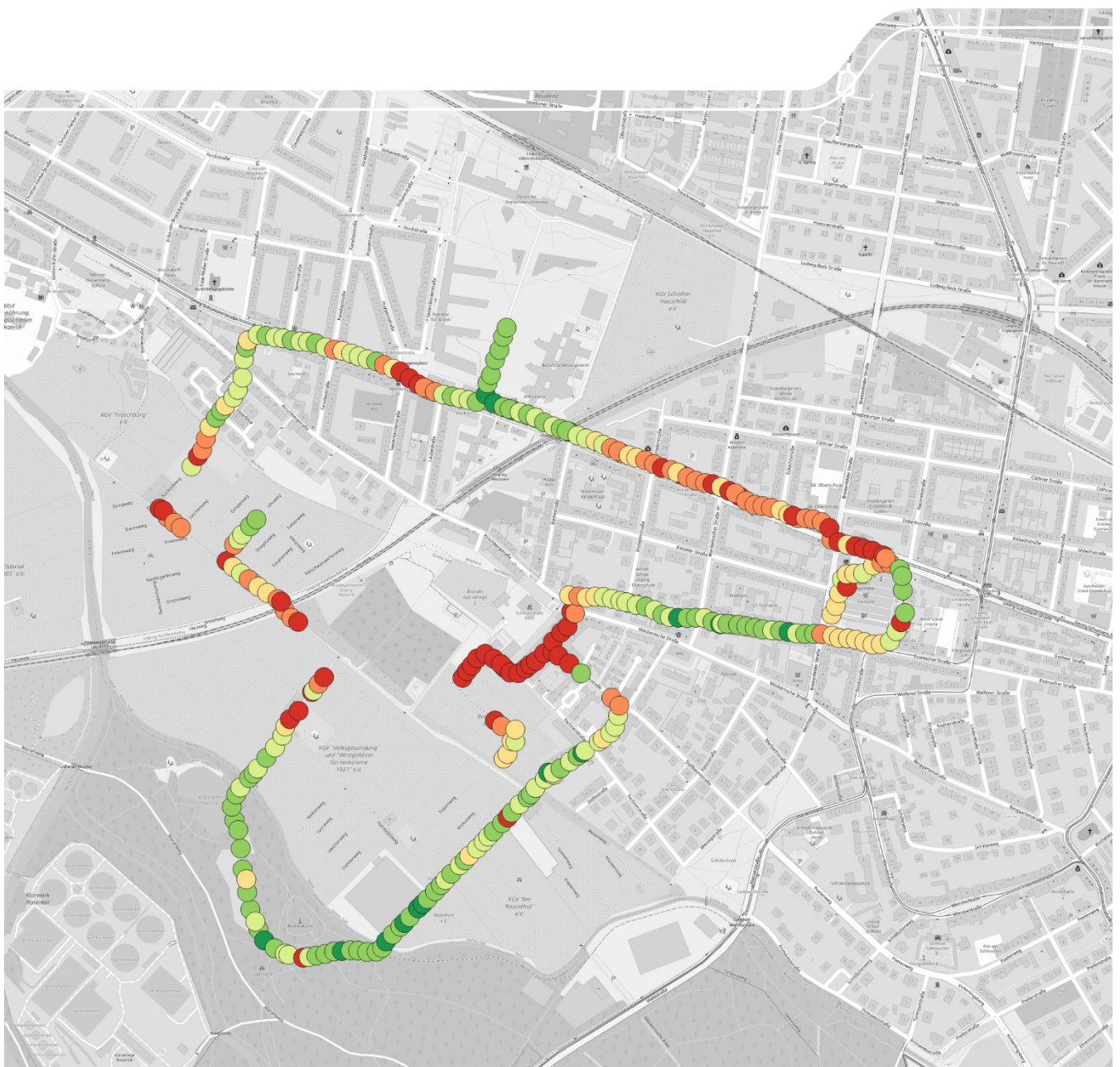


Mobile Partikelmessungen in Leipzig im September 2020

Schriftenreihe, Heft 3/2021



Mobile Partikelmessungen zur Charakterisierung des Freitag- und Samstagabendeffekts in Leipzig im September 2020

Jens Voigtländer, Dominik van Pinxteren, Hartmut Herrmann, Alfred Wiedensohler
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V.
Permoserstraße 15, 04318 Leipzig

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Der Freitag-/Samstagabendeffekt.....	7
1.2	Emissionen aus Holzfeuerungen.....	8
1.3	Zielstellung des Projektes.....	9
2	Material und Methoden	9
2.1	Messgebiet und Route der mobilen Messungen.....	9
2.2	Messgeräte.....	10
2.3	Messungen.....	12
3	Ergebnisse und Diskussion	12
3.1	Messdaten Messstation Leipzig-Mitte.....	12
3.1.1	Wetterdaten.....	12
3.1.2	PM ₁₀ -Messwerte Leipzig-Mitte	14
3.2	Mobile Messungen.....	15
3.2.1	Sommerliche Warmwetterperiode (10.-15. September 2020).....	15
3.2.1.1	Beispiel-Messung vom 12. September 2020.....	16
3.2.1.2	Gesamtzeitraum 1. Messwoche (11.-15. September 2020).....	19
3.2.1.3	Beispielmessungen vom 25. September und 19. Oktober 2020.....	20
3.2.1.4	Messungen von Levoglucosan.....	21
4	Zusammenfassung	23
Literaturverzeichnis		24
A 1	Anhang	25
A 1.1	Ausgewählte, mittlere Tagesgänge der BC- und PM ₁₀ -Konzentrationen an der Messstation Dresden-Nord	25
A 1.2	Mittlere Tagesgänge der PM ₁₀ und BC-Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte	26
A 1.3	Übersicht über die einzelnen Messungen	27
A 1.4	Messergebnisse der mobilen Messungen.....	28
A 1.5	Stundenmittelwerte der mobilen Messungen im Vergleich zur Messstation Leipzig-Mitte.....	37
A 1.6	Partikelgrößenverteilungen.....	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Mittlerer Wochengang der Anzahlkonzentration von Partikeln der Größe 20 bis 300 nm im Sommer von 2010 bis 2018 an der Messstation Leipzig-Mitte.....	7
Abbildung 2:	Mittlerer Tagesgang der BC-Konzentration (Ruß) im Winter (Januar bis März 2020) und Sommer (Juni bis August 2020) an der Messstation Leipzig-Mitte.....	8
Abbildung 3:	Karte des Messgebietes Leipzig-Gohlis.....	10
Abbildung 4:	Mobile Messrucksäcke des TROPOS.....	11
Abbildung 5:	Zeitreihe des Luftdrucks, gemessen an der Messstation Leipzig-Mitte.....	13
Abbildung 6:	Zeitreihe der Temperatur, gemessen an der Messstation Leipzig-Mitte.....	14
Abbildung 7:	Zeitreihe der gemessenen PM ₁₀ -Konzentration an der Messstation Leipzig-Mitte.....	15
Abbildung 8:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 12.9.2020.....	17
Abbildung 9:	Zeitreihen der am 12. September mit den mobilen Messgeräten in Leipzig-Gohlis gemessenen PM ₁₀ - und BC (Ruß)-Konzentrationen.....	18
Abbildung 10:	Partikelgrößenverteilung (300 nm bis 10 µm), gemessen am 12. September mit dem mobilen Messsystem.....	18
Abbildung 11:	Gemittelte PM ₁₀ -Konzentrationen über jeweils eine komplette mobile Messung im Vergleich zur Messstation Leipzig-Mitte.....	19
Abbildung 12:	Stundenmittelwerte der PM ₁₀ -Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte und der mobilen Rucksackmessungen in Leipzig-Gohlis.....	19
Abbildung 13:	Zeitreihen der am 12.9. und 19.10.2020 mit den mobilen Messrucksäcken gemessenen PM ₁₀ - und BC-Konzentration.....	20
Abbildung 14:	Konzentrationen von Levoglucosan an beiden Stationen als 2 h Mittelwerte.....	21
Abbildung 15:	Messstation Dresden-Nord: Mittlere Tagesgänge der BC-Konzentration (Ruß).....	25
Abbildung 16:	Messstation Leipzig-Mitte: Mittlere Tagesgänge Mittlere Tagesgänge der PM ₁₀ - und BC-Konzentration.....	26
Abbildung 17:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 11.9.2020.....	28
Abbildung 18:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13.9.2020.....	28
Abbildung 19:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13.9.2020.....	29
Abbildung 20:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 14.9.2020.....	30
Abbildung 21:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Dienstag, den 15.9.2020.....	30
Abbildung 22:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 18.9.2020.....	31
Abbildung 23:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 19.9.2020.....	32
Abbildung 24:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 21.9.2020.....	33
Abbildung 25:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 25.9.2020.....	34
Abbildung 26:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 25.9.2020.....	35
Abbildung 27:	Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 19.10.2020.....	36
Abbildung 28:	Stundenmittelwerte der PM ₁₀ -Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte und der mobilen Messungen in Leipzig-Gohlis.....	37
Abbildung 29:	Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem OPS-3330 (TSI).....	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Messungen.....	12
--	----

Tabellenverzeichnis im Anhang

Tabelle A 1: Übersicht über die einzelnen Messungen.....	27
--	----

Abkürzungsverzeichnis

BC	schwarzer Kohlenstoff (englisch: Black Carbon)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
OPS	optischer Partikelzähler (englisch: Optical Particle Sizer)
MAAP	Absorptionsphotometer (Schwarzkohlenstoffmonitor, englisch: Multi Angle Absorption Photometer)
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
PM ₁	Feinstaub (Partikel mit aerodynamischem Durchmesser kleiner 1 µm, englisch: Particulate Matter)
PM _{2,5}	Feinstaub (Partikel mit aerodynamischem Durchmesser kleiner 2,5 µm, englisch: Particulate Matter)
PM ₁₀	Feinstaub (Partikel mit aerodynamischem Durchmesser kleiner 10 µm, englisch: Particulate Matter)
PNC	Partikelanzahlkonzentration (englisch: Particle Number Concentration)
TROPOS	Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V.
UTC	Koordinierte Weltzeit (englisch: Coordinated Universal Time)

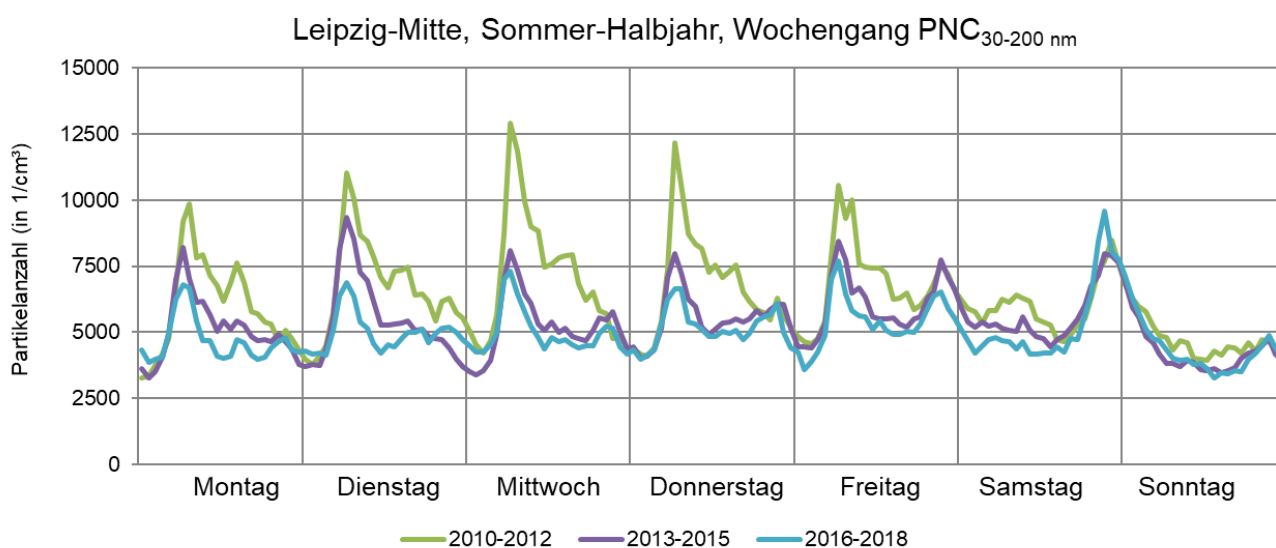
1 Einleitung

Im Sinne der Vorsorge werden im sächsischen Messnetz kontinuierlich die gesetzlich regulierten Luftqualitätsparameter erfasst. Darüber hinaus wurden in Zusammenarbeit mit 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. Die Auswertungen der langen Datenreihen an den Verkehrsmessstationen in Dresden und Leipzig zeigen insgesamt einen abnehmenden Trend der Partikelkonzentrationen in den letzten 10 bis 15 Jahren (RASCH et al., 2013; LÖSCHAU et al., 2017), insbesondere zu den Hauptverkehrszeiten.

Demgegenüber hat sich allerdings in den letzten Jahren gezeigt, dass an Freitag- und Samstagabenden, vor allem im Sommer, teilweise höhere Schadstoffkonzentrationen im Vergleich zur restlichen Woche gemessen werden. Diese Erhöhung der Konzentrationen zeigt sich insbesondere bei (ultra)feinen Partikeln im Größenbereich von 30 bis 200 nm und BC (Ruß), ist aber auch bei PM₁₀ erkennbar. Dieser sogenannte Freitag-/Samstagabendeffekt in den Sommermonaten, der im Folgenden noch etwas genauer anhand von Messdaten erläutert wird, kann an einigen sächsischen Messstationen beobachtet werden und lässt sich nicht 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. Weil sich der Effekt vor allem an Freitag- und Samstagabenden im Sommer beobachten lässt, wird vermutet, dass er sich auf Freizeitaktivitäten, wie Feuerungen von Gartenfeuer, Feuerschalen oder Grillen, zurückführen lässt. Diese Studie dient der ersten Charakterisierung dieses Effektes anhand einer explorativen Untersuchung in Leipzig.

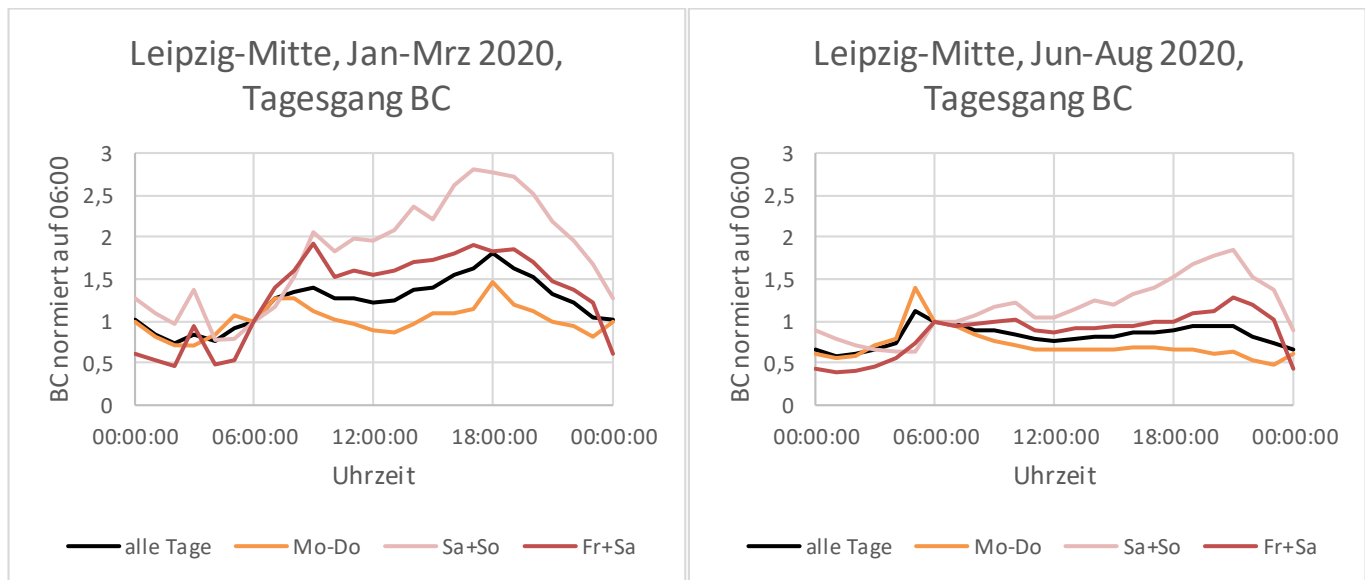
1.1 Der Freitag-/Samstagabendeffekt

Um die Entwicklung und den Sachverhalt des Freitag-/Samstagabendeffektes zu verdeutlichen, sind in Abbildung 1 der mittlere Wochengang der Partikelanzahlkonzentration (PNC) der Jahre 2010 bis 2018 und in Abbildung 2 die mittleren Tagesgänge der BC-Konzentration an der Messstation Leipzig-Mitte dargestellt. Weitere Abbildungen von mittleren Tagesgängen der BC-Konzentration an der Messstation Dresden-Nord sowie von PM₁₀-Konzentrationen an der Station Leipzig-Mitte sind im Anhang zu finden.



Quelle: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS)

Abbildung 1: Mittlerer Wochengang der Anzahlkonzentration von Partikeln der Größe 20 bis 300 nm im Sommer von 2010 bis 2018 an der Messstation Leipzig-Mitte.



Quelle: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS)

Abbildung 2: Mittlerer Tagesgang der BC-Konzentration (Ruß) im Winter (Januar bis März 2020) und Sommer (Juni bis August 2020) an der Messstation Leipzig-Mitte, gemessen mit dem MAAP Model 5012 (Absorptionsphotometer, engl. Multi Angle Absorption Photometer). Die Daten eines Tages wurden jeweils auf 06:00 Uhr normiert.

Für die Abbildung 2 wurden dabei jeweils die vom TROPOS mit einem Absorptionsphotometer (MAAP, Model 5012, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA USA) gemessenen BC-Konzentrationen (Ruß) über den jeweils angegebenen Zeitraum gemittelt. Die Angabe aller Uhrzeiten erfolgt hier, sowie auch in allen folgenden Abbildungen, in Ortszeit (MESZ = UTC+2 h). Um Einflüsse der Wetterlage und des Ferntransportes zu reduzieren, wurden dabei die Werte eines Tages jeweils auf den Stundenmittelwert von 06:00 Uhr normiert. Weiterhin wird in Abbildung 2 auch nach Werktagen (ohne Freitag/Samstag), Wochenenden (Samstag + Sonntag) und Freitag + Samstag unterschieden. Erkennbar ist in den Abbildungen ein sprunghafter Anstieg der Konzentrationen in den Morgenstunden zwischen etwa 5:00 und 8:00 Uhr, insbesondere in den Wintermonaten. Weiterhin ist besonders in den an den Tagen Freitag bis Sonntag vom Nachmittag bis zum späten Abend ein starker relativer Anstieg der Konzentrationen feststellbar. Dieser Anstieg ist nicht mit Verkehrsdaten erklärbar. Verglichen mit BC ist der Effekt für PM₁₀ geringer, aber dennoch erkennbar (siehe Anhang).

1.2 Emissionen aus Holzfeuerungen

Für das Projekt wurde die These aufgestellt, dass sich der beobachtete Freitag-/Samstagabendeffekt auf Freizeitaktivitäten, wie Feuerungen von Gartenfeuern, Feuerschalen oder Grillen, zurückführen lässt.

Bei den hier angesprochenen Freizeitaktivitäten handelt es sich im Wesentlichen um Aktivitäten, bei denen Holz oder Holzkohle verbrannt werden. Dabei werden Schadstoffe emittiert, vor allem Ruß (BC) und Feinstaub (PM₁₀). Während die Emissionen aus dem Straßenverkehr in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken sind, so ist dies, auch bedingt durch die verstärkte Nutzung, bei den Holzfeuerungen nicht der Fall. 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).

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

Das Projekt beschäftigt sich mit daher mit der These, ob sich der beobachtete Effekt erhöhter Schadstoffkonzentrationen in den Abendstunden im Sommer, insbesondere an Freitagen und Samstagen, durch Emissionen von Feuerungen aus Freizeitaktivitäten erklären lässt. Um dieser Fragestellung nachzugehen, wurden im Umfeld von Kleingartenanlagen, also einem Bereich erhöhter im Fokus stehender Freizeitaktivitäten, mobile Partikelmessungen durchgeführt sowie Filterproben genommen, welche anschließend auf die chemische Verbindung Levoglucosan analysiert wurden. Levoglucosan ist ein spezifischer Marker für Holzverbrennung (MOTHES et al., 2020).

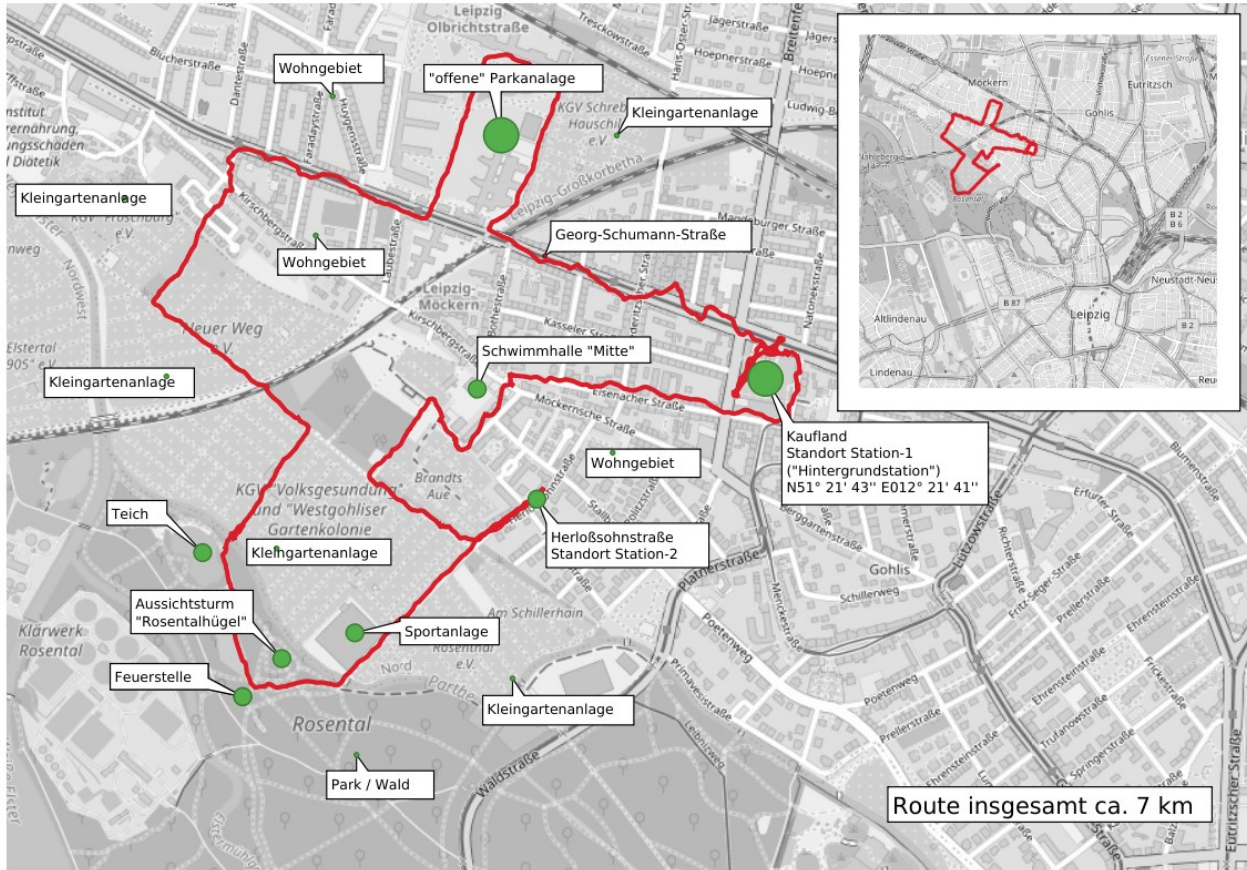
2 Material und Methoden

2.1 Messgebiet und Route der mobilen Messungen

Für die Untersuchungen wurden in einem beispielhaften Wohngebiet in Leipzig mobile Messungen und Filterprobenahmen durchgeführt. Ausgewählt wurde dafür der Stadtteil Leipzig-Gohlis (genauer: das Gebiet zwischen Leipzig-Möckern und Gohlis-Süd), u.a. weil es dort auch bereits Anfragen von Anwohnern in Bezug auf Geruchsbelästigungen gab. Gohlis liegt im nördlichen Teil von Leipzig und ist geprägt sowohl durch Straßenzüge mit Villen und Gründerzeithäusern als auch durch zahlreiche Anlagen der aktiven Erholung (Kleingärten). Insgesamt gibt es in Gohlis 13 Kleingartenvereine. Die Lage ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Filterprobenahme fand an zwei Stationen in Gohlis parallel statt. Station 1 auf dem obersten Parkdeck des Supermarktes "Kaufland" in Gohlis diente dabei als Hintergrundstation für die generelle Belastung der Luft mit Holzverbrennungsemissionen. Standort 2 in der Herloßsohnstraße repräsentierte einen "Hotspot", der noch im Wohngebiet, aber quellnah zu möglichen Emissionen aus der benachbarten Kleingartenanlage liegt. Die Filterprobenahme erfolgte i. d. R. für jeweils zwei Stunden am Nachmittag (ca. 15:30-17:30 Uhr), am Abend (ca. 17:30-19:30 Uhr) und nach Sonnenuntergang (ca. 19:20 Uhr) in der Nacht (ca. 19:30-21:30 Uhr).

Für die mobilen Messungen mit dem Messrucksack wurde eine Messroute von ca. 7 km Länge ausgewählt. Die Route, die in Abbildung 3 dargestellt ist, wurde für fast alle Rundgänge konstant gelassen und an jedem der Messtage mehrfach begangen. Sie führte dabei in ausgewogenen Anteilen durch ein Wohngebiet (Leipzig Kirschbergstraße – Herloßsohnstraße), Kleingartenanlagen ("Volksgesundung", "Westgohliser Gartenkolonie", "Am Rosenthal"), Parkanlagen mit altem Baumbestand (Ausläufer des Rosentals), offene städtische Parkanlagen (Nähe der Arbeitsagentur) und entlang großer Ausfallstraßen (Georg-Schumann-Straße). Dadurch wurde die Erfassung von möglicherweise vorhandenen kleinräumigen Unterschieden verschiedener Umgebungsbedingungen ermöglicht.



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

Abbildung 3: Karte des Messgebietes Leipzig-Gohlis, die Messroute mit dem Messrucksack (rote Linie), sowie die beiden Standorte der mobilen Filtersammler: Standort 1 als Hintergrundstation auf dem Parkdeck des Kauflands Gohlis, Standort 2 als Hotspot im Wohngebiet Herloßsohnstraße in der Nähe der Kleingartenanlage.

Weiterhin wurde die Messroute hinsichtlich der Länge so gewählt, dass eine Begehung mit mäßiger Laufgeschwindigkeit innerhalb einer einzelnen Filterprobennahme von zwei Stunden gut möglich war. Dabei eingeschlossen war jeweils auch eine Messung an den Stationen der Filtersammler für einige Minuten. An den Messtagen ohne Filterprobennahme wurde die Zeitspanne für eine Messrunde daher um ca. 30 Minuten verkürzt (auf etwa 90 Minuten).

Außerdem wurde die Messroute so ausgewählt, dass sie zu allen Zeiten ohne Einschränkungen begehbar war. Dazu zählte a) eine ständige Zugänglichkeit der Route, und b) die Vermeidung einer Belästigung der Kleingärtner durch ständig wiederkehrende Begehungen. Insbesondere zu a) ist anzumerken, dass es Kleingartenanlagen sogenannte Schließzeiten gibt, die Nichtmitglieder davon abhalten sollen, zu allen Zeiten die Anlagen zu betreten. Da die Messungen spontan und ohne vorherige Absprache mit den Gartenvereinen stattfinden sollten, war eine ungehinderte Durchquerung der Kleingartenanlagen nur auf wenigen Hauptwegen am Rande der Anlagen möglich. Da das Ziel des Projektes aber nicht das Aufspüren von Einzelquellen, sondern die generelle Untersuchung des Freitag-/ Samstagabendeffekts war, stellte dies keine echte Einschränkung dar.

2.2 Messgeräte

Für die physikalischen Partikelmessungen kamen in dem hier durchgeführten Projekt mobile Messsysteme des TROPOS zum Einsatz (Abbildung 4). Bei diesen Systemen handelte es sich um tragbare Rucksacksysteme zur Bestimmung der Partikelmassenkonzentration (PM), der Partikelgrößenverteilung im Größenbereich zwischen 0.3 µm und 10 µm, sowie der BC (Ruß)-Konzentration. Für die Messungen kamen optische Streu- und Absorptionsmesslichtverfahren zum Einsatz. Es wurden dabei jeweils qualitätsgeprüfte Messgeräte verwendet. Konkret waren

das ein optisches Partikelgrößenspektrometer des Typs OPS-3330 der Firma TSI (TSI GmbH, Aachen, Deutschland) sowie ein Schwarzkohlenstoffmonitor (Aethalometer) vom Typ AE-51 der Firma AethLabs (AethLabs, San Franzisko, CA, USA). 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 μm in bis zu 16 einstellbaren Größkanälen gemäß Standard ISO ISO21501/04; das AE-51 erlaubt optische Rußmessungen mit einer seit 30 Jahren erprobten Technologie. 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).



Abbildung 4: Mobile Messrucksäcke des TROPOS (links/Mitte: Messrucksack mit OPS-3330 und Aethalometer AE-51, rechts: miniaturisierter Messrucksack mit PM₁₀-Sensor, meteorologischen Sensoren und Aethalometer MA-200. Für die Messungen wurden beide Rucksäcke parallel eingesetzt.

Parallel dazu wurde noch ein weiteres, miniaturisiertes mobiles Messsystem eingesetzt (Abbildung 4), das ebenfalls von TROPOS entwickelt wurde. Das Messsystem beinhaltet ebenfalls ein Aethalometer, jedoch wurde hier das weiterentwickelte MA-200 eingesetzt AethLabs (AethLabs, San Franzisko, CA, USA). 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). Zur Bestimmung der PM₁₀ Konzentration ist ein low-cost PM₁₀ Sensor verbaut (PMS5003, Plantpower, China), der von TROPOS für die Anwendung im mobilen Messsystem modifiziert wurde. Weiterhin beinhaltet das kleine, mobile Messsystem meteorologische Sensoren und ist ebenfalls mit einem GPS ausgestattet. Zusätzlich bietet es über eine Smartphone App (TROPOS Eigenentwicklung) die Möglichkeit einer Datenvisualisierung und Datenübertragung auf einen Datenserver in Echtzeit. Auch das miniaturisierte System bietet mit einem speziell dafür entwickelten Einlasssystem eine Flusskontrolle sowie eine Messgasaufbereitung (Aerosoltrocknung) zur Kompensation von Feuchteeffekten.

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.

2.3 Messungen

Die Messungen zur Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes wurden überwiegend in der ersten Septemberhälfte 2020 durchgeführt. Obwohl bereits nach dem meteorologischen Herbstanfang gelegen, war dieser Zeitraum, wie im folgenden noch dargelegt wird, zu Beginn gekennzeichnet durch nochmals sommerliche Wetterverhältnisse mit hohen Temperaturen unter Hochdruckeinfluss.

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Messungen

Nr.	Datum	Rucksackmessung	Filtersammler	Bemerkung
1	Freitag, 11. September 2020	2x	2x	sehr warm, teilw. nur OPS-3330
2	Samstag, 12. September 2020	3x	3x	sehr warm
3a	Sonntag, 13. September 2020	2x	-	Messung morgens
3b	Sonntag, 13. September 2020	3x	3x	sehr warm
4	Montag, 14. September 2020	2x	-	sehr warm
5	Dienstag, 15. September 2020	3x	3x	sehr warm
6	Freitag, 18. September 2020	3x	2x	warm, nur einmal Filtersammler
7	Samstag, 19. September 2020	3x	3x	warm
8	Montag, 21. September 2020	4x	-	warm
9	Freitag, 25. September 2020	5x	-	kalt
10	Montag, 19. Oktober 2020	3x	-	kalt, nur teilw. OPS-3330

Eine weitere Messung mit dem mobilen Messsystem wurde auch noch im Oktober 2020 durchgeführt. Einen tabellarischen Überblick über die Messungen gibt Tabelle 1. Die Messroute für die mobilen Partikelmessungen wurde an zehn Messtagen mit elf Messungen insgesamt etwa 30-mal begangen, Filterprobennahmen fanden an sechs Tagen statt.

Die Messungen fanden dabei fast ausschließlich in den Nachmittags- und Abendstunden statt. Konkret wurden die Messungen in der Regel zwischen 15:30 und 21:30 Uhr durchgeführt. Eine Vergleichsmessung gab es an einem Sonntagvormittag, eine weitere an einem Dienstag gegen Mittag. Die Vergleichsmessung Mitte Oktober startete 15:30 Uhr, dauerte allerdings nur bis ca. 19:30 Uhr, da zu diesem Zeitpunkt die Abenddämmerung bereits vorüber war.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Messdaten Messstation Leipzig-Mitte

3.1.1 Wetterdaten

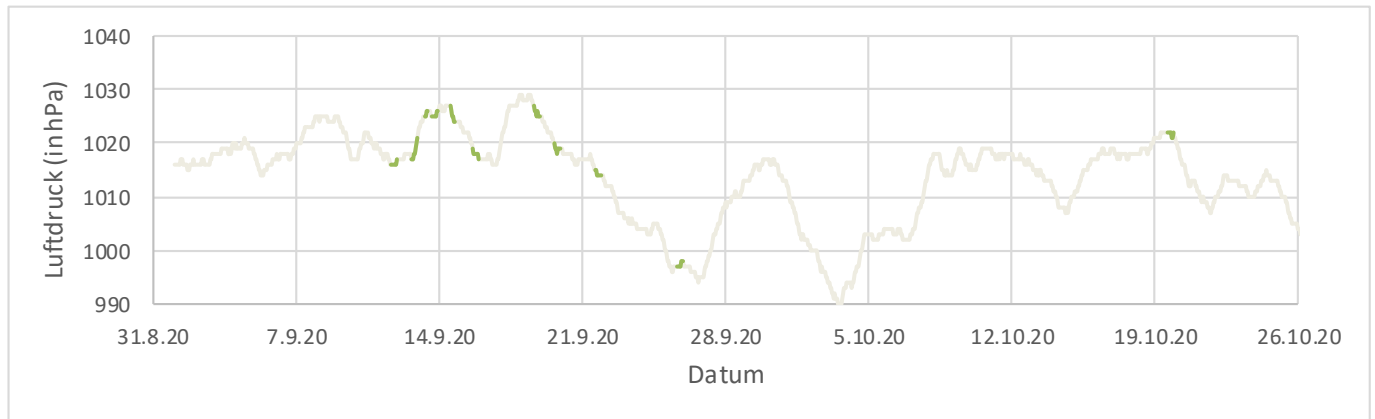
Ziel des Projektes war die Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes - eines Effektes, der hauptsächlich im Sommer zu beobachten ist. Obwohl die Messungen erst ab September, also nach dem meteorologischen Herbstanfang, durchgeführt wurden, fanden sie zu Zeiten stabiler Wetterverhältnisse und überwiegend bei hohen Temperaturen statt.

Die im September und Oktober 2020 an der Messstation Leipzig-Mitte (Quelle LfULG) gemessenen Zeitreihen für Luftdruck und Temperatur sind in Abbildung 5 sowie Abbildung 6 dargestellt. Die im Diagramm farblich hervorgehobenen Abschnitte entsprechen dabei den Zeiträumen der mobilen Messungen, bzw. auch der Filtersammlungen. Zur Einordnung in einen gesamtheitlichen Kontext ist die gesamte Zeitreihe grau unterlegt.

Zum Zeitpunkt der ersten Messungen stand Mitteldeutschland unter stabilem Hochdruckeinfluss (Hoch Leiki) und die Temperaturen stiegen nochmals auf bis zu knapp über 30 °C. Am Freitag, den 11.9.2020, wurde mit maximal 24,6 °C das Erreichen eines Sommertages nur knapp verpasst. Am Samstag, den 12.9.2020, wurden maximal 27,7 °C und am Sonntag, den 13.9.2020, mit maximal 27,4 °C noch höhere Werte erreicht. Während der Vergleichsmessung am

darauffolgenden Montag und Dienstag konnten mit über 30 °C sogar noch höhere Temperaturen verzeichnet werden. Damit entsprachen die meteorologischen Bedingungen der ersten Messwoche, bis auf die verkürzte Tageslänge, den Anforderungen an das Projekt.

Am darauf folgenden Wochenende herrschte unter Hoch Manfred ebenfalls noch Hochdruckeinfluss, wenn auch bei etwas geringeren Temperaturen. Am Freitag, den 18.9.2020, wurden maximal 22,1 °C und am Samstag, den 19.9.2020, maximal 25,0 °C erreicht. Die Vergleichsmessungen am Montag, den 21.9.2020, fanden bei bis zu 26,7 °C statt.



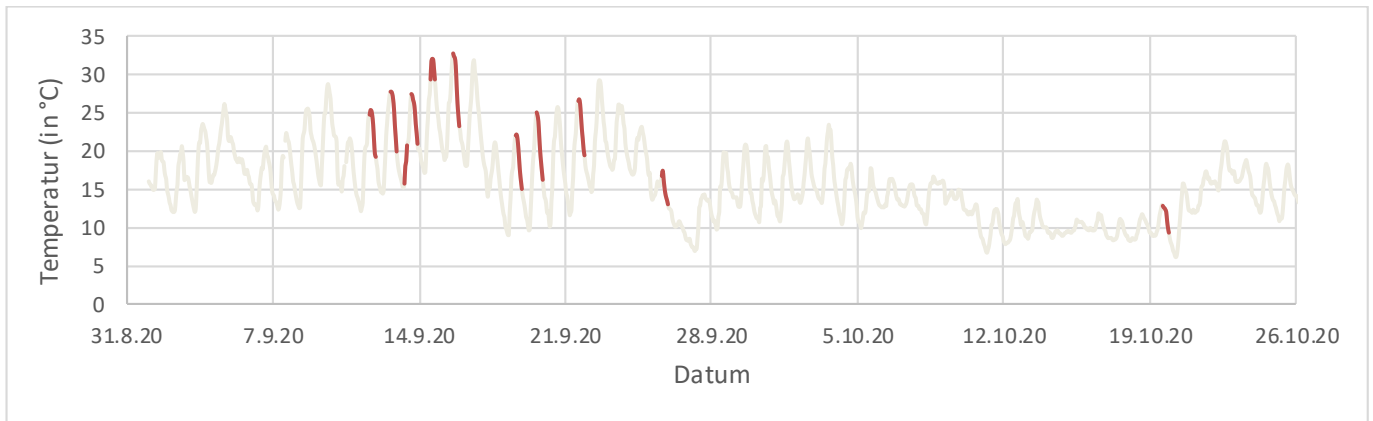
Quelle: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>

Abbildung 5: Zeitreihe des Luftdrucks, gemessen an der Messstation Leipzig-Mitte. Die grün eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.

Wie in Abbildung 6 erkennbar ist, war das Wochenende vom 18. bis 20. September auch das letzte Wochenende mit spätsommerlichen Verhältnissen. Danach änderten sich die Wetterverhältnisse und die Vergleichsmessung am 25.9.2020 wurde nicht mehr unter Hochdruckeinfluss durchgeführt (Abbildung 5). Zu keiner Messung war Niederschlag zu verzeichnen, allerdings hat es einige Stunden vor und nach der Messung am 25.9.2020 geregnet.

Am 3./4. 10.2020 wurden nochmals über 20 °C erreicht, allerdings wurden an diesem Wochenende keine Messungen durchgeführt. Danach fielen die Temperaturen deutlich ab, so dass keine für das Projekt sinnvollen Messungen mehr möglich waren. Zum Vergleich wurde am 19.10.2020 dennoch eine weitere Messung mit dem mobilen Messsystem durchgeführt (siehe Tabelle 1).

Damit können die Messungen in diesem Projekt unterteilt werden in Untersuchungen, die bei noch sommerlichen Verhältnissen und hohen Temperaturen durchgeführt wurden und jenen, die bei niedrigeren Temperaturen zum Vergleich stattfanden. Die Messungen zu Beginn der 2. Messwoche (18.-21.9.2020) stellen einen Übergangsbereich dar. Obwohl unter stabilen Wetterverhältnissen durchgeführt, waren an diesen Tagen durch die schon geringeren Temperaturen und die kurzen Tageslängen weniger Freizeitaktivitäten zu erwarten und diese Tage daher nicht mehr optimal zur Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes geeignet.



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

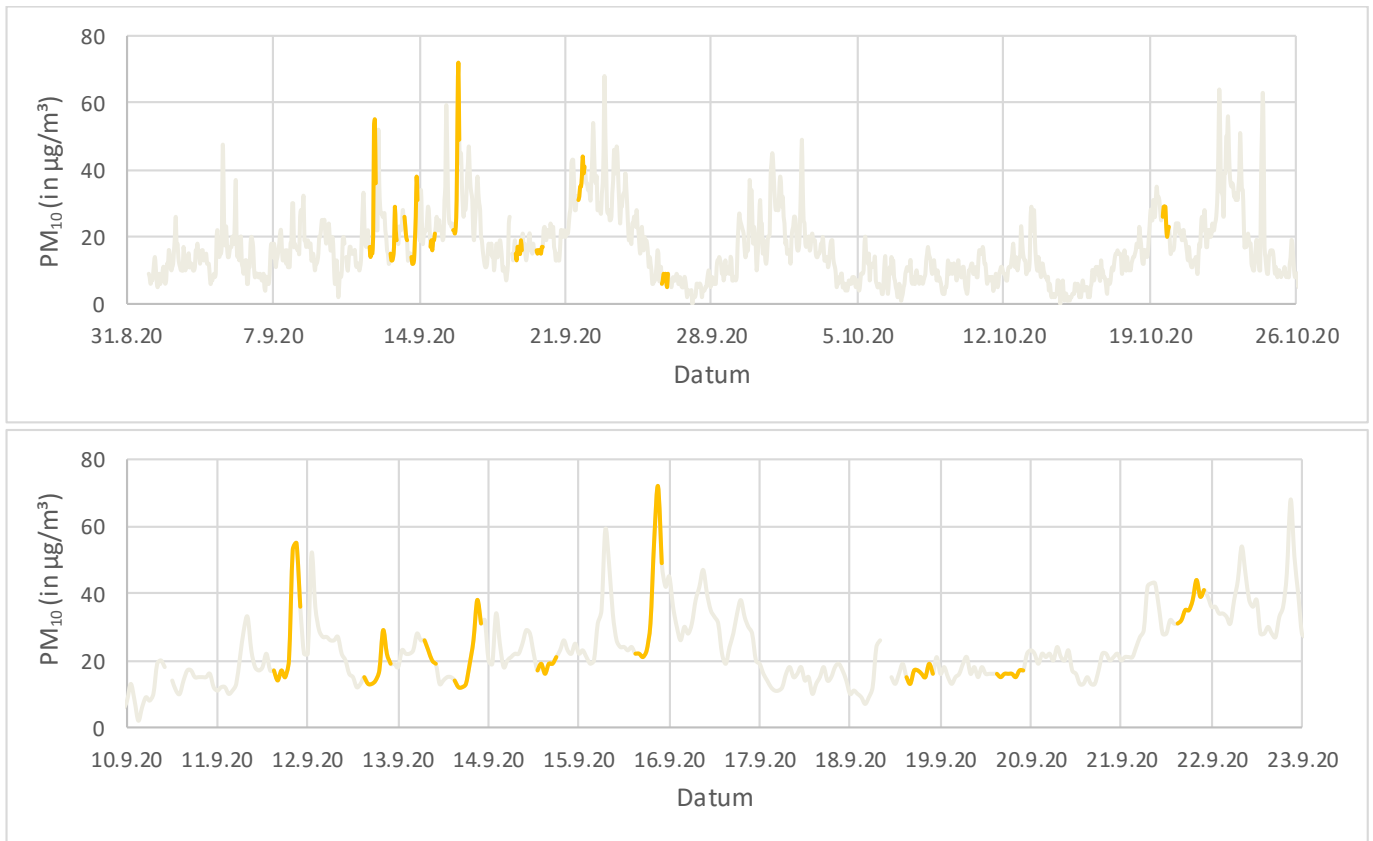
Abbildung 6: Zeitreihe der Temperatur, gemessen an der Messstation Leipzig-Mitte. Die rot eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.

3.1.2 PM₁₀-Messwerte Leipzig-Mitte

In Abbildung 7 sind die an der Messstation Leipzig-Mitte gemessenen und stundengemittelten Partikelmassenkonzentrationen dargestellt. Da für die Messstation Leipzig-Mitte keine Daten der PM₁-Konzentrationen zur Verfügung stehen, wurde hier auf PM₁₀-Konzentrationen zurückgegriffen. Im oberen Teil der Abbildung ist dabei wieder der Zeitraum von Anfang September bis Ende Oktober 2020 gezeigt, in der unteren Abbildung nur die Periode der ersten durchgeführten Messungen bei noch sommerlichen Wetterverhältnissen (vom 10. bis 15.9.2020). In der Abbildung sind die Perioden der durchgeführten mobilen Messungen und Filterprobennahmen wieder farblich hervorgehoben.

In Abbildung 7 sind, besonders am ersten Messwochenende, die starken Unterschiede (stark ansteigende Konzentrationen) während der kurzen Messperioden erkennbar. So stiegen die Stundenmittelwerte an der Station Leipzig-Mitte am Freitag, den 11.9.2020, von 14 µg/m³ um 16:00 Uhr bis auf 55 µg/m³ um 21:00 Uhr an. Auch am Samstag und Sonntag wurden starke Anstiege in den Abendstunden beobachtet, wenn auch in geringerem Umfang als am Freitag. Am Dienstag, den 15.9.2020, waren die Unterschiede sogar noch größer und die Konzentrationen stiegen von 22 µg/m³ um 16:00 Uhr bis auf 72 µg/m³ um 21:00 Uhr. Am darauffolgendem Wochenende wurde ein derartiger Effekt nur am Samstag, den 21.9.2020, beobachtet. An diesem Tag stiegen die Konzentrationen von 32 µg/m³ um 16:00 Uhr bis auf 44 µg/m³ um 20:00 Uhr, ehe sie wieder abfielen. An den anderen Messtagen konnte für die PM₁₀-Konzentrationen kein ausgeprägter "Abendeffekt" beobachtet werden.

Betrachtet man die Stundenmittelwerte der Messstation Leipzig-Mitte, so war während der Messperiode kein besonders auf die Wochenenden beschränkter "Abendeffekt" zu beobachten. Statt dessen war ein Anstieg der Schadstoffkonzentrationen (hier PM₁₀) an allen betrachteten Messtagen mit besonders hohen Temperaturen zu verzeichnen. Allerdings muss hierbei beachtet werden, dass es sich bei der Station Leipzig-Mitte um eine überwiegend durch Verkehrsemissionen geprägte Messstation handelt. Die PM₁₀-Konzentrationen sind hier neben der städtischen Hintergrundbelastung eher durch die hohen Verkehrsdichten der umliegenden Hauptverkehrsstraßen und damit verbundener Aufwirbelung von Straßenstaub sowie Abriebsemissionen aus Reifen und Bremsen zu erklären. Aus technischen Gründen liegen für den Messzeitraum leider keine Verkehrsdaten für Leipzig-Mitte vor.



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

Abbildung 7: Zeitreihe der gemessenen PM₁₀-Konzentration an der Messstation Leipzig-Mitte, oben: September bis Oktober 2020, unten: während der ersten Messtage bei noch sommerlichen Temperaturen. Die eingefärbten Abschnitte kennzeichnen die Zeiträume der durchgeführten mobilen Messungen.

Die zum Teil starken Anstiege der Konzentration in den Abendstunden sind ein Effekt der Schichtung der Atmosphäre. Vor allem bei Hochdruckwetterlagen mit hohen Luft- und Bodentemperaturen am Tag und schneller Auskühlung des Bodens nach Sonnenuntergang, kann sich eine sehr niedrige Bodeninversion bilden, die die Emissionen in einem vergleichsweise geringen Luftvolumen anreichert und so bei ähnlich hohen Emissionen zu deutlich höheren Immissionen führen kann.

3.2 Mobile Messungen

Wie bereits anhand der PM₁₀-Messdaten der Station Leipzig-Mitte gezeigt wurde, so war besonders an den ersten Messtagen ein Freitag-/Samstagabendeffekt zu beobachten. Gemäß der Hypothese war daher auch für die mobilen Messungen und für die Filterproben ein Nachweis des Effektes zu erwarten.

Die gegen Ende des Projektes durchgeführten Messungen fanden bei teilweise deutlich niedrigeren Temperaturen und zusätzlich weiter reduzierter Tageslänge statt. Die späteren Messungen waren daher Vergleichsmessungen, die durch deutlich niedrigere Freizeitaktivitäten in den Kleingartenanlagen charakterisiert waren, was zu deutlich niedrigeren Emissionen führen sollte.

3.2.1 Sommerliche Warmwetterperiode (10.-15. September 2020)

Im Folgenden werden zunächst die mobilen Rucksackmessungen und anschließend die Levoglucosan-Messwerte der Filtersammler gezeigt.

3.2.1.1 Beispiel-Messung vom 12. September 2020

Beispielhaft werden hier die Messergebnisse der mobilen Partikelmessungen vom Samstag, den 12. 9. 2020, gezeigt. Der Samstag ist als Beispiel besser geeignet als der Freitag, weil an diesem Tag drei Filterproben genommen wurden, die Messdauer also damit insgesamt länger war. Abbildungen zu weiteren Messtagen sind im Anhang wiedergegeben.

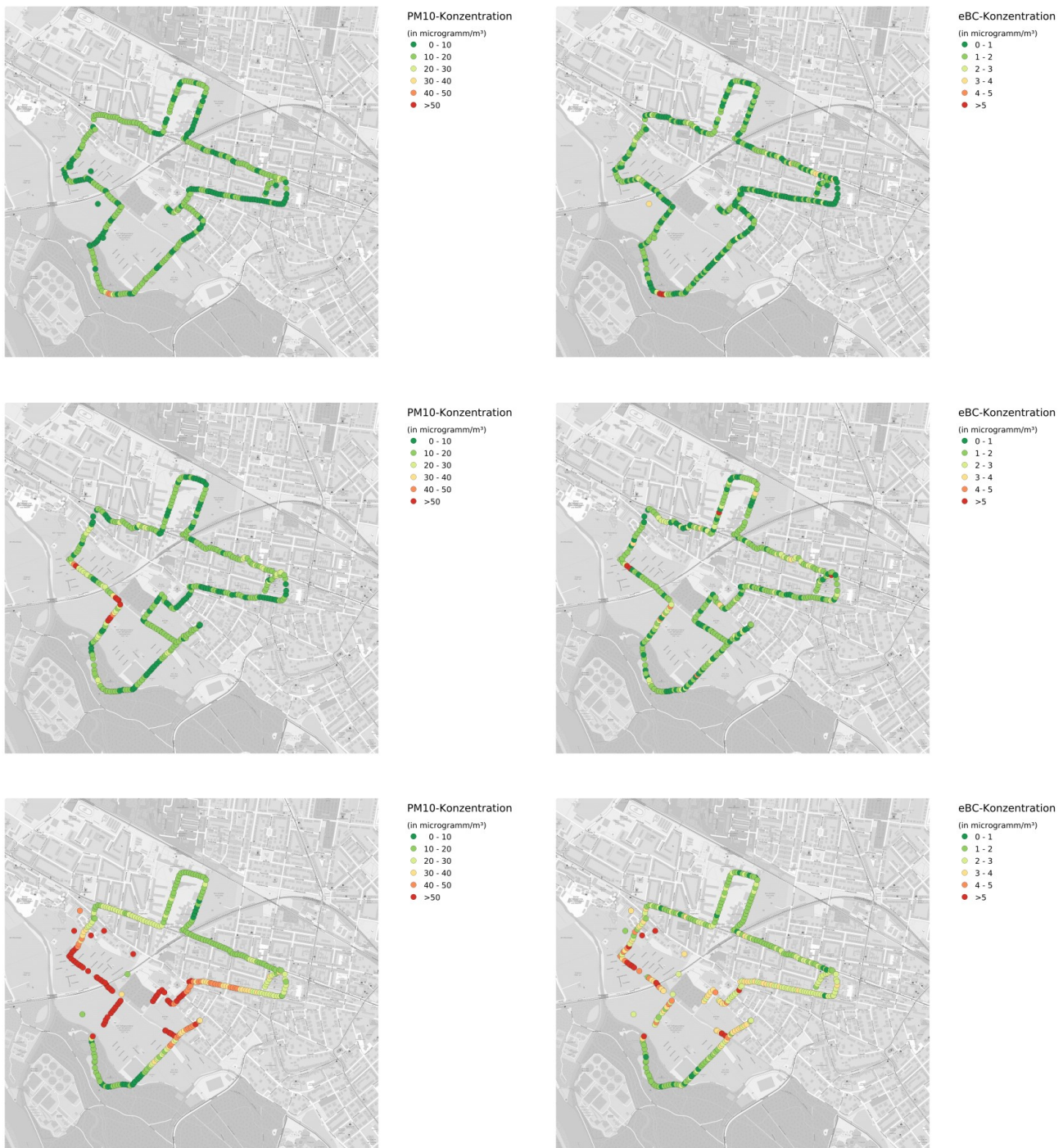
Wie bereits dargelegt, war der 12.9.2020 durch eine noch ausgesprochen sommerliche Wetterlage charakterisiert, so dass die Bedingungen für die Messungen zur Untersuchung eines Freitag- und Samstagabendeffektes ideal waren. Hoch Leiki bescherte mit Temperaturen von ca. 27 °C einen sonnigen Samstag. Das lud viele Anwohner und Kleingartenbesitzer zu Freizeitaktivitäten ein. Es herrschte insgesamt ein hohes Menschaufkommen, besonders in den angrenzenden Kleingärten. Die Messungen wurden um 15:00 Uhr begonnen. Zwischen den einzelnen Filtermessungen wurde eine Pause von 15 Minuten für einen Filterwechsel eingelegt. Insgesamt wurden drei Filter beprobt, so dass die Messungen bis ca. 21:30 Uhr andauerten. Parallel zu den Filterprobenahmen wurde die Messroute dreimal für jeweils zwei Stunden mit den mobilen Messgeräten begangen.

Die Abbildung 8 zeigt jeweils eine Karte mit den eingetragenen gemessenen PM₁₀-Konzentrationen. Weiterhin sind auch die räumlich hochaufgelösten Rußkonzentrationen dargestellt. Es ist klar erkennbar, dass die Konzentrationen während der ersten Messung an diesem Tag am geringsten waren. Die höchsten PM₁₀-Konzentrationen wurden demgegenüber im letzten Messdurchlauf erreicht. Die Abbildung zeigt ebenfalls, besonders für die letzte Messung am Abend, dass die höchsten Konzentrationen in der unmittelbaren Nähe der Kleingartenanlage beobachtet wurden (mittlerer Bereich der Abbildung, siehe auch Abbildung 3 mit der Messroute). Das sommerliche Wetter lud viele Kleingartenbesitzer zum Grillen ein. Weiterhin wurde auch die offizielle Leipziger Feuerstelle am Rosenthalhügel sehr intensiv genutzt. Mit den mobilen Messungen nicht erfasst, aber subjektiv zweifellos feststellbar, war ein stark erhöhtes Aufkommen bzw. die Nutzung von kleinen Feuerstellen, einhergehend mit einer Rauch- und Geruchsbelastung. Es gab also deutlich feststellbare Emissionen aus Freizeitaktivitäten. Es kann daher geschlussfolgert werden, dass die gegen Abend stark ansteigende Schadstoffbelastung rund um die Kleingartenanlage durch diese Freizeit-Feuerungen verursacht wurde.

Ein weiteres Indiz ist die Tatsache, dass die Konzentrationen im Bereich der ebenfalls begangenen Georg-Schumann-Straße nicht in diesem Maße anstiegen. Die Georg-Schumann-Straße ist eine der großen Ausfallstraßen in der Stadt Leipzig und generell durch hohes Verkehrsaufkommen gekennzeichnet. Weiterhin gibt es in der Georg-Schumann-Straße zahlreiche weitere potentielle Quellen durch gastronomische Betriebe, vor allem Lieferservice. Ebenfalls niedriger und deutlich langsamer ansteigend waren die Konzentrationen in den angrenzenden Parkanlagen (Rosental im Süden und die städtische Parkanlage rund um die Arbeitsagentur im Norden).

Die gegen Abend stark ansteigenden Schadstoffwerte rund um die Kleingartenanlagen konnten ebenfalls für die BC-Konzentrationen (Ruß) beobachtet werden (Abbildung 8, rechte Spalte). Auch hier war der Anstieg der Konzentrationen zunächst rund um die Kleingartenanlagen zu beobachten, während die Werte auf der Georg-Schumann-Straße vergleichsweise unauffällig blieben.

Der Anstieg der Konzentrationen ist auch in den Zeitreihen für PM₁₀ und BC erkennbar (Abbildung 9).



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

Abbildung 8: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 12.9.2020.
 Dargestellt sind jeweils die gemessenen PM₁₀- (links) und BC- (rechts) Konzentrationen für die an diesem Tag durchgeführten Messungen in chronologischer Reihenfolge (oben: 15:00 - 17:00 Uhr, Mitte: 17:15 - 19:15 Uhr, unten: 19:30 - 21:30 Uhr).

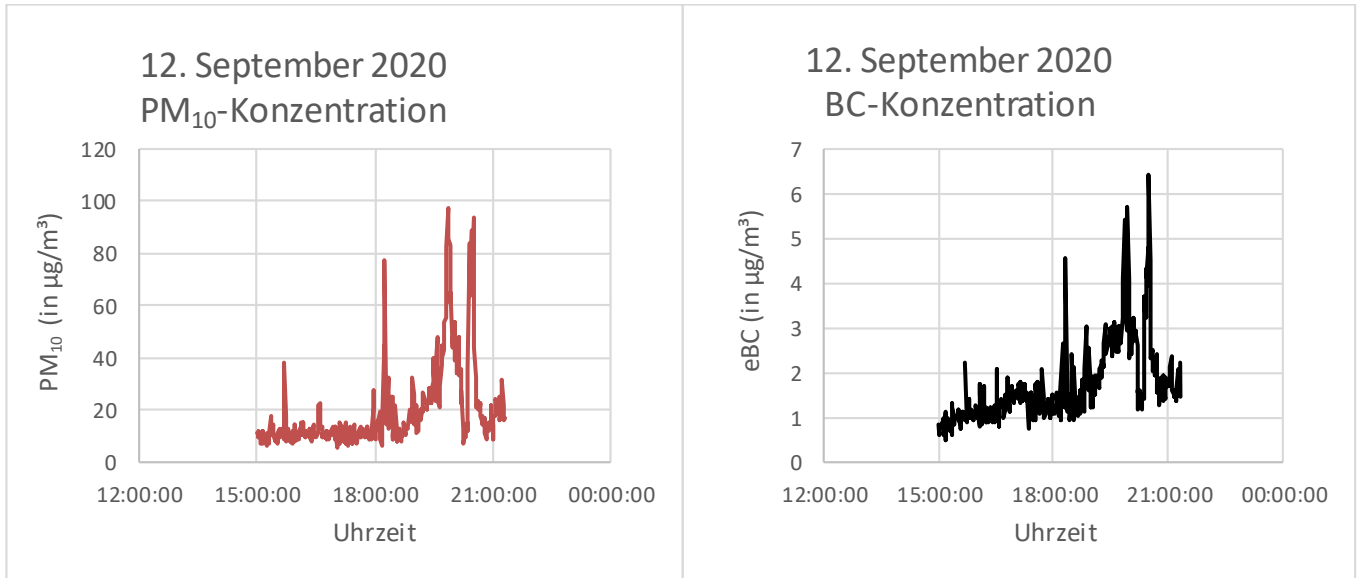


Abbildung 9: Zeitreihen der am 12. September mit den mobilen Messgeräten in Leipzig-Gohlis gemessenen PM₁₀- und BC (Ruß)-Konzentrationen. Die Daten wurden jeweils über 60 Sekunden gemittelt.

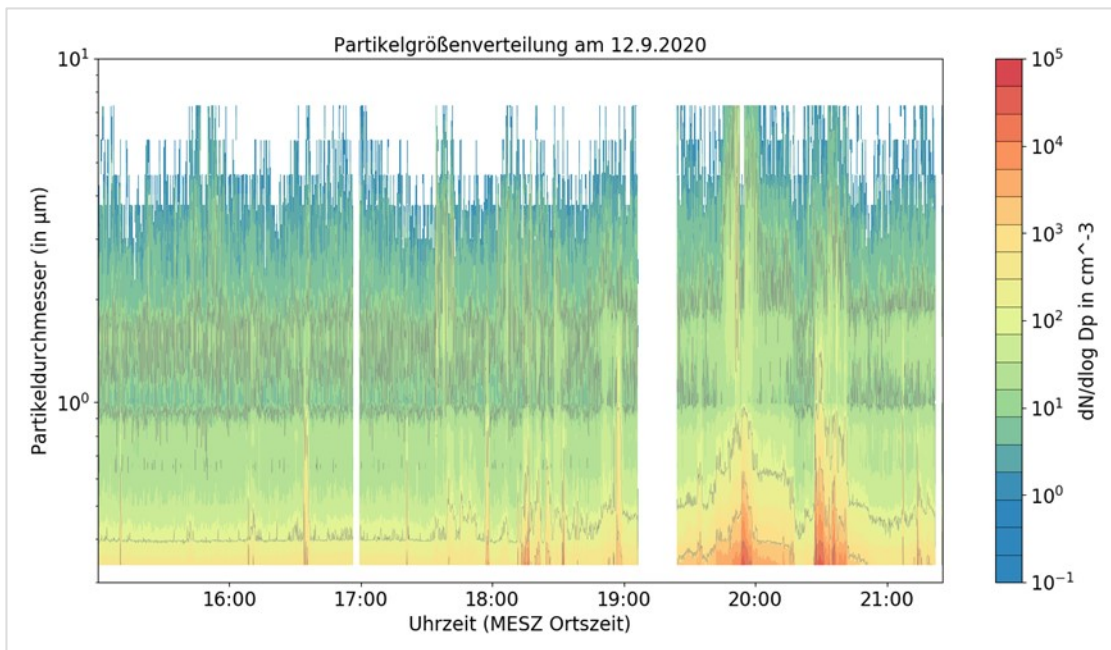


Abbildung 10: Partikelgrößenverteilung (300 nm bis 10 µm), gemessen am 12. September mit dem mobilen Messsystem (Daten des TSI OPS-3330).

Abbildung 10 zeigt die Partikelgrößenverteilung im Bereich von 300 nm bis 10 µm, die mit dem Partikelspektrometer (OPS-3330) des mobilen Messsystems gemessen wurde. Die Abbildung zeigt die komplette Zeitreihe der an diesem Tag durchgeführten Messungen zwischen 15:00 und 21:35 Uhr. Deutlich erkennbar ist der Anstieg der Anzahlkonzentrationen, insbesondere im unteren Partikelgrößenbereich (unter 1 µm), im letzten Drittel der Messreihe. Das letzte Drittel entspricht dem letzten Messrundgang. Die abfallenden Konzentrationen ganz am Ende der Grafik sind durch die Routenführung bedingt. Die Route wurde so begangen, dass der letzte Teil an der Georg-Schumann-Straße und der angrenzenden Parkanlage lag. Wie oben bereits erläutert, war der Anstieg der Konzentrationen dort weniger stark ausgeprägt.

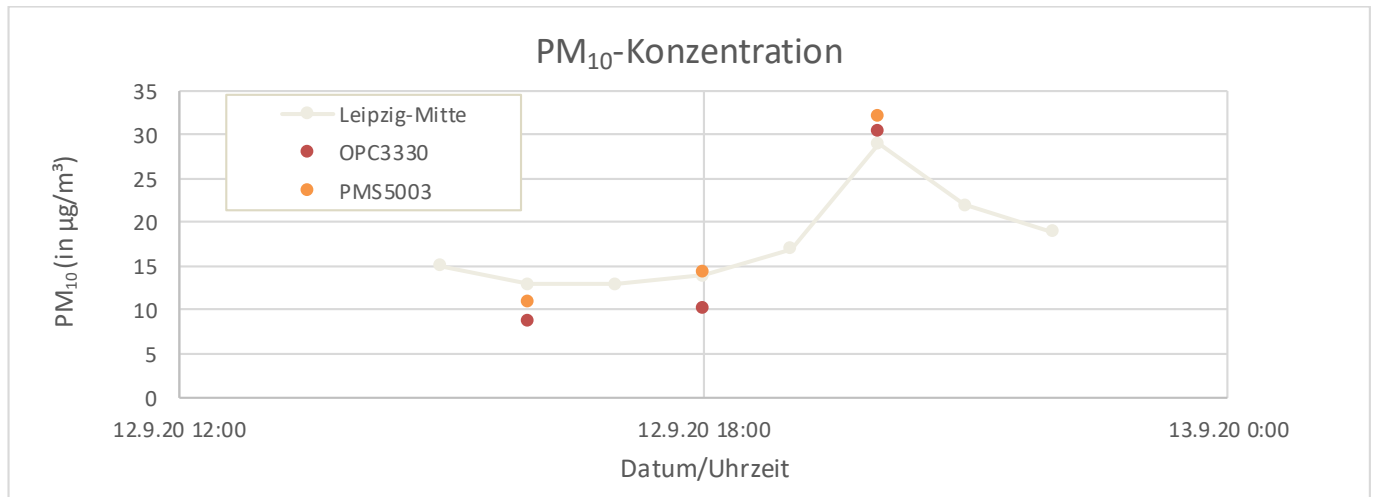


Abbildung 11: Gemittelte PM₁₀-Konzentrationen über jeweils eine komplette mobile Messung im Vergleich zur Messstation Leipzig-Mitte. Daten für die anderen Messungen sind im Anhang zu finden.

Weiterhin wurden die räumlich aufgelösten gemessenen PM₁₀-Konzentrationen über jeweils eine komplette Messung gemittelt und dann mit den Messwerten Leipzig-Mitte verglichen (Abbildung 11). Der beobachtete Verlauf mit dem starken Anstieg in den Abendstunden stimmt qualitativ sehr gut überein.

3.2.1.2 Gesamtzeitraum 1. Messwoche (11.-15. September 2020)

In Abbildung 12 sind nochmals die PM₁₀-Konzentrationen der Stundenmittelwerte, gemittelt über die erste Messwoche vom 11. bis 15. September, dargestellt. Gezeigt sind darin die an der Messstation Leipzig-Mitte gemessenen und gemittelten Stundenwerte, sowie Stundenmittelwerte der mobilen Messungen. Dabei ergibt sich bei den mobilen Messungen durch die zeitliche Mittelung auch eine räumliche Mittelung. Bei einer Dauer von etwa zwei Stunden für einen Messrundgang entspricht die Mittelung etwa einer halben Messrunde. Weiterhin ist zu beachten, dass die Messdaten am Vormittag auf einer einzigen Messung vom Sonntag, den 13. September, basieren.

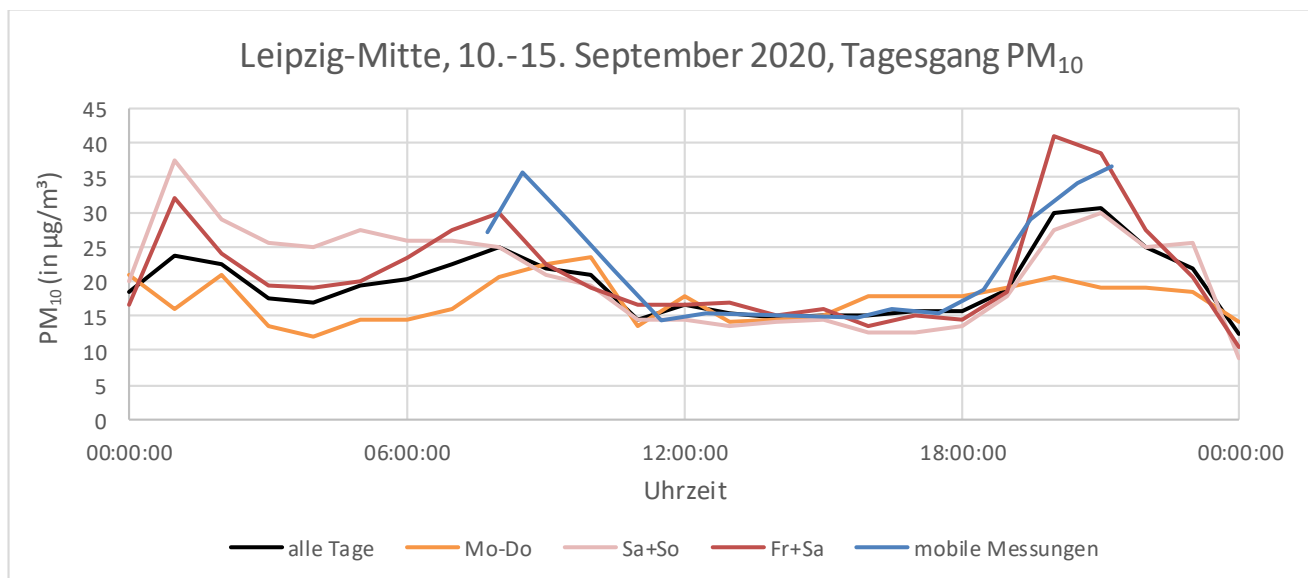


Abbildung 12: Stundenmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte (Quelle LfULG) und der mobilen Rucksackmessungen in Leipzig-Gohlis.

In Abbildung 12 ist erkennbar, dass die stundengemittelten Werte der mobilen PM₁₀-Messungen qualitativ sehr gut den beobachteten Tagesgang an der Station Leipzig-Mitte wiedergeben. Auch quantitativ stimmen die Werte gut überein. Das gilt sowohl für den Vormittag als auch für die Abendstunden.

Daraus kann geschlossen werden, dass im betrachteten Zeitraum die gemessenen Immissionen durch ähnliche Emissionsquellen beeinflusst wurden. Mit anderen Worten sind die Beobachtungen ein starkes Indiz dafür, dass in diesem Zeitraum Emissionen aus Freizeit-Holzfeuerungen bzw. Grillen eine starke Rolle gespielt haben können.

3.2.1.3 Beispielmessungen vom 25. September und 19. Oktober 2020

In den vorherigen Abschnitten wurden die Messungen während der spätsommerlichen Hochdruckwetterlagen, die bis Mitte September 2020 andauerten, gezeigt. Ende September und im Oktober wurden an zwei weiteren Mess- tagen noch zusätzliche Vergleichsmessungen durchgeführt. Bei diesen Messungen kamen nur die mobilen Geräte zum Einsatz. Filterproben wurden an diesen Messtagen keine genommen.

Beide Messtage waren durch, im Vergleich zu den Messtagen zu Beginn der Studie, deutlich geringere Temperaturen gekennzeichnet. Das hatte zur Folge, dass es auch deutlich weniger Emissionen aus Freizeitaktivitäten in den Kleingartenanlagen zu beobachten gab. Das Menschaufkommen war deutlich geringer und es gab nur sehr ver- einzelt Grill- und Holzfeuerungen.

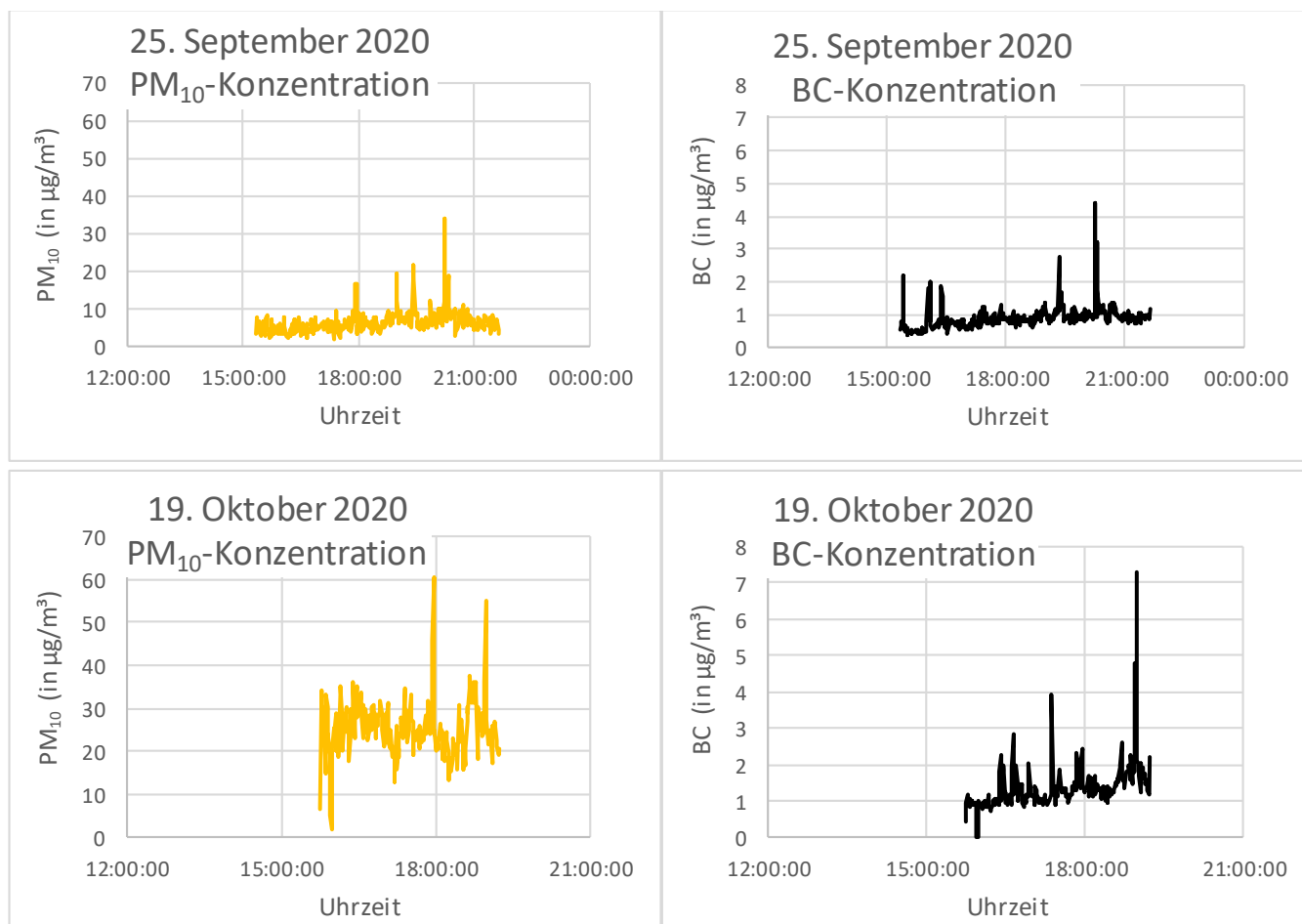


Abbildung 13: Zeitreihen der am 12.9. und 19.10.2020 mit den mobilen Messrucksäcken gemessenen PM₁₀- und BC-Konzentration. Die Zeitreihen zeigen über 60 Sekunden gemittelte Daten.

Die Zeitreihen der mit den mobilen Geräten gemessenen PM₁₀- und BC-Konzentrationen sind in Abbildung 13 dargestellt. Die über jeweils eine Messung gemittelten Werte im Vergleich zur Messstation Leipzig-Mitte sind im Anhang zu finden. In den Abbildungen ist kein klarer Trend ansteigender Konzentrationen in den Abendstunden erkennbar. Damit war an diesen Tagen kein messbarer Freitag-/Samstagabendeffekt vorhanden.

3.2.1.4 Messungen von Levoglucosan

In Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Levoglucosan-Analysen von den mobilen Filtersammlern gezeigt. Die beiden Stationen sind farblich codiert und die meist drei zweistündigen Proben als Nachmittag (meist 15:30 – 17:30 Uhr), Abend (meist 17:30 – 19:30 Uhr) und Nacht (meist 19:30-21:30 Uhr, nach Sonnenuntergang) gekennzeichnet.

Die höchsten Levoglucosan-Konzentrationen wurden während der sommerlichen Warmwetterperiode vom 11. bis 15.9.2020 und hier insbesondere am Freitag, den 11.9.2020, nach Sonnenuntergang gemessen. Im Hintergrund auf dem Parkdeck lag die Konzentration hier bei $2,0 \mu\text{g m}^{-3}$, in der Herloßsohnsstraße nahe der Kleingartenanlage bei $4,9 \mu\text{g m}^{-3}$. In den übrigen Nachtproben während der Warmwetterperiode lagen die Konzentrationen meist zwischen ca. $1 - 1,5 \mu\text{g m}^{-3}$. Dies sind sehr hohe Werte, wenn man sie mit typischen Tagesmittelwerten von Levoglucosan im Sommer vergleicht, die in früheren Untersuchungen im Mittel bei ca. $0,04 - 0,05 \mu\text{g m}^{-3}$ an den Messstationen Leipzig-Mitte, Eisenbahnstraße und TROPOS-Institut lagen und im Maximum nicht über $0,26 \mu\text{g m}^{-3}$ hinauskamen (VAN PINXTEREN et al., 2016). Allerdings muss angemerkt werden, dass diese Tagesmittelwerte nur bedingt zur Einordnung der zweistündigen Abend- und Nachtproben im vorliegenden Projekt geeignet sind, da sie keine Aussagen über Spitzen im Tagesgang zulassen.

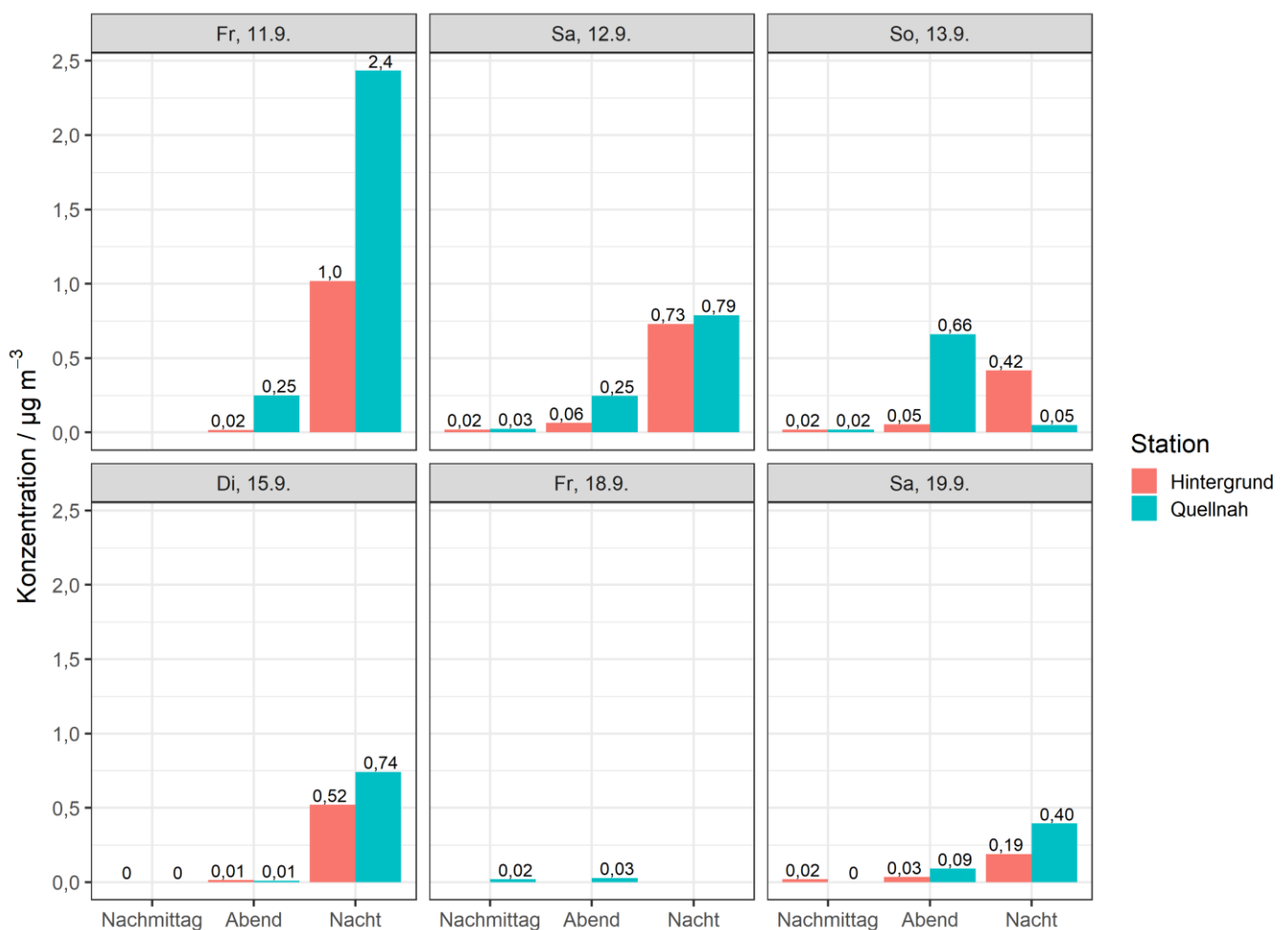


Abbildung 14: Konzentrationen von Levoglucosan an beiden Stationen als 2 h Mittelwerte am Nachmittag (ca. 15:30 - 17:30 Uhr), Abend (ca. 17:30 - 19:30 Uhr) und in der Nacht nach Sonnenuntergang (ca. 19:30 -21:30 Uhr).

Deutlich zu erkennen ist an den meisten Tagen ein Anstieg der Levoglucosan-Konzentration vom Nachmittag mit sehr niedrigen Werten von $0 - 0,05 \mu\text{g m}^{-3}$ über den Abend mit je nach Station und Tag meist $0,02 - 0,5 \mu\text{g m}^{-3}$ hin zu den Nachtproben mit meist $0,4 - 4,9 \mu\text{g m}^{-3}$.

Eine Ausnahme von diesem Muster stellen die quellnahen Proben am Sonntag, 13.9.2020, dar. Hier lag die Konzentration am Abend mit $1,3 \mu\text{g m}^{-3}$ deutlich höher als am Nachmittag und vor allem auch als in der Nacht mit nur noch $0,1 \mu\text{g m}^{-3}$. Auch wurde an diesem Tag in der Nachtprobe zum einzigen Mal eine höhere Konzentration im Hintergrund als an der quellnahen Station gemessen. Dies hat vermutlich zwei Gründe. Zum einen waren die genauen Standorte der beiden Stationen an diesem Tag etwas verschieden von den übrigen Tagen. Da das Parkdeck des Kaufland-Supermarktes am Sonntag geschlossen war, fand die Probenahme stattdessen auf Straßenniveau in der Nähe des Supermarktes statt. Hierdurch kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu einer stärkeren Beeinflussung durch lokale Quellen im direkten Umfeld, z. B. aus Gärten oder Hinterhöfen kam, als dies auf dem Dach des Supermarktes der Fall ist. Die quellnahe Station lag im Gegensatz zu den übrigen Messtagen nicht mehr im Wohngebiet, sondern am Rande des Fahrweges mitten in der Kleingartenanlage. Dadurch ist ebenfalls eine sehr direkte Beeinflussung durch lokale Quellen nicht ausgeschlossen, die v. a. am Sonntagabend plausibel erscheint. Ein weiterer Grund v. a. für das Muster an der quellnahen Station mit Maximum am Abend statt in der Nacht könnte sein, dass sich die mit Holzverbrennung verbundenen Freizeitaktivitäten am Sonntag tatsächlich auf Nachmittag/Abend beschränken und aufgrund des folgenden Werktages zu späteren Abend-/Nachtstunden keine Feuerungen mehr stattfinden.

Interessanterweise zeigen auch die zum Vergleich am Dienstag, den 15.9.2020, durchgeführten Messungen deutliche erhöhte Levoglucosan-Konzentrationen in der Nachtprobe, die ähnlich denen vom Samstag, 12.9.2020, sind. Die vorherigen Abendwerte allerdings liegen am Dienstag deutlich unterhalb der Werte des vorherigen Wochenendes. Dies könnte darauf hindeuten, dass in diesem Gebiet auch werktags nach Feieraabend Grill- oder andere Aktivitäten mit Holzverbrennung stattfinden.

Generell muss bei der hier durchgeführten niedrigen Anzahl von Messungen allerdings berücksichtigt werden, dass auch von Tag zu Tag verschiedene meteorologische Bedingungen wie Windrichtung, Windgeschwindigkeit und die Ausbildung der niedrigen Bodeninversion nach Sonnenuntergang, zu den unterschiedlichen Ergebnissen beitragen können. Für weitere Untersuchungen wäre daher eine höhere Anzahl von Proben hilfreich, die möglichst auch größere Teile des Tagesgangs abdecken sollten. Zusammen mit lokal gemessenen meteorologischen Bedingungen könnten so robustere Rückschlüsse auf lokale Beeinflussungen gezogen werden.

Dennoch lässt sich schon anhand dieser explorativen Untersuchung anhand der hohen Konzentrationen der spezifischen Markerverbindung Levoglucosan feststellen, dass es vor allem die Verbrennung von Biomasse bei Freizeitaktivitäten wie Grillen und Gartenfeuern ist, die am Wochenende zu den beobachteten temporär sehr hohen Belastungen der Luft mit Ruß- und Feinstaubpartikeln führt. Diese können sich ausgehend von Parks, Kleingärten oder auch Hinterhöfen nicht nur in direkt benachbarte Wohngebiete, sondern auch etwas großräumiger in einem Stadtteil verbreiten.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurde der Frage nachgegangen, ob sich die besonders im Sommer an Freitagen und Samstagen abends beobachtbaren Anstiege der Luftschadstoffkonzentrationen auf Emissionen aus Freizeitaktivitäten zurückführen lassen. Dazu wurden im September 2020 in Leipzig-Gohlis mobile Partikelmessungen durchgeführt und Filterproben ausgewertet. Obwohl die Messungen bereits nach dem meteorologischen Herbstanfang stattfanden, war die Messperiode zu Beginn noch durch sommerliche Verhältnisse unter Hochdruckeinfluss gekennzeichnet. Dabei wurden Temperaturen bis maximal knapp über 30 °C erreicht. Der beschriebene Abendeffekt ließ sich an einzelnen Tagen auch an der Messstation Leipzig-Mitte feststellen. Erkennbar war dies an den dort erfassten Messreihen der PM₁₀-Konzentrationen. Dabei war der Effekt allerdings nicht auf die Wochenenden beschränkt, sondern konnte in der ersten Messwoche auch an warmen Werktagen beobachtet werden.

Bei den in Leipzig-Gohlis rund um zahlreiche und große Kleingartenanlagen durchgeführten mobilen Messungen konnte an den sehr warmen Messtagen zu Beginn des Projektes ein hohes Aufkommen von Menschen und Freizeitaktivitäten wie Grillen oder Holzfeuerung (Feuerschalen, Gartenfeuer) beobachtet werden. Ebenfalls war die Feuerstelle der Stadt Leipzig im Rosental fortlaufend belegt.

Die mobilen Partikelmessungen ergaben, dass im Messgebiet an den Tagen mit hohen Temperaturen und hohem Bevölkerungsaufkommen ebenfalls ein Abendeffekt zu beobachten war. Die gemessenen Konzentrationen der PM₁₀- und BC-Konzentration stiegen in den Abendstunden stark an. In den Partikelgrößenverteilungen war ein Anstieg der Partikelanzahl vor allem im Bereich submikroner Partikel sichtbar. Die gemittelten Anstiege der PM₁₀-Konzentrationen passen dabei sehr gut zu den Stundenmittelwerten der Station Leipzig-Mitte.

Die Auswertung der Filterproben an zwei Standorten im städtischen Hintergrund (Parkdeck Kaufland Gohlis sowie quellnah in einem Wohngebiet benachbart zu den Kleingartenanlagen) zeigten, dass sich die erhöhten Belastungen mit PM₁₀ und Ruß (BC) eindeutig auf Emissionen aus der Verbrennung von Holz und anderer Biomasse zurückführen lassen. Die Konzentrationen der chemischen Markerverbindung Levoglucosan lagen v. a. in den Stunden nach Sonnenuntergang teilweise bis zu zwei Größenordnungen über typischen sommerlichen Tagesmittelwerten dieses Partikelinhaltsstoffes. Neben v. a. am Wochenende zu dieser Tageszeit erhöhten Emissionen aus Grill- und anderen Aktivitäten spielt hierbei vermutlich auch die bei bestimmten Wetterlagen schnelle Ausbildung einer sehr niedrigen Bodeninversion eine Rolle, die durch starke Anreicherung der Emissionen in einem kleinen Mischungsvolumen zu stark ansteigenden Konzentrationen führen kann.

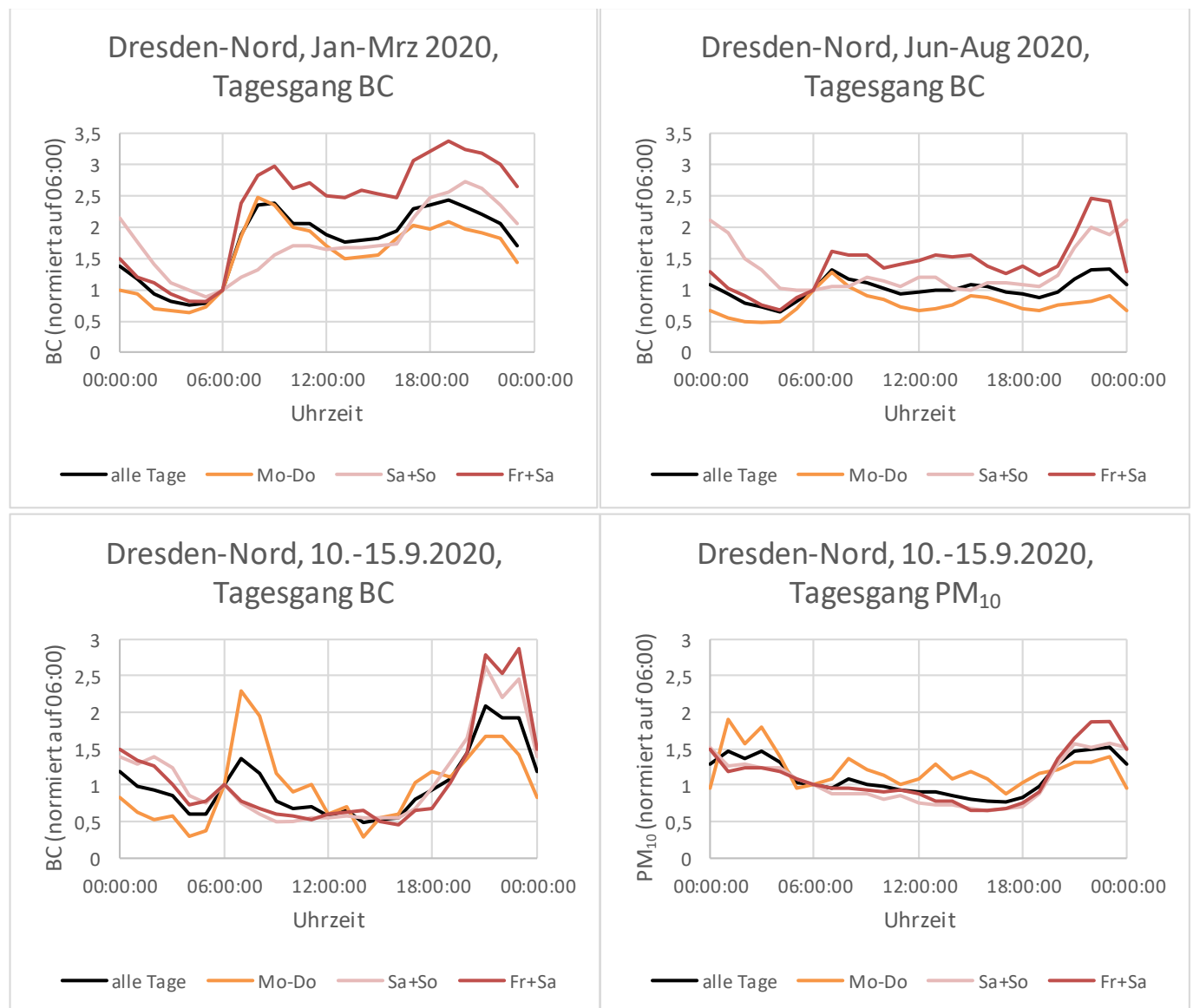
Mit den Ergebnissen dieser Studie konnte ein Beitrag zur Charakterisierung des Freitag-/Samstagabendeffektes geleistet werden. Grundsätzlich stützen die Ergebnisse die These, dass die beobachteten Anstiege der Immissionsmessungen in den Abendstunden zumindest teilweise durch Emissionen von Freizeitaktivitäten verursacht werden. So wurden starke Anstiege der Konzentrationen zunächst im unmittelbaren Umfeld der Kleingartenanlagen gemessen, also dort, wo auch Grill- und Feuerungsaktivitäten gesichtet wurden. Der Anstieg an der ebenfalls begangenen verkehrsreichen, großen Georg-Schumann-Straße war im Gegensatz dazu a) schwächer ausgeprägt und b) zeitlich verzögert und könnte somit zumindest teilweise auch durch eine Ausbreitung der Emissionen aus der Kleingartenanlage über Teile des Stadtgebietes erklärt werden. Allerdings ist festzuhalten, dass die Anzahl der Messungen sehr begrenzt ist. Die Untersuchungen stellen daher nur erste explorative Fallstudien dar und erlauben noch keine statistisch belastbaren Aussagen. Es wäre daher wünschenswert, derartige Messungen in etwas größerem Umfang in einem weiteren Sommer zu wiederholen.

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., MÔCNIK, 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.
- 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.
- UMWELTBUNDESAMT (2020): Feinstaub Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/emissionsminderung-bei-kleinfeuerungsanlagen>.
- VAN PINXTEREN, D., SPINDLER, MÜLLER, K. FOMBA, K.W., INUMA, Y., RASCH, F., WEINHOLD, K., BIRMILI, W., WIEDENSOHLER, 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).

A 1 Anhang

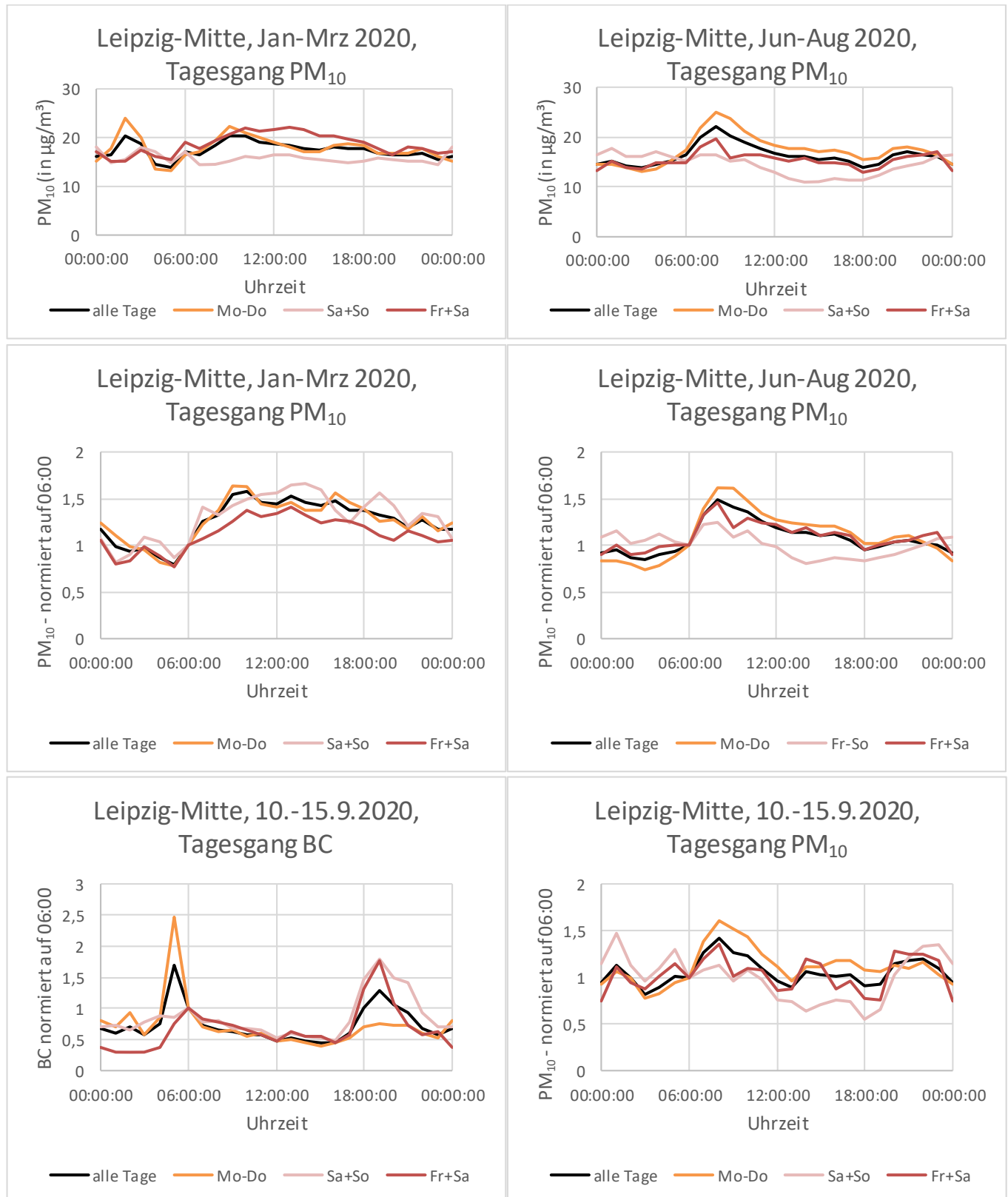
A 1.1 Ausgewählte, mittlere Tagesgänge der BC- und PM₁₀-Konzentrationen an der Messstation Dresden-Nord



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

Abbildung 15: Messstation Dresden-Nord: Mittlere Tagesgänge der BC-Konzentration (Ruß) im Winter (Jan - Mrz 2020), Sommer (Jun-Aug 2020), sowie mittlere Tagesgänge der BC und PM₁₀-Konzentrationen während der ersten Messwoche (10. - 15. September 2020) zur Visualisierung des Freitag-/Samstagabend-Effektes. Die Daten eines Tages wurden jeweils auf 06:00 Uhr normiert.

A 1.2 Mittlere Tagesgänge der PM₁₀- und BC-Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte



Quelle: PM₁₀: LfULG, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/infosysteme/luftonline/recherche.aspx>, BC: TROPOS

Abbildung 16: Messstation Leipzig-Mitte: Mittlere Tagesgänge der PM₁₀- und BC-Konzentration im Winter (Jan - Mrz 2020), Sommer (Jun-Aug 2020) und während der ersten Messtage zur Visualisierung des Freitag-/Samstagabend-Effektes. Die Daten eines Tages wurden jeweils auf 06:00 normiert.

A 1.3 Übersicht über die einzelnen Messungen

In der folgenden Tabelle sind die Zeiten der einzelnen Messungen aufgeführt (Ortszeit, also MESZ).

Tabelle A 1: Übersicht über die einzelnen Messungen

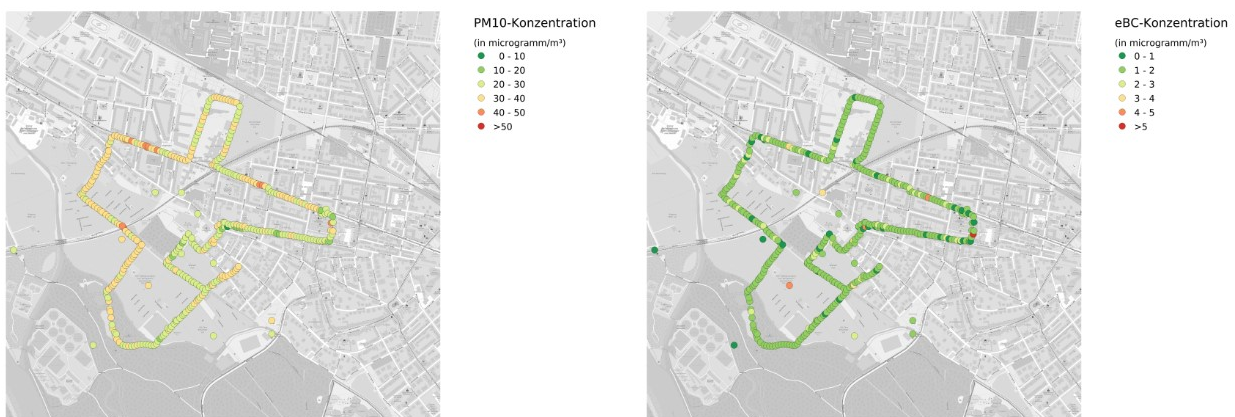
Laufende Nummer	Datum	Uhrzeit	Mobile Messung	Filter-sammler	Bemerkungen
1-1	Fr, 11.09.2020	17:30-19:30	Ja	Ja	Start Filtersammlung an Station 2: 17:55 Uhr
1-2	Fr, 11.09.2020	19:35-21:35	Ja	Ja	
2-1	Sa, 12.09.2020	15:00-17:00	Ja	Ja	
2-2	Sa, 12.09.2020	17:15-19:15	Ja	Ja	
2-3	Sa, 12.09.2020	19:30-21:30	Ja	Ja	
3-1	So, 13.09.2020	07:25-10:30	Ja	Nein	zwei Runden
3-2	So, 13.09.2020	15:00-17:00	Ja	Ja	
3-3	So, 13.09.2020	17:15-19:15	Ja	Ja	
3-4	So, 13.09.2020	19:30-21:30	Ja	Ja	
4-1	Mo, 14.09.2020	13:15-17:00	Ja	Nein	zwei Runden
5-1	Di, 15.09.2020	15:30-17:30	Ja	Ja	Start Filtersammlung Station 2: 15:40 Uhr
5-2	Di, 15.09.2020	17:35-19:35	Ja	Ja	
5-3	Di, 15.09.2020	19:35-21:35	Ja	Ja	
6-1	Fr, 18.09.2020	15:50-17:50	Ja	Ja	Nur eine Filtersammler, Station 2
6-2	Fr, 18.09.2020	17:50-19:20	Ja	Ja	Nur eine Filtersammler, verkürzte Runde
6-3	Fr, 18.09.2020	19:20-21:20	Ja	Nein	Teilw. noch eine Filtermessung
7-1	Sa, 19.09.2020	15:25-17:25	Ja	Ja	
7-2	Sa, 19.09.2020	17:30-19:30	Ja	Ja	
7-3	Sa, 19.09.2020	19:35-21:35	Ja	Ja	
8-1	Mo, 21.09.2020	16:30-18:00	Ja	Nein	
8-2	Mo, 21.09.2020	18:00-19:30	Ja	Nein	
8-3	Mo, 21.09.2020	19:30-20:37	Ja	Nein	
8-4	Mo, 21.09.2020	20:37-21:50	Ja	Nein	
9-1	Fr, 25.09.2020	15:20-16:37	Ja	Nein	
9-2	Fr, 25.09.2020	16:37-18:17	Ja	Nein	
9-3	Fr, 25.09.2020	18:17-19:45	Ja	Nein	
9-4	Fr, 25.09.2020	19:45-21:05	Ja	Nein	
9-5	Fr, 25.09.2020	21:05-21:45	Ja	Nein	
10-1	Mo, 19.10.2020	15:45-17:00	Ja	Nein	
10-2	Mo, 19.10.2020	17:00-18:10	Ja	Nein	
10-3	Mo, 19.10.2020	18:10-19:30	Ja	Nein	

A 1.4 Messergebnisse der mobilen Messungen



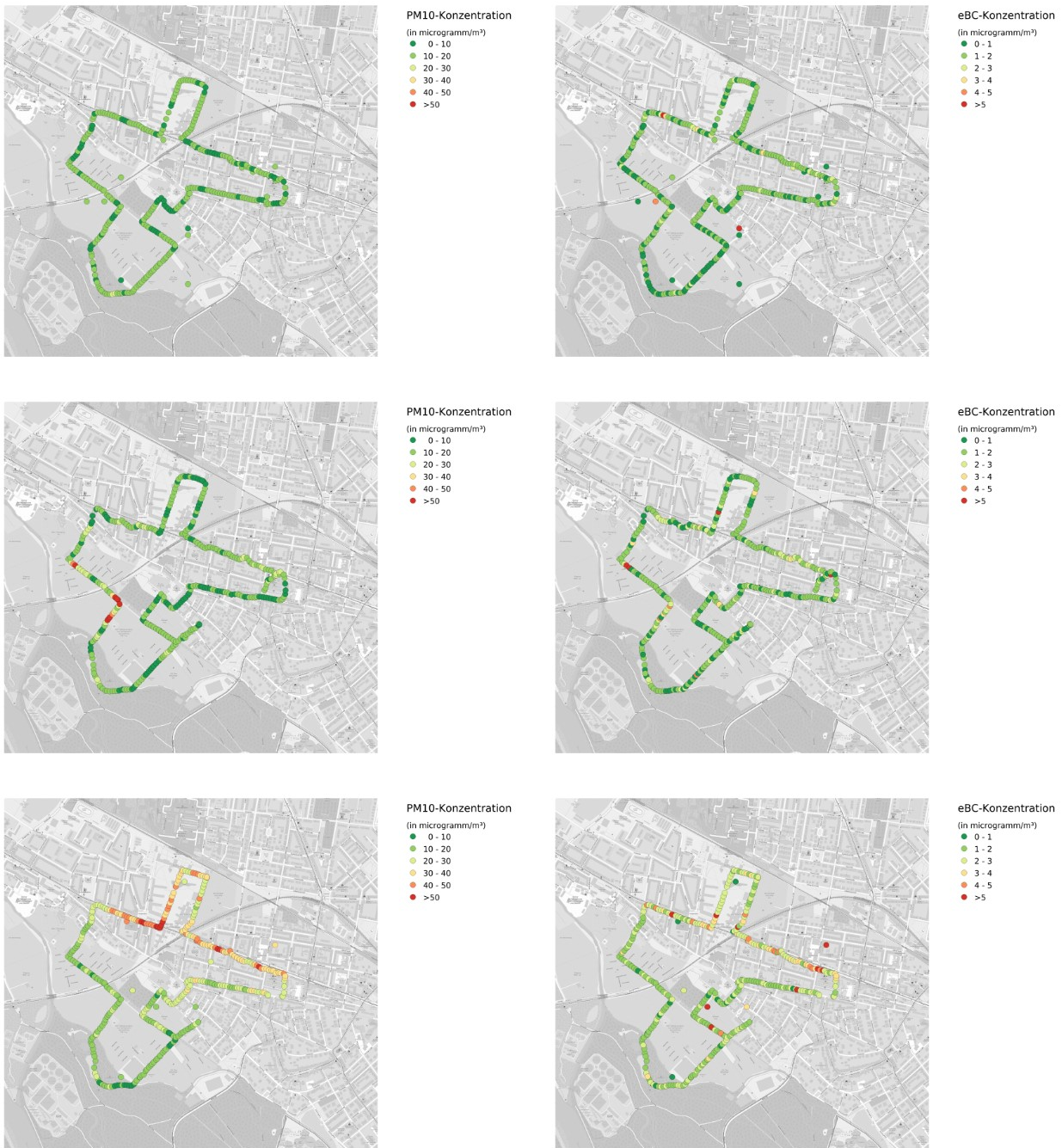
Quelle Kartenmaterial: ©OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 17: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 11.9.2020.
 Dargestellt sind jeweils die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen für durchgeführten Messungen jeweils in chronologischer Reihenfolge (oben: 17:30 - 19:30 Uhr, unten: 19:35 - 21:35 Uhr).



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

Abbildung 18: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (Messungen: 7:00 - 10:00 Uhr).



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

Abbildung 19: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Sonntag, den 13.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 15:00 - 17:00 Uhr,
 Mitte: 17:15 - 19:15 Uhr, unten: 19:30 - 21:30 Uhr).

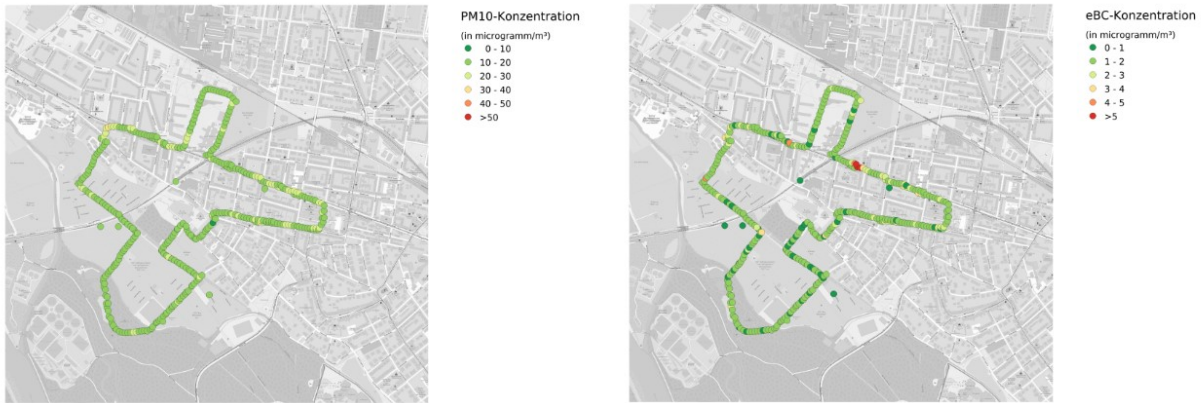
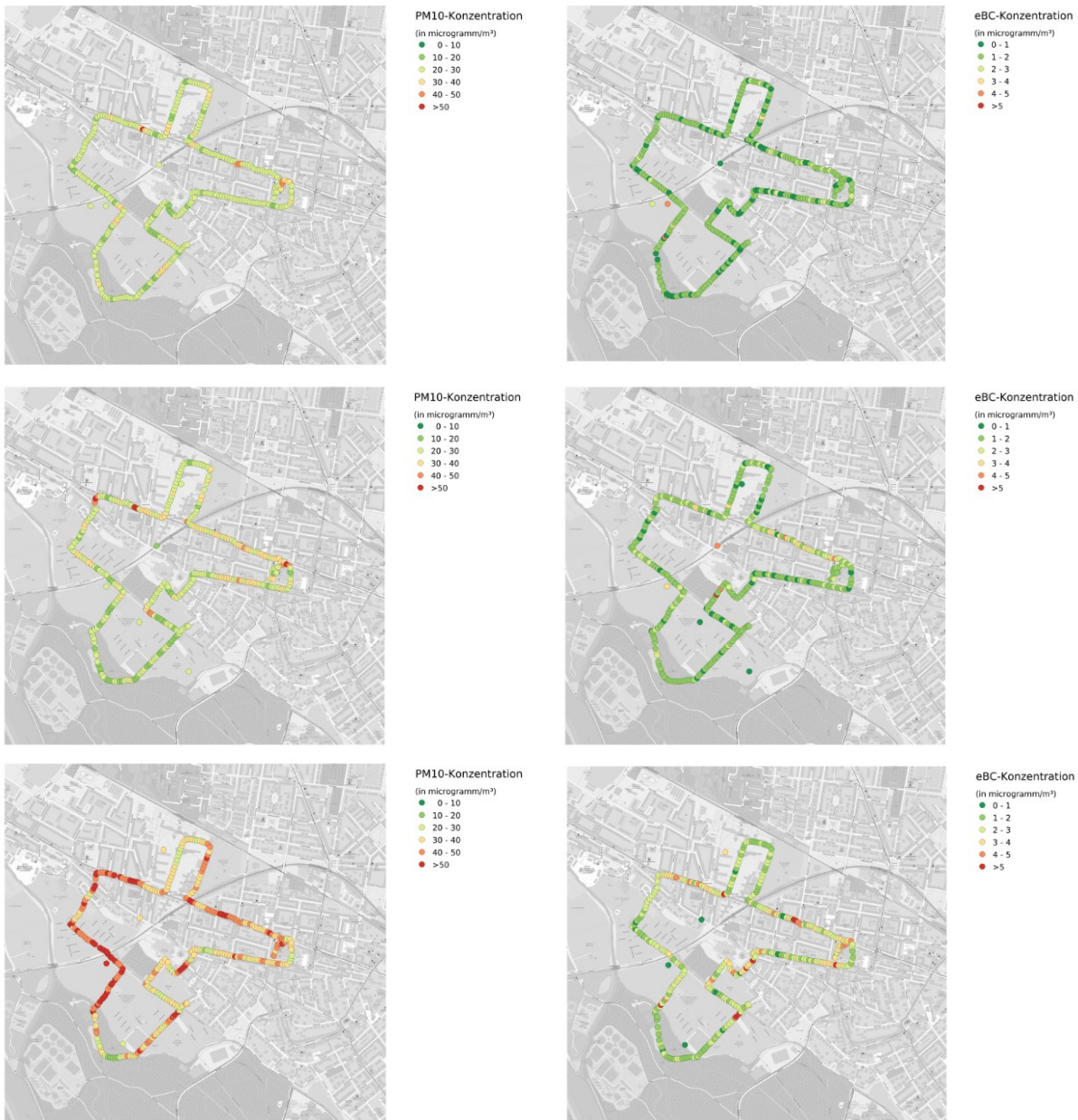
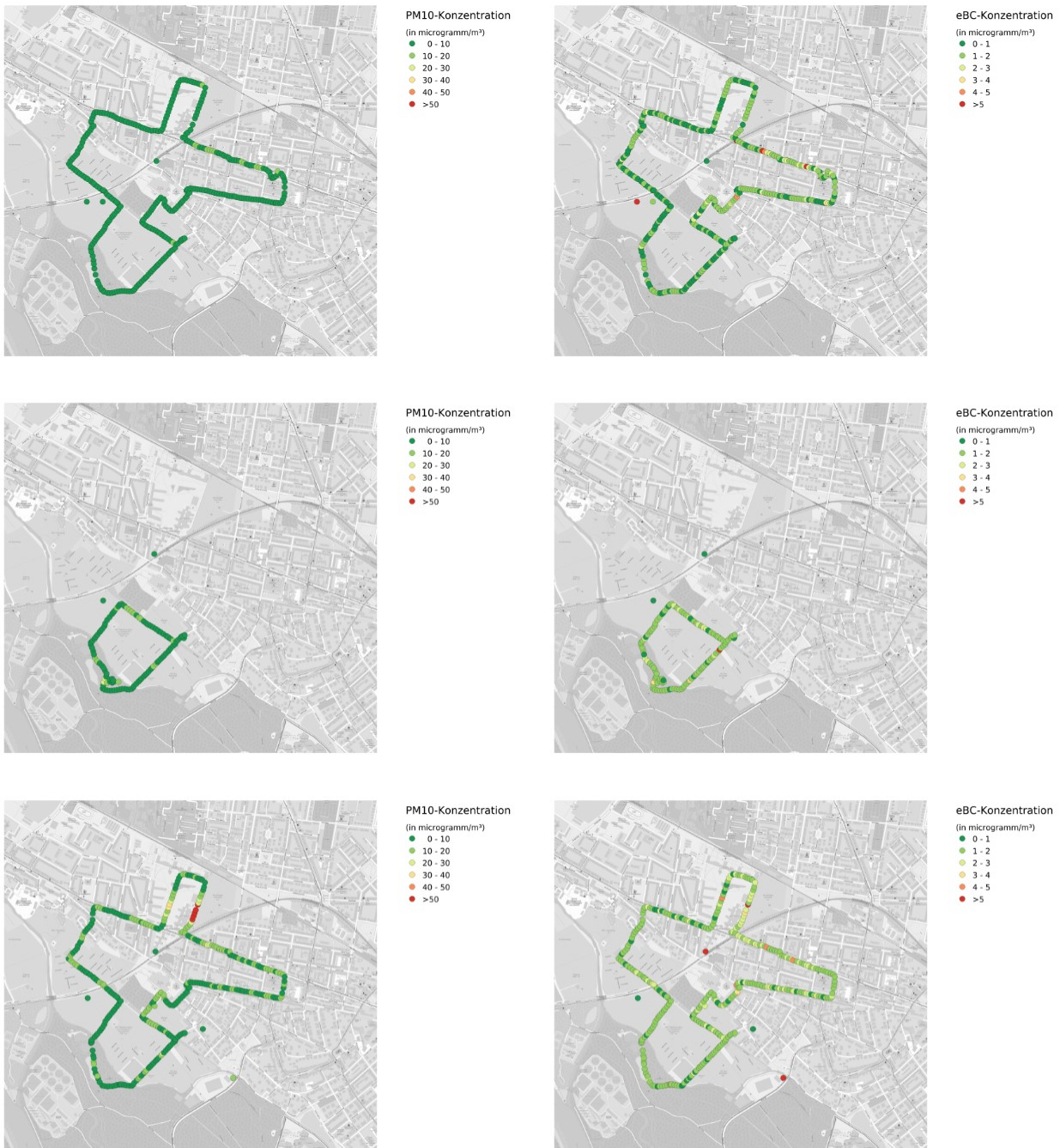


Abbildung 20: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 14.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (Messungen: 13:15 - 17:00 Uhr).



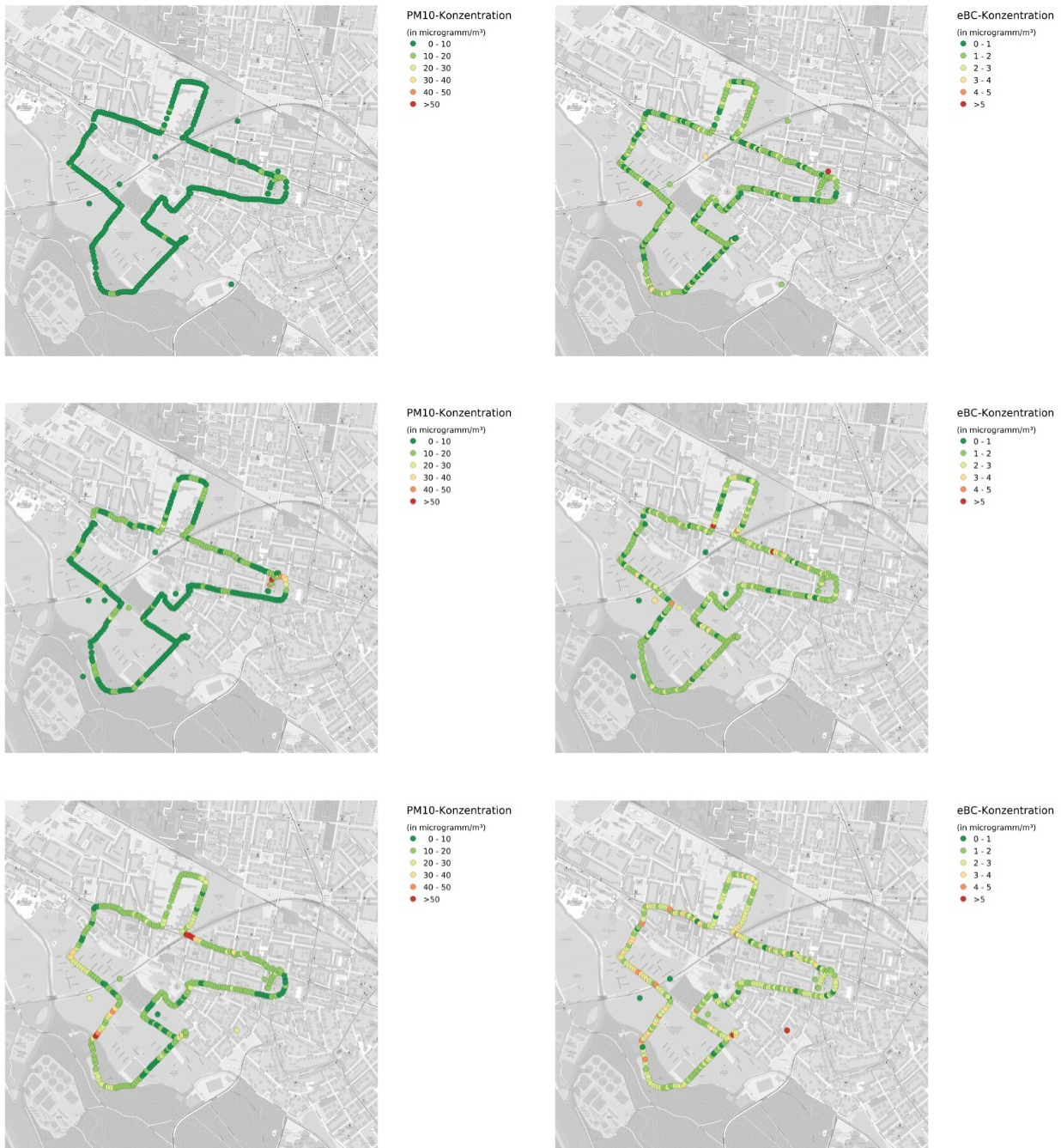
Quelle Kartenmaterial: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 21: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Dienstag, den 15.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 15:30 - 17:30 Uhr,
 Mitte: 17:35 - 19:35 Uhr, unten: 19:35 - 21:35 Uhr).



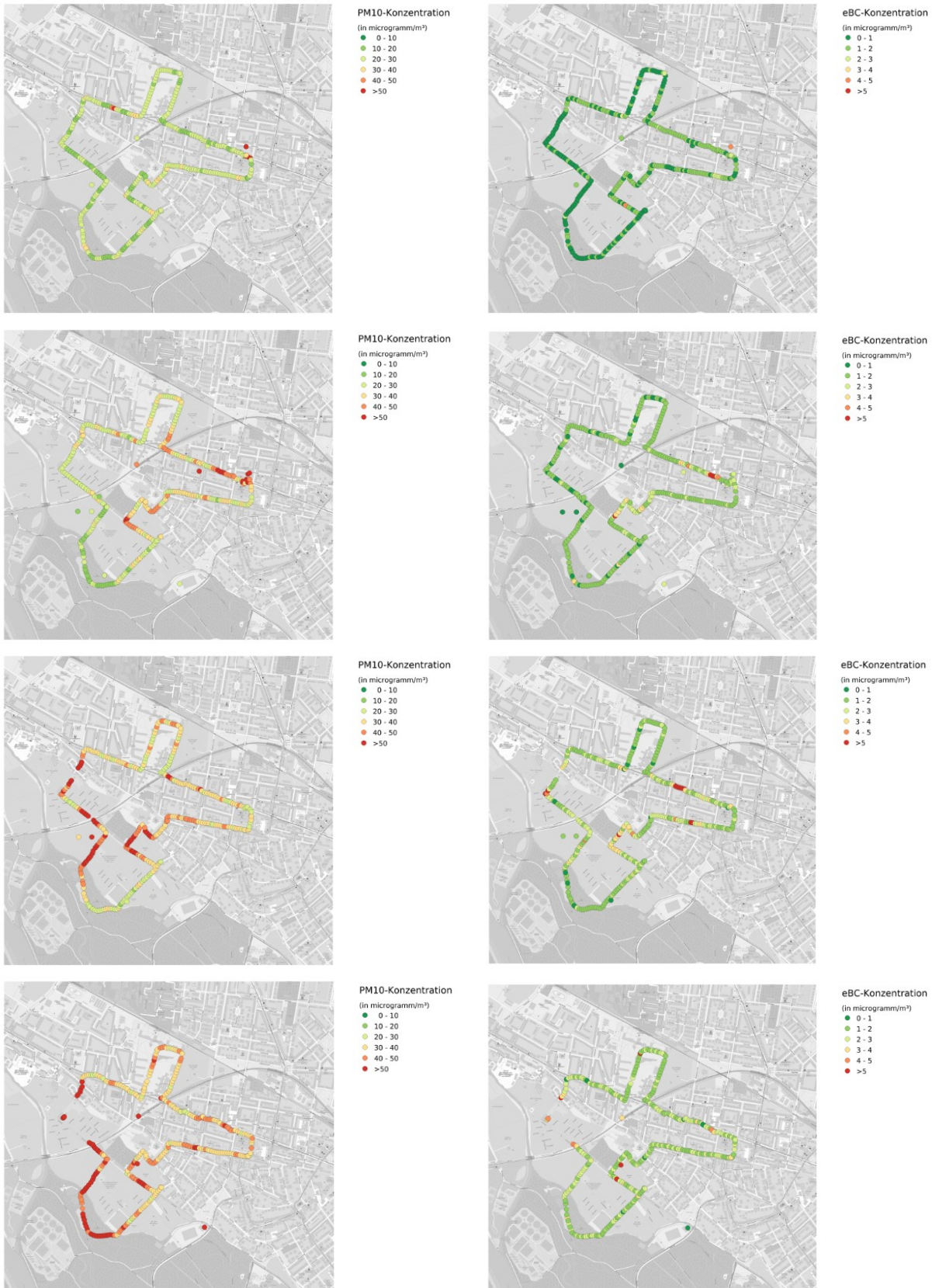
Quelle Kartenmaterial: ©OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 22: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 18.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 15:50 - 17:50 Uhr,
 Mitte: 17:50 - 19:20 Uhr, unten: 19:20 - 21:20 Uhr).



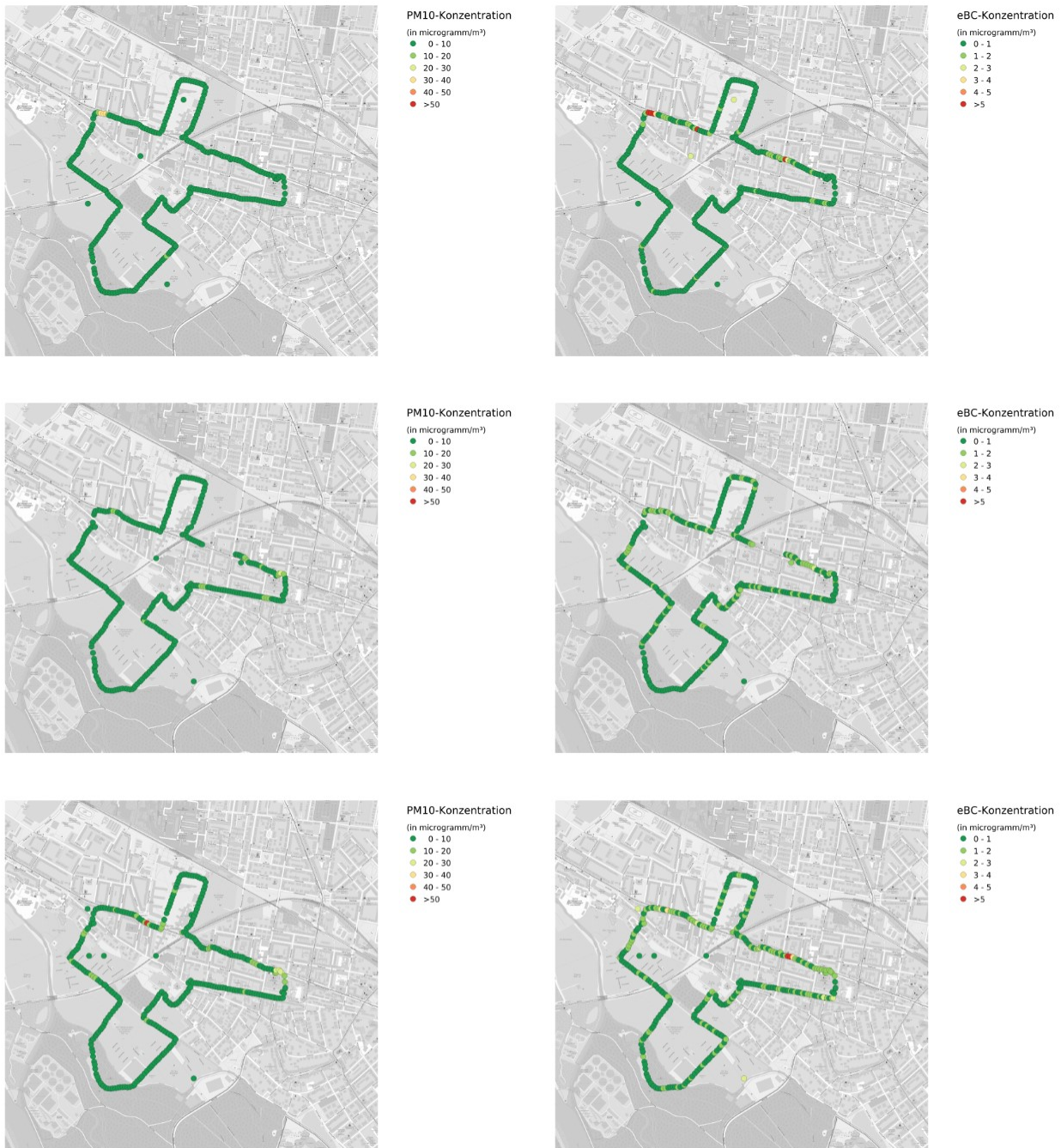
Quelle Kartenmaterial: ©OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 23: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Samstag, den 19.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 15:25 - 17:25 Uhr,
 Mitte: 17:30 - 19:30 Uhr, unten: 19:35 - 21:35 Uhr).



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

Abbildung 24: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 21.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 16:30 - 18:00 Uhr,
 Mitte: 18:00 - 19:30 Uhr, 19:30 - 20:37 Uhr, unten: 20:37 - 21:50 Uhr).



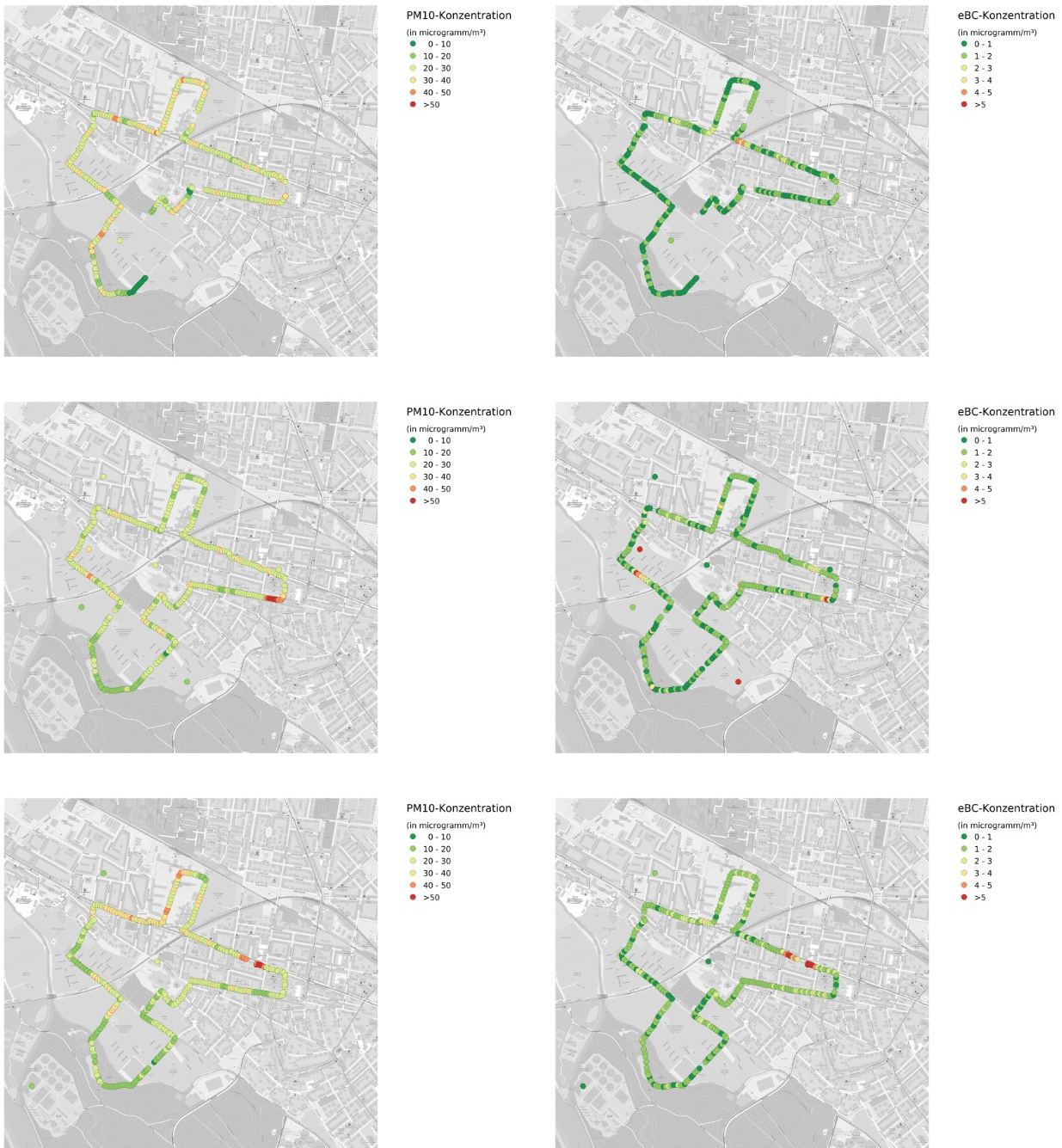
Quelle Kartenmaterial: ©OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz, www.openstreetmap.org/copyright)

Abbildung 25: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 25.9.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 15:20 - 16:37 Uhr,
 Mitte: 16:37 - 18:17 Uhr, unten: 18:17 - 19:45 Uhr).



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

Abbildung 26: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Freitag, den 25.9.2020. Dargestellt sind die PM₁₀-(links) und BC- (rechts) Konzentrationen (oben: 19:45 - 21:05 Uhr, unten: 21:05 - 21:45 Uhr).



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

Abbildung 27: Ergebnisse der mobilen Messungen vom Montag, den 19.10.2020.
 Dargestellt sind die PM₁₀ (links) und BC (rechts) Konzentrationen (oben: 15:45 - 17:00 Uhr,
 Mitte: 17:00 - 18:10 Uhr, unten: 18:10 - 19:30 Uhr).

A 1.5 Stundenmittelwerte der mobilen Messungen im Vergleich zur Messstation Leipzig-Mitte

In den Diagrammen werden Stundenmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte mit jeweils über einen kompletten Messgang gemittelte PM₁₀-Konzentrationen der mobilen Messungen verglichen.

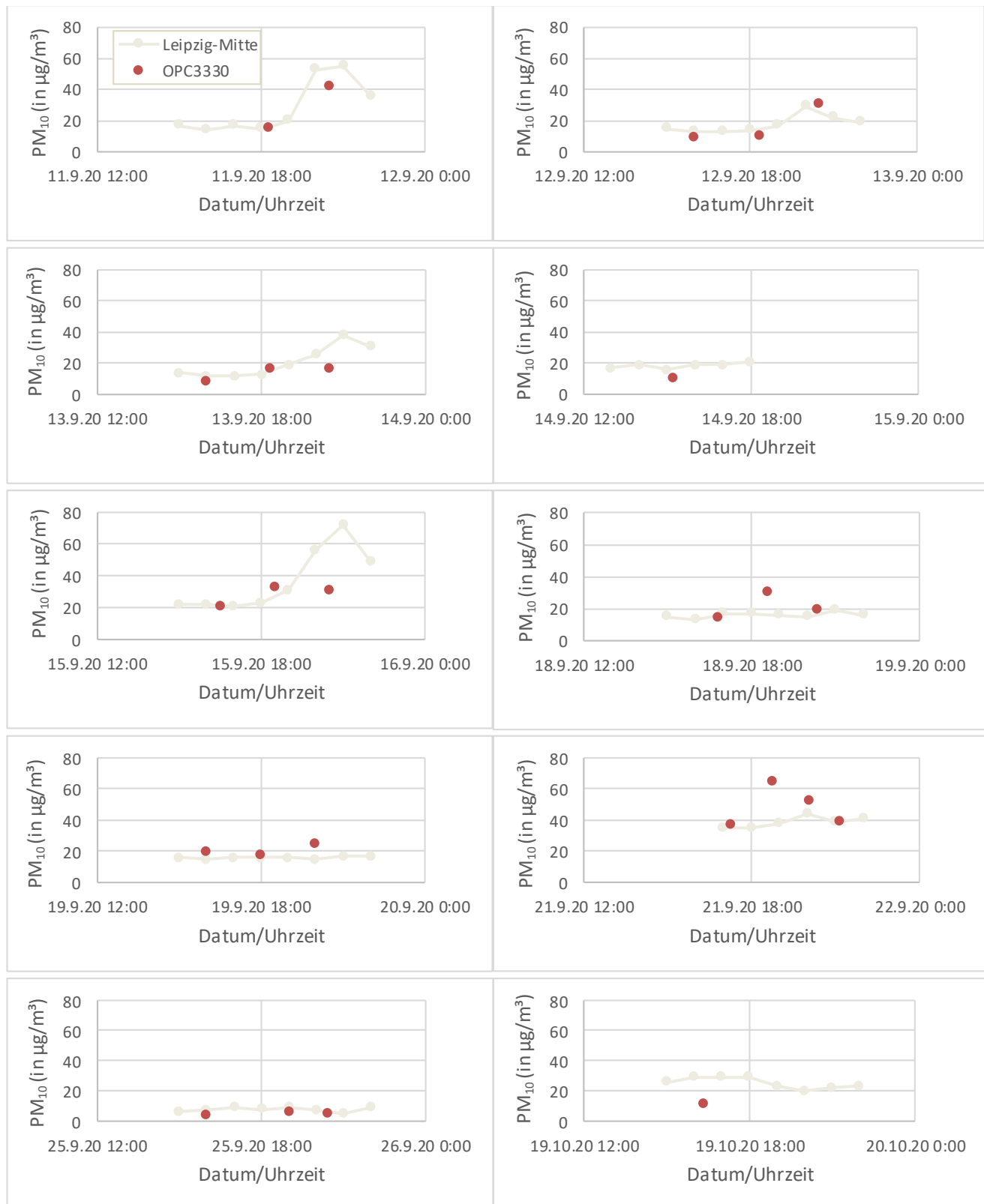


Abbildung 28: Stundenmittelwerte der PM₁₀-Konzentrationen an der Messstation Leipzig-Mitte (Quelle LfULG) und der mobilen Messungen in Leipzig-Gohlis.

A 1.6 Partikelgrößenverteilungen

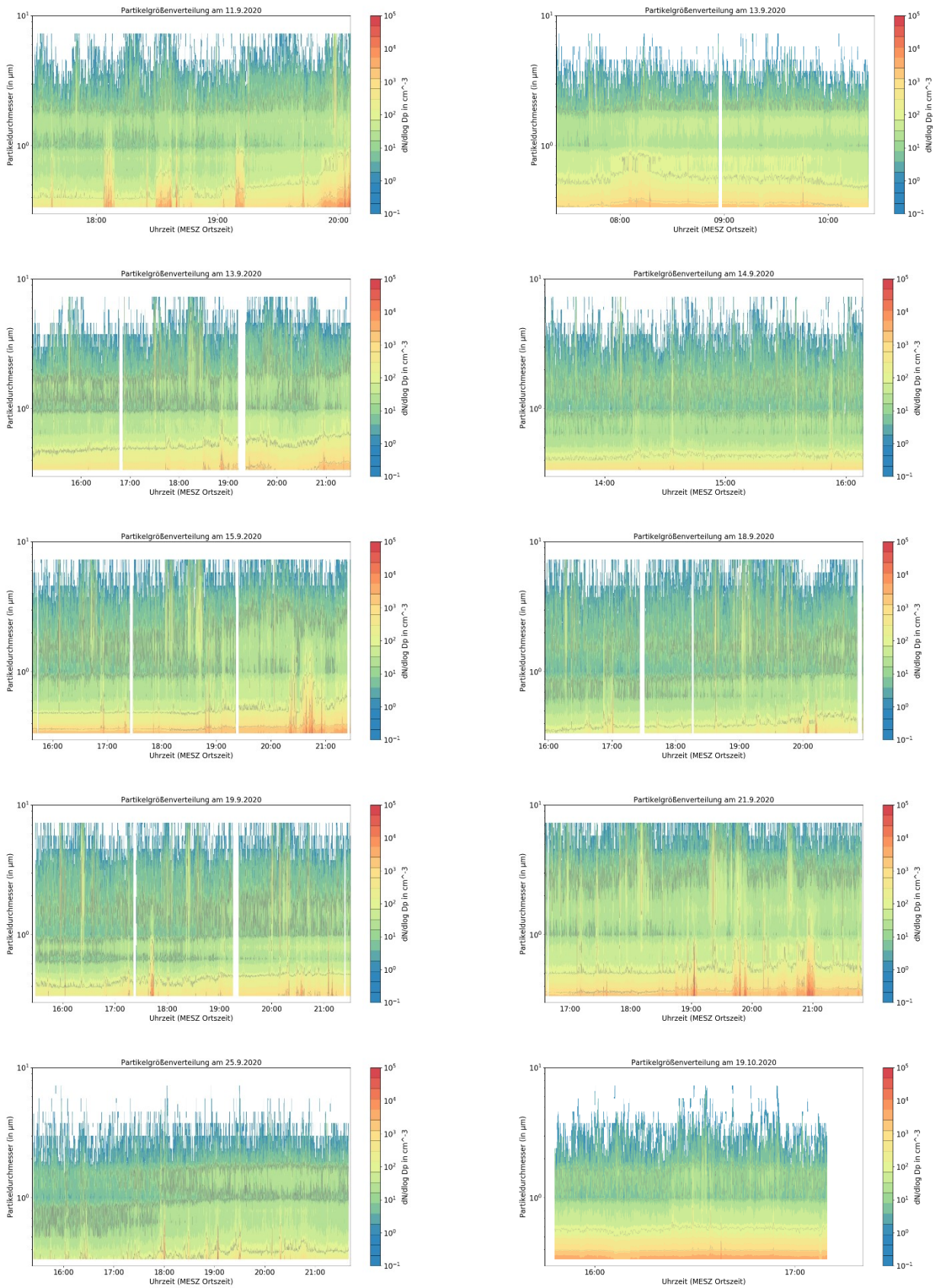


Abbildung 29: Partikelgrößenverteilungen, gemessen mit dem OPS-3330 (TSI).

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

Autoren:

Jens Vogtländer, Dominik van Pinxteren, Hartmut Herrmann,
Alfred Wiedensohler

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: © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz,
www.openstreetmap.org/copyright), ergänzt Jens Vogtländer;

Innenseiten: Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (TROPOS),
Kartenmaterial © OpenStreetMap-Mitwirkende (CC BY-SA 2.0 Lizenz,
www.openstreetmap.org/copyright)

Redaktionsschluss:

03.12.2020

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 Staatsregierung 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