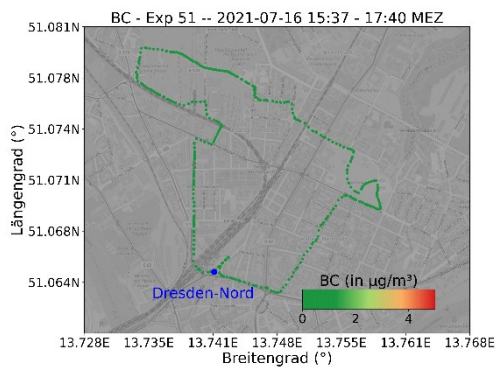
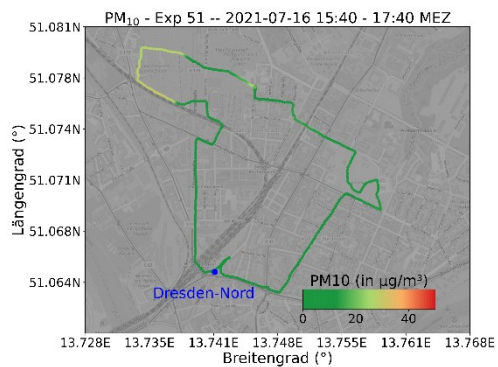
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 27: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 02. Juli 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀- (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



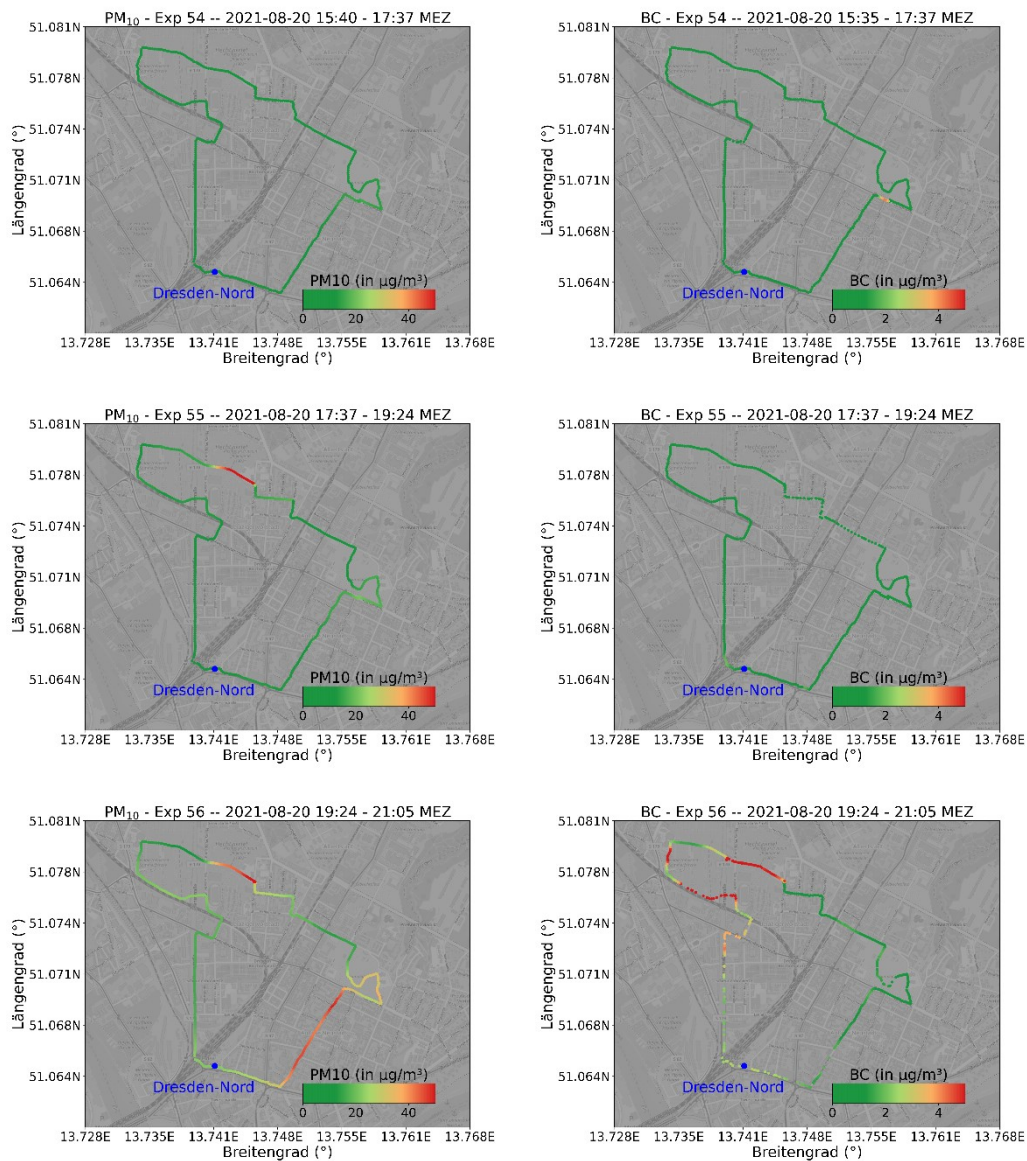
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 28: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 03. Juli 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ (links) und BC (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



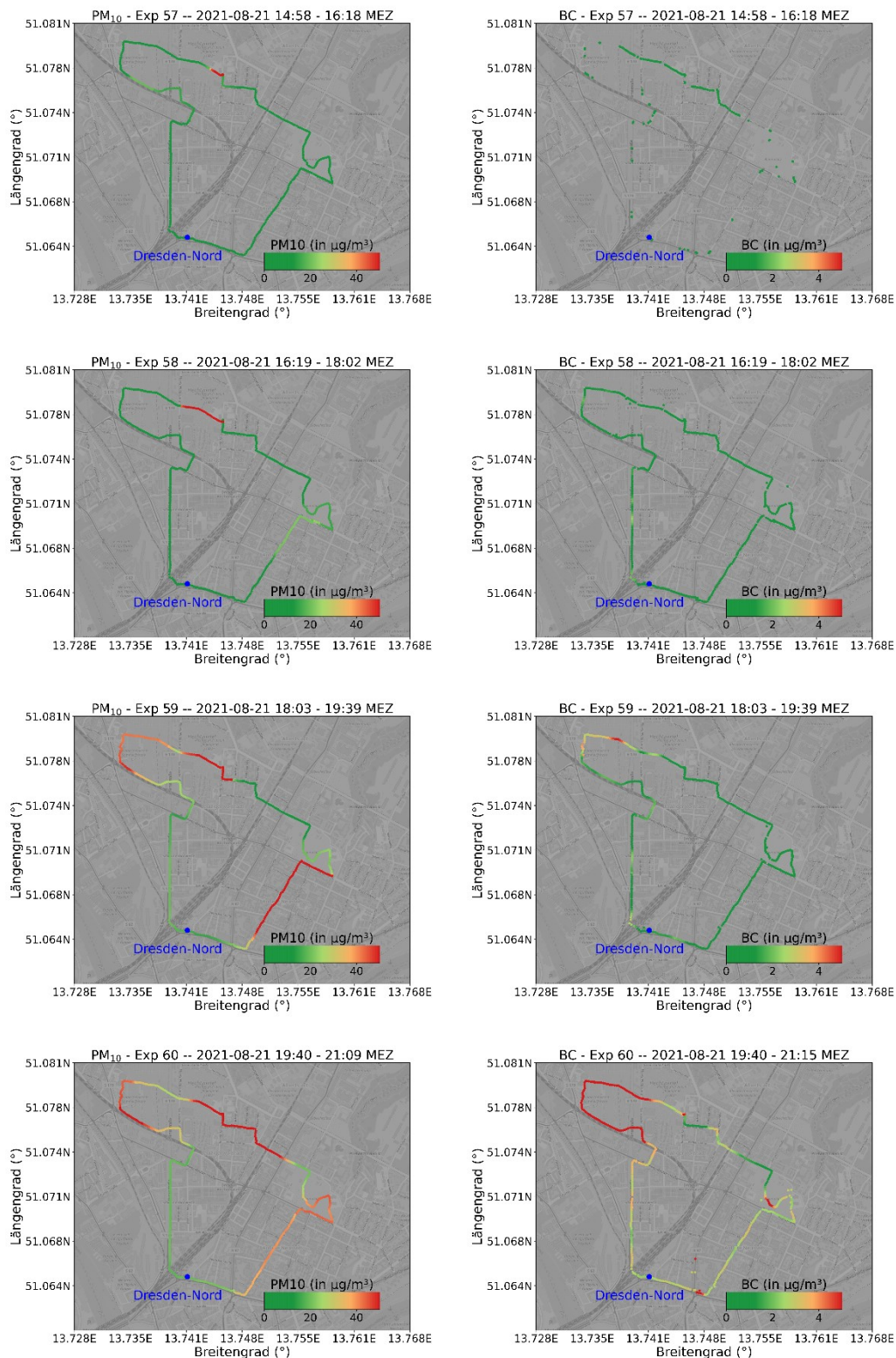
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 29: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 16. Juli 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



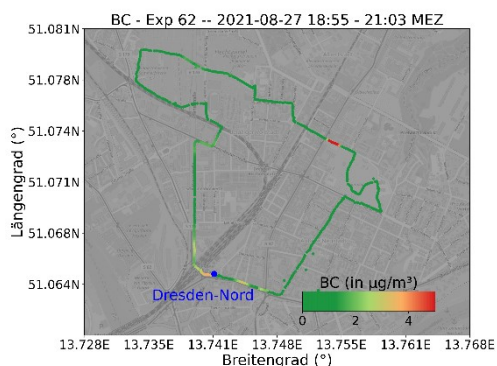
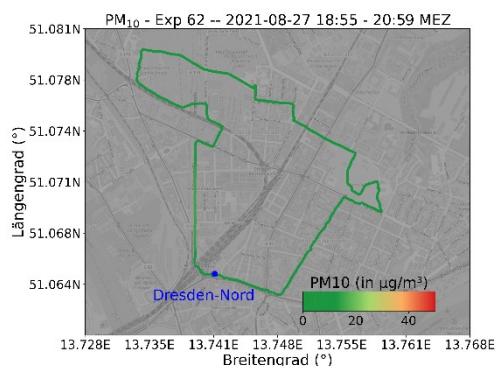
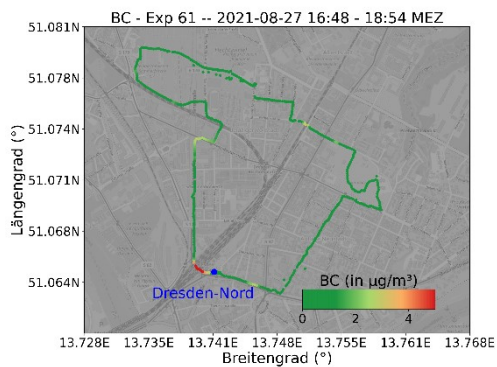
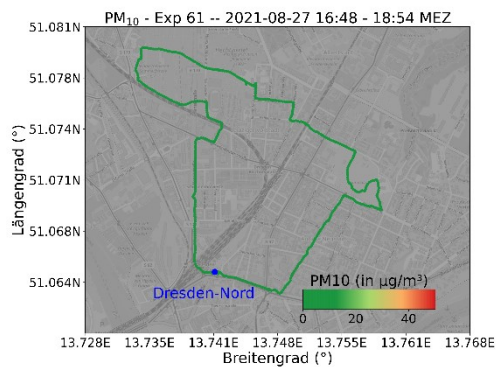
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 30: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 20. August 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



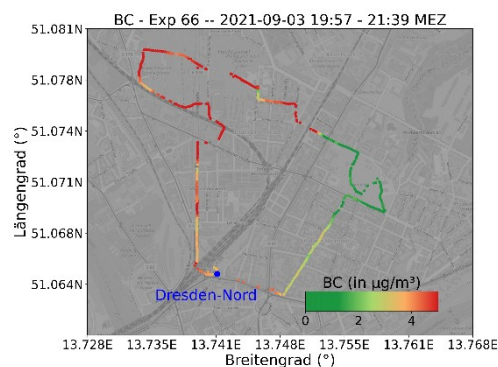
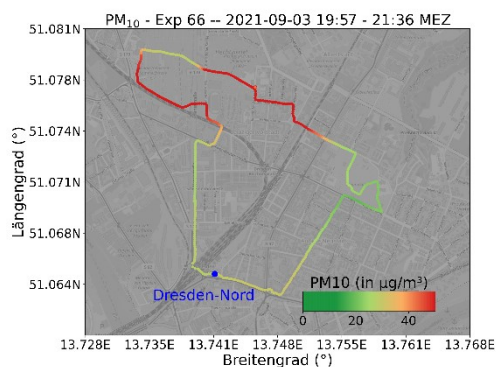
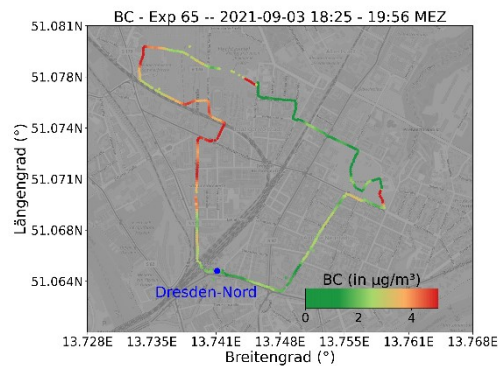
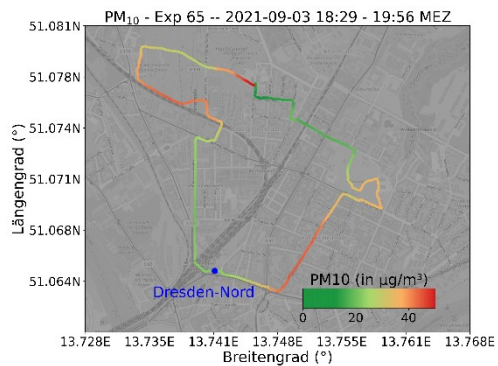
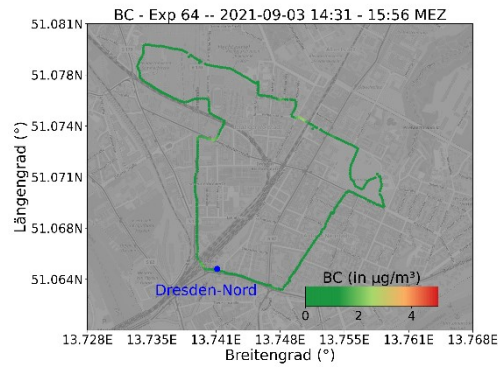
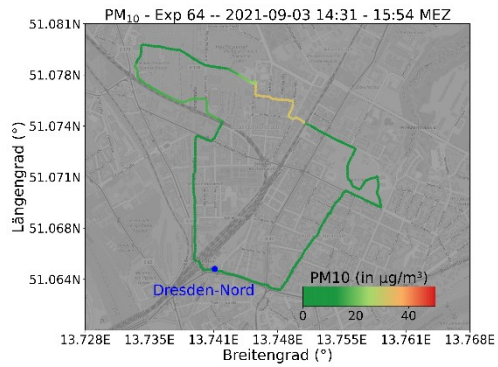
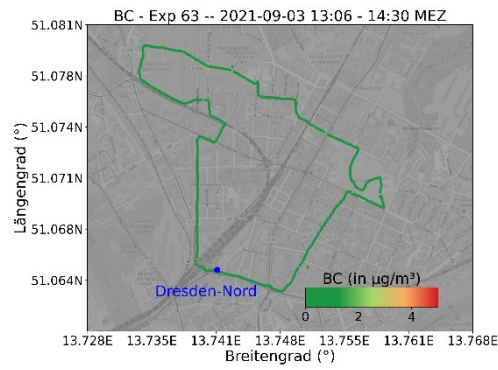
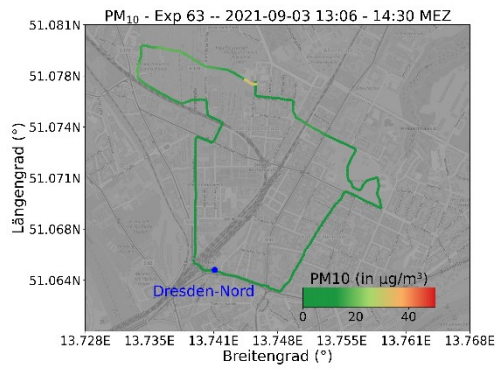
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 31: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 21. August 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



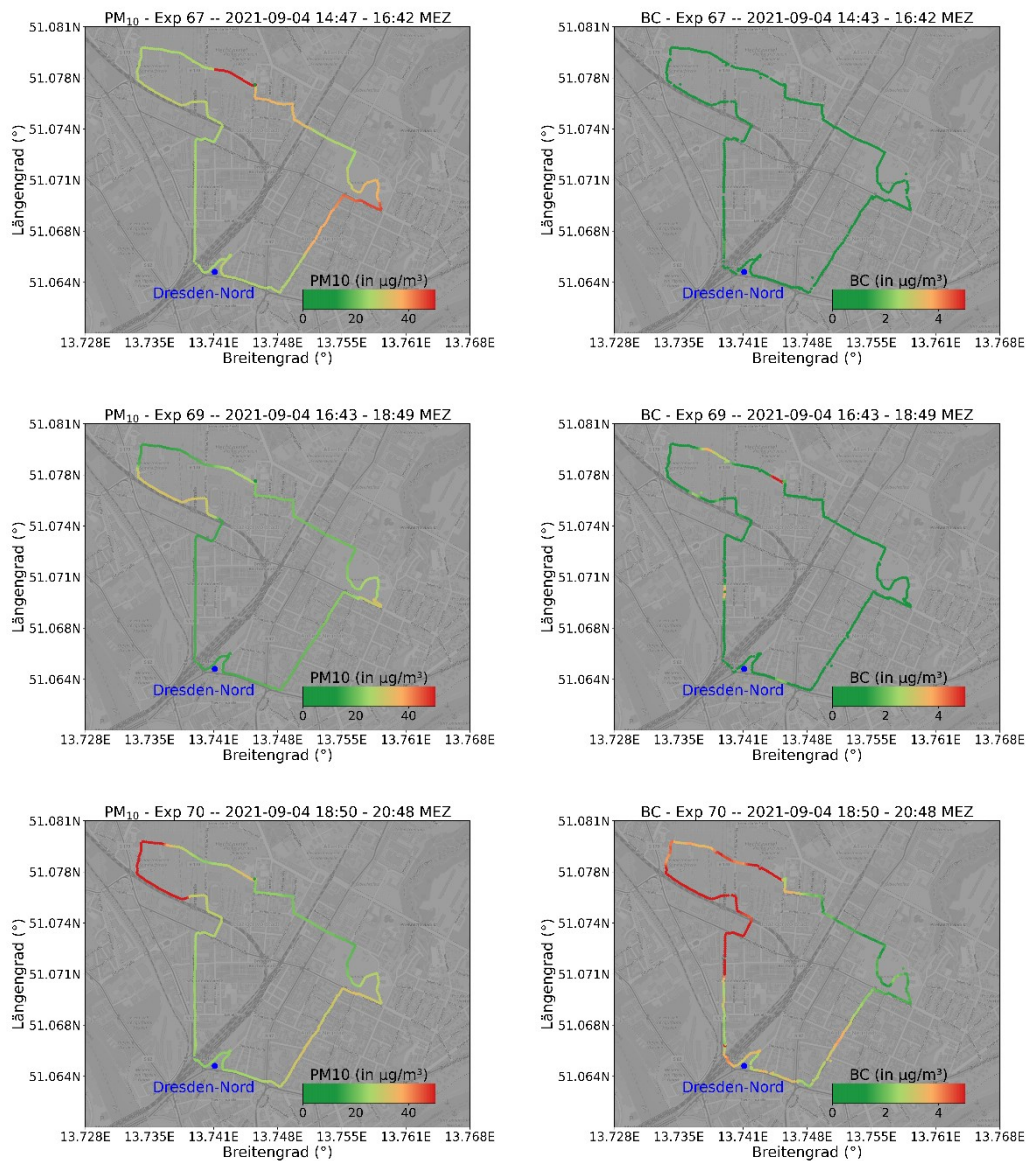
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 32: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 27. August 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 33: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 03. September 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.



Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 34: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 04. September 2021. Dargestellt sind jeweils die PM₁₀ - (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge der Messrundgänge.

A 1.6 Messergebnisse - Partikelgrößenverteilungen

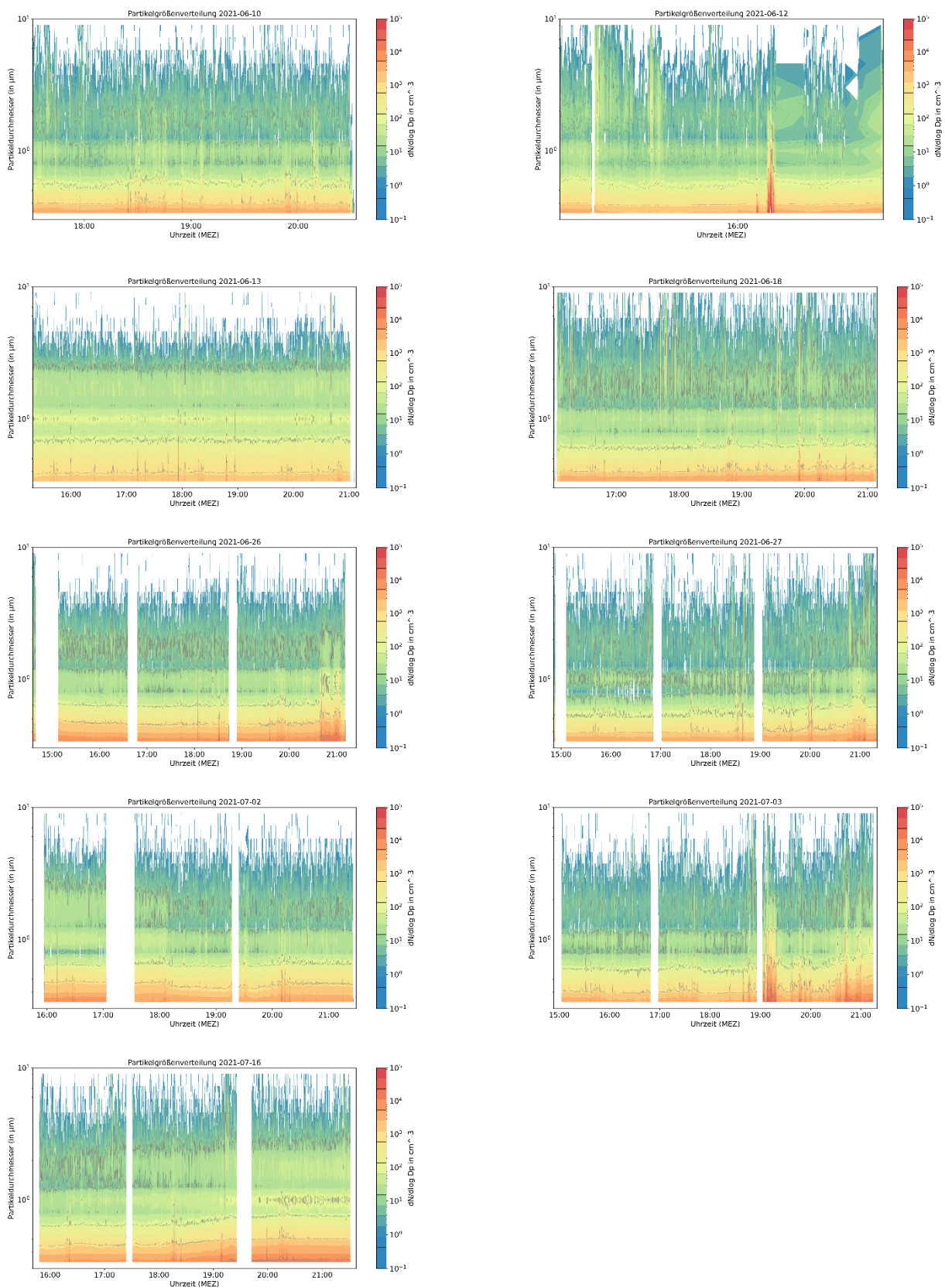


Abbildung 35: Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem mobilen Messsystem (TSI OPS-3330), 10. Juni bis 16. Juli 2021.

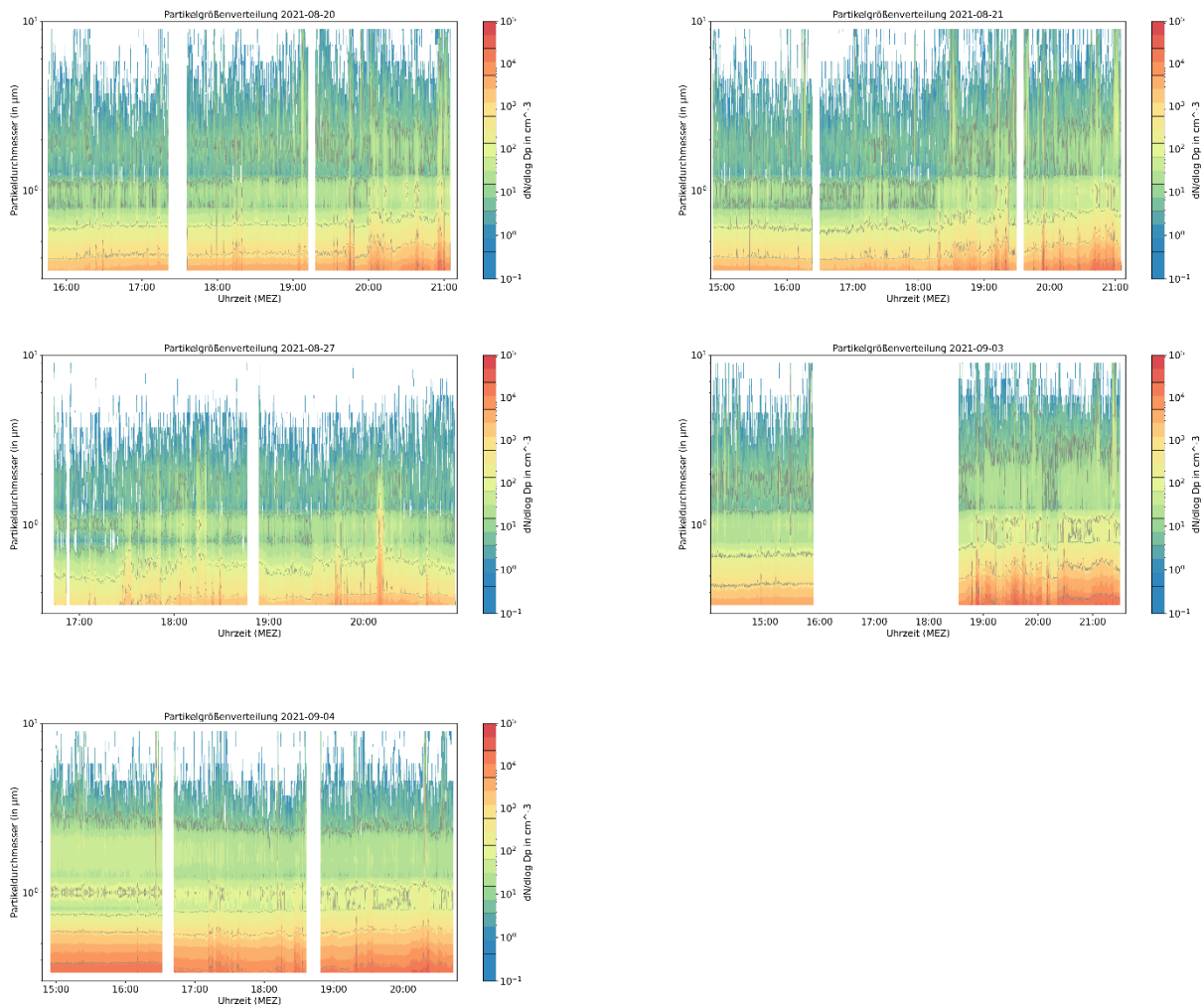


Abbildung 36: Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem mobilen Messsystem (TSI OPS-3330).

A 1.7 Messergebnisse - PM₁₀-Konzentrationen

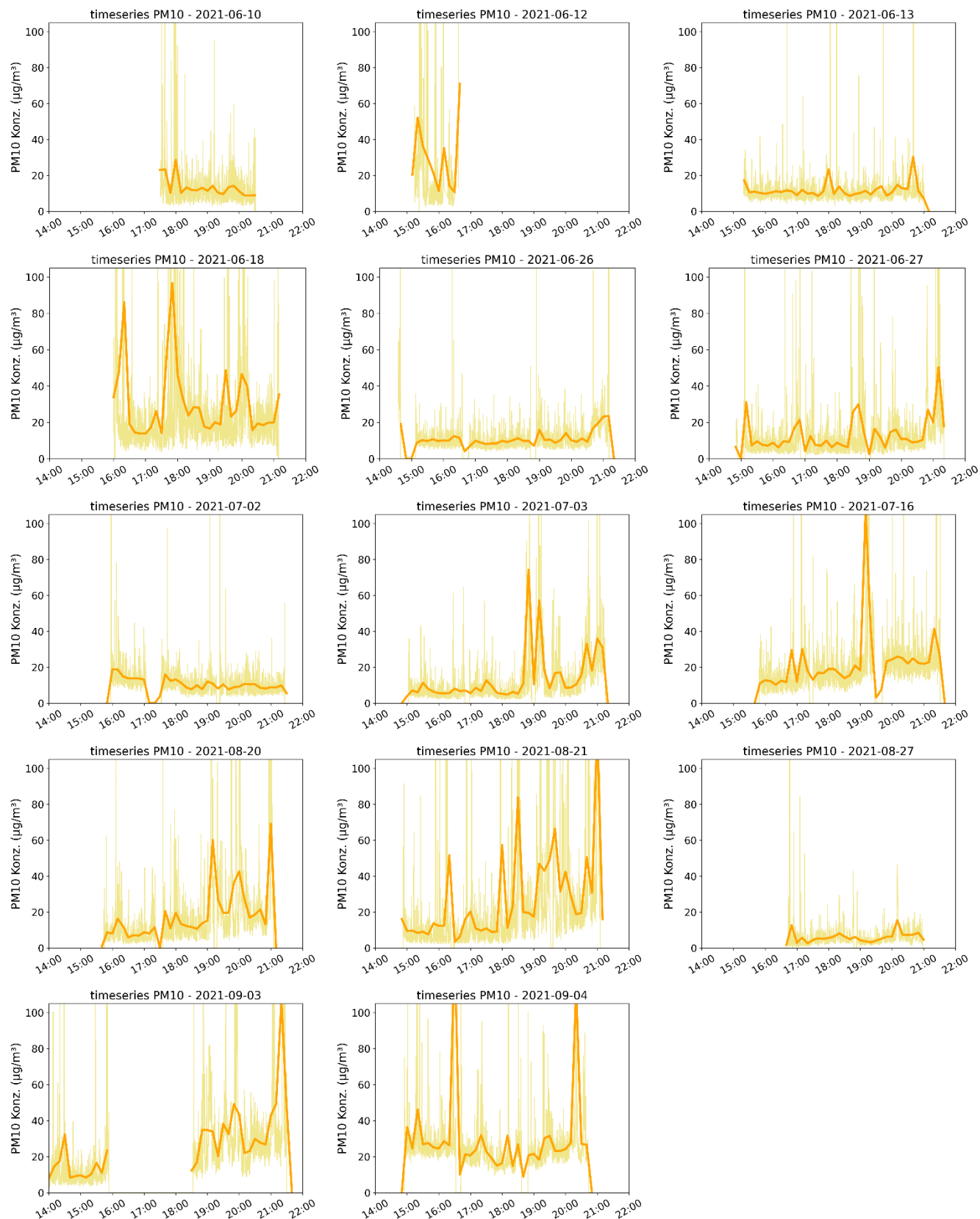


Abbildung 37: Bei den mobilen Messungen erfasste PM₁₀-Konzentrationen. Die Konzentrationen wurden aus den optischen Messungen mit dem Partikelspektrometer (TSI OPS-3330) berechnet. Die dicke Linie stellt jeweils ein gleitendes Mittel über 10 Minuten dar.

A 1.8 Messergebnisse - BC-Konzentrationen

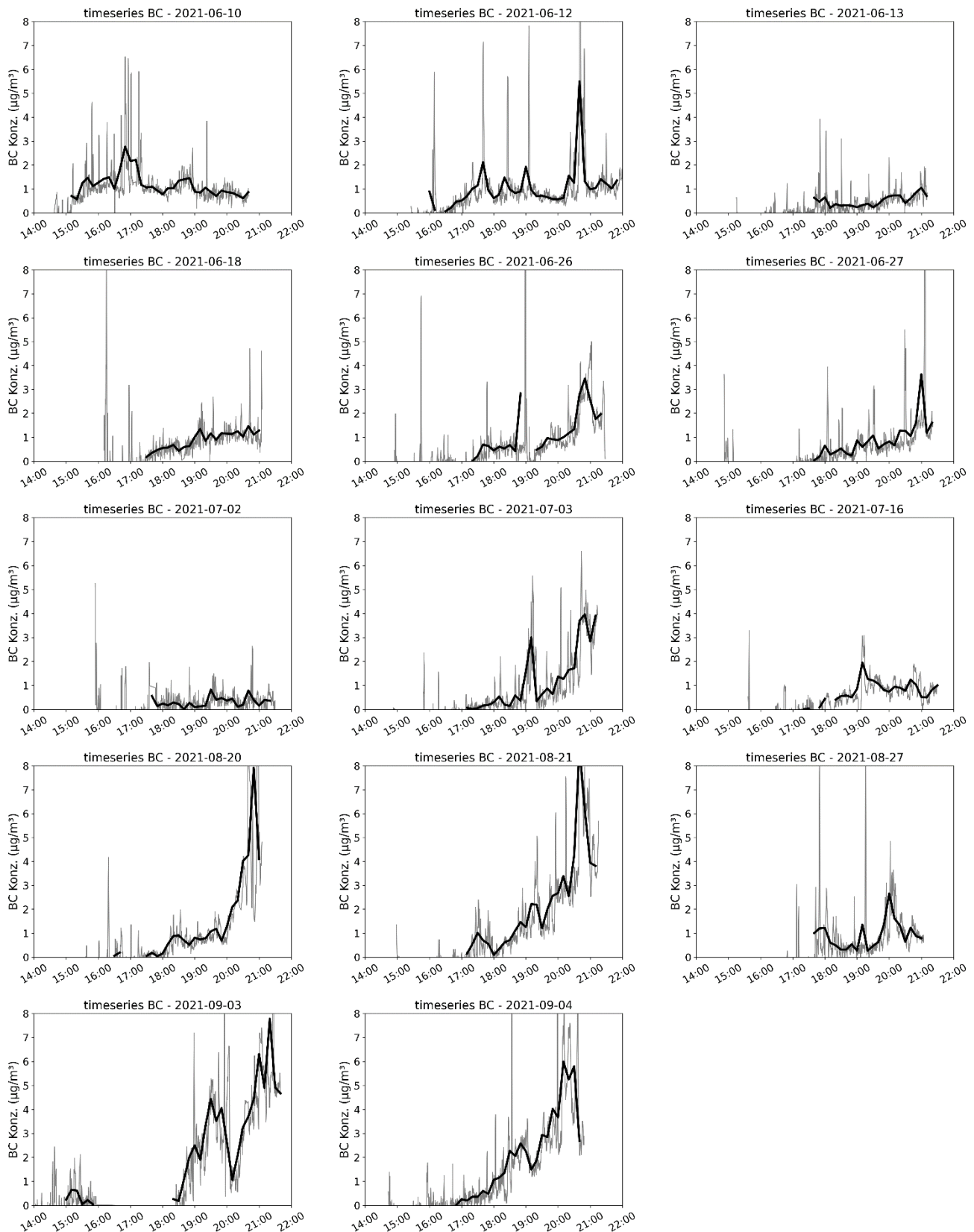


Abbildung 38: Bei den mobilen Untersuchungen (Rucksack-Messungen) erfasste BC Konzentrationen. Die Konzentrationen wurden mit dem Aethalometer gemessen (AethLabs MA200). Die dicke Linie stellt jeweils ein gleitendes Mittel über 10 Minuten dar.

A 1.9 Fotos



Abbildung 39:Fotos, aufgenommen während der mobilen Messungen am 4. September 2021. An diesem Tag waren aufgrund der stattfindenden Christopher Street Days und des Schulanfangs überall viele Menschen unterwegs. Fotos: Jens Voigtländer

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autor:

Jens Voigtländer, Dominik van Pinxteren, Hartmut Herrmann
Abteilungen Experimentelle Aerosol- und Wolkenmikrophysik/
Chemie der Atmosphäre TROPOS
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig

Redaktion:

Susanne Bastian

Abteilung 5/Referat 51

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden-Pillnitz

Telefon: +49 351 2612-5112

Telefax: +49 351 2612-5099

E-Mail: susanne.bastian@smul.sachsen.de

Fotos:

Titelbild: Jens Voigtländer

Innenseiten: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung
(TROPOS),

Kartenmaterial © OpenStreetMap-Mitwirkende

(CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Redaktionsschluss:

04.01.2022

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann
aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de>
heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staats-
regierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung
zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder
Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die
Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen
der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben
parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist
auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der
Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de