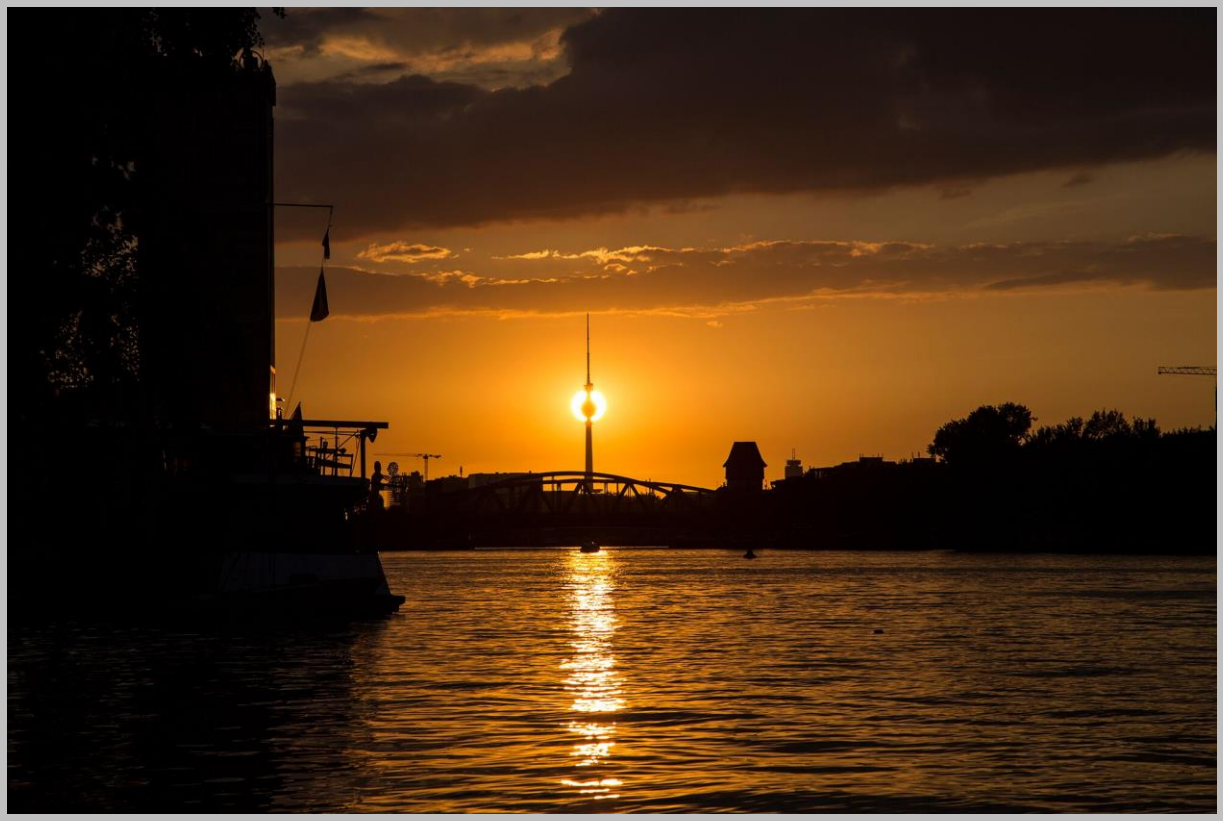
Senatsverwaltung
für Umwelt, Verkehr
und Klimaschutz

Berlin



Umwelt - Luftqualität

Luftgütemessdaten
Jahresbericht 2018

Impressum

Herausgeber:

Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

Brückenstraße 6

10179 Berlin

Tel.: 030-9025-0

Bearbeitung:

Paul Herenz, Dr. Katja Grunow, Dr. Heike Kaupp, Rainer Nothard, Sebastian Clemen

Unter Mitarbeit von:

Klaus-Dieter Gäde, Nadine Kemnitz, Anton Koppetsch, Sylvia Krüger, Jörg Preuß, Michaela Preuß, Martin Schacht, Maximilian Steinbach, Ida Steuck, Beate Stock, Philipp Tödter, Sebastian Trutz,
Monika Weiß

Kapitel 6 in Kooperation mit Chi-Long Tang (TROPOS)

Stand:

August 2019

Bezug des Berichts bei:

Paul Herenz

Tel.: 030-9025-2319 / Fax: 030-9025-2952

E-Mail: paul.herenz@senuvk.berlin.de

Titelbild:

Berliner Fernsehturm bei Sonnenuntergang (Quelle: Elias Näther, eliasnaether.de)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Überwachung der Luftqualität in Berlin 1

2.1 Das Berliner Luftgütemessnetz 1

2.2 Grenz- und Zielwerte nach 39. BImSchV 6

3 Verfügbarkeit der Messdaten 7

4 Witterung im Jahr 2018 und deren Einfluss auf die Konzentrationen von Luftschadstoffen 8

Windrichtung 8
Temperatur 9
Sonnenscheindauer 10
Niederschlag 10

5 Die Luftqualität in Berlin im Jahr 2018 11

5.1 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickoxiden (NO_x) 11
Stickstoffdioxid (NO_2) 12
Langzeittrend von Stickstoffdioxid 12
Stickoxide 15

5.2 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für PM_{10} und $PM_{2.5}$ sowie für den AEI 16
PM_{10} 16
Langzeittrend von PM_{10} 17
$PM_{2,5}$ 19
Average Exposure Indicator (AEI) 19

5.3 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Staubinhaltsstoffe 21
Benzo(a)pyren in PM_{10} 21
Schwermetalle in PM_{10} 21
EC und OC 21

5.4 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Ozon 23
Ozon 23
AOT 24
Langzeittrend von Ozon 24

5.5 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Schwefeldioxid, Kohlenstoffmonoxid und Benzol 26
SO_2, CO und Benzol 26
Langzeittrend von Benzol 26

6 Verhaltensbedingte Beiträge zur Luftbelastung mit Partikeln 28

6.1 Einfluss von Grillen auf die Luftbelastung mit Partikeln 28

6.2 Holzverbrennungsanteil an PM_{10}-Überschreitungstagen 29

Begriffsbestimmungen und Abkürzungsverzeichnis 31

Abbildungsverzeichnis 33

Tabellenverzeichnis 34

Quellenverzeichnis 35

1 Einleitung

Der vorliegende Jahresbericht informiert über die Luftschadstoffbelastung in Berlin im Jahr 2018. Berlin ist, wie alle deutschen Bundesländer, nach § 44 (1) des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) verpflichtet, die Luftverunreinigung kontinuierlich zu überwachen. In der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV), welche der Umsetzung der EU-Luftqualitätsrichtline 2008/50/EG dient, sind z.B. Grenz- und Zielwerte für die einzelnen Luftschadstoffe, Art und der Umfang der Messungen sowie Vorgaben zu Messverfahren und Messstellenplatzierung festgelegt.

Wie die Überwachung der Luftqualität in Berlin umgesetzt wird und welche Grenz- und Zielwerte gelten, kann dem zweiten Abschnitt „Überwachung der Luftqualität“ entnommen werden. Der dritte Abschnitt enthält eine Übersicht über die Verfügbarkeit der Messdaten. Die meteorologische Situation in Berlin im Jahr 2018 wird im vierten Abschnitt „Witterung“ anhand von Messdaten der DWD-Station Berlin-Dahlem dargestellt. Die Ergebnisse der Messungen der wichtigsten Luftschadstoffe sowie die langfristige Entwicklung der Konzentrationen werden im fünften Abschnitt „Die Luftqualität in Berlin im Jahr 2018“ präsentiert und erörtert. Zum Abschluss des Berichtes wird im sechsten Abschnitt darauf eingegangen, wie das Verhalten der Bevölkerung in Berlin zur Belastung bezüglich PM_{10} beiträgt und wie sich diese in den Messwerten widerspiegelt.

2 Überwachung der Luftqualität in Berlin

2.1 Das Berliner Luftgütemessnetz

Die Überwachung der Berliner Luftqualität ist in Deutschland eine Aufgabe der Bundesländer, die Berlin bereits seit Mitte der 1970er Jahre mit seinem Luftgütemessnetz wahrnimmt.

Um die Luftqualität im Hinblick auf die menschliche Gesundheit beurteilen zu können, sind einerseits Daten in Bereichen mit den höchsten Werten zu erheben, denen die Bevölkerung direkt oder indirekt über einen im Vergleich zum jeweiligen Grenzwert relevanten Zeitraum ausgesetzt ist. Zum anderen müssen Daten gewonnen werden für Bereiche, deren Belastung für die Exposition der Bevölkerung allgemein repräsentativ ist.

Konkret heißt dies in Berlin:

- für viele Luftschadstoffe, allen voran Partikel PM_{10} und Stickstoffdioxid (NO_2), ist die Belastung an Hauptverkehrsstraßen am höchsten. Für Ozon, das aus sogenannten Vorläufersubstanzen gebildet wird, werden dagegen die höchsten Konzentrationen am Stadtrand beobachtet.
- Für alle Luftschadstoffe werden die für die Belastung der Bevölkerung allgemein relevanten Werte in den Wohngebieten der Innenstadt gemessen.

Um diese „Belastungsregime“ abzudecken, erfüllt jede Messstelle des Berliner Luftgütemessnetzes die Charakteristik einer der drei Kategorien „Verkehr“, „städtischer Hintergrund“ oder „Stadtrand“. Am Stadtrand kann auch festgestellt werden, welcher Anteil der Schadstoffe von außerhalb des Stadtgebietes kommt. Die Kenntnis dieses Beitrages ist sehr wichtig, um lokale Belastungsschwerpunkte zu identifizieren und adäquate Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffbelastung für die Berliner Bevölkerung umzusetzen.

Im Jahr 2018 betrieb das Berliner Luftgütemessnetz Messstellen an 39 Standorten, darunter 16 Messcontainer zur Überwachung der Luftqualität gemäß der 39. BImSchV (vgl. Abbildung 1 und Tabelle 1), von denen sechs verkehrsnah und jeweils fünf in innerstädtischen Wohngebieten und am Stadtrand platziert waren. An allen Messcontainern wurden Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid (mit dem Chemolumineszenzverfahren), an elf Stationen Partikel PM_{10} (durch Streulichtmessung), an sieben Stationen Ozon (durch Absorption von UV-Strahlung), an zwei Stationen Kohlenmonoxid (durch Absorption von Infrarotstrahlung), an drei Stationen Benzol (durch Gaschromatographie) und an zwei Stationen Schwefeldioxid (durch UV-Fluoreszenz) gemessen. Zusätzlich wird ein mobiler Messwagen betrieben, der im Jahr 2018 zur messtechnischen Begleitung der Tempo30-Anordnung in der Leipziger Straße zum Einsatz kam.

Das Containermessnetz wird in Berlin bereits seit Mitte der 1990er Jahre durch kleine, an Straßenlaternen befestigte Probenahmegeräte und Passivsammler ergänzt. Diese sind insbesondere für die Erfassung der Belastung aus dem Straßenverkehr eine wichtige Ergänzung der Datengrundlage, da dieser für die meisten Schadstoffe einen erheblichen Teil zur Immissionsbelastung beiträgt, in engeren Straßen der Innenstadt aber schon aus Platzgründen keine Messcontainer betrieben werden können. Mit diesen Probenahmen („Ruß- und Benzol-Immissionssammler“, RUBIS) und den Passivsammlern für Stickstoffdioxid und Stickoxide wurde im Jahr 2018 an 23 zusätzlichen Stellen im Berliner Stadtgebiet die Belastung mit EC und OC sowie mit Stickoxiden in zweiwöchiger Auflösung ermittelt. Insbesondere für Stickstoffdioxid sind die an diesen Stellen ermittelten Jahresmittelwerte eine wichtige zusätzliche Beurteilungsgrundlage. Die Messungen werden durch Modellrechnungen für alle Straßenabschnitte ergänzt, um die Belastung im gesamten Berliner Stadtgebiet einzuschätzen. Seit Beginn des Jahres 2019 wurden 13 weitere Stickstoffdioxid-Passivsammler in Betrieb genommen. Diese wurden an ausgewählten Stellen positioniert um einerseits gerichtlich angeordnete Fahrverbote oder Tempo-30 Zonen messtechnisch zu begleiten und andererseits die mit Modellen errechnete hohe NO_2-Konzentrationen zu überprüfen.

Für die Aussagekraft und Güte der Messwerte sind neben der Platzierung der Messstellen auch die technische Ausstattung, die verwendeten Messverfahren, die Kompetenz des technischen Betriebs sowie alle Maßnahmen zur Qualitätssicherung und -kontrolle Schlüsselfaktoren. In der 39. BImSchV als derzeit gültiger gesetzlicher Grundlage sind hierfür detaillierte Kriterien festgelegt. Auch die Vorgängerverordnung (22. BImSchV) enthielt bereits entsprechende Vorgaben, die sich allerdings in dem langen Gültigkeitszeitraum (1993 – 2010) mehrfach änderten. Änderungen grundlegender Kriterien sind für die Luftgütemessnetze stets problematisch: Um Aussagen über die Entwicklung der Luftgüte zu treffen, die die Grundlage für alle Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität sind, müssen die Messungen möglichst lange an derselben Stelle stattfinden.

Im Zuge der Diskussion um Fahrverbote für ältere Dieselfahrzeuge, die 2018 mit großer Vehemenz geführt wurde, wurde auch der Vorwurf erhoben, die Straßenmessstellen der Luftgütemessnetze seien falsch platziert. Daraufhin beauftragte das Bundesumweltministerium Ende 2018 den TÜV Rheinland damit, die Standortauswahl von bundesweit 70 Stickstoffdioxid-Messstellen zu untersuchen. Für Berlin wurden alle sechs Multikomponenten-Messcontainer an Verkehrsstandorten in diese Untersuchung einbezogen. Das im Juli 2019 offizielle vorgestellte TÜV-Gutachten (1) bestätigt die Einschätzung des Berliner Luftgütemessnetzes, nach der die Messcontainer an Straßen – mit einer stets als solcher benannten Ausnahme – alle Vorgaben der 39. BImSchV in vollem Umfang erfüllen. Lediglich der Messcontainer an der Silbersteinstraße (MC143) steht nach aktuellem Maßstab etwas zu nah am Rand der nächstgelegenen verkehrsreichen Kreuzung, erfüllt aber alle anderen Vorgaben uneingeschränkt.

In den Messcontainern werden die Daten zum Beispiel für Ozon, Stickstoffdioxid sowie Partikel PM_{10} und $PM_{2,5}$ („Feinstaub“) mit automatischen Messgeräten gewonnen. Zusätzlich werden hier auch Probenahmegeräte betrieben, insbesondere zur Bestimmung von PM_{10} und $PM_{2,5}$ mit dem europaweiten gravimetrischen Referenzverfahren. In einem Teil dieser Partikelproben werden Benzo(a)pyren, Blei, Arsen, Cadmium und Nickel analysiert und mit den jeweiligen Grenz- bzw. Zielwerten verglichen. Für die vielfältigen Messaufgaben sind die Container sehr aufwändig ausgestattet. Die empfindlichen Messgeräte erfordern eine Klimatisierung, und zusätzlich zu den Mess- und Probenahmegeräten werden auch Probenahmesysteme benötigt. Stationsrechner nehmen Messwerte und Statusinformationen der Messgeräte auf und übertragen diese an die Messnetzzentrale, wo die Daten qualitätsgesichert, validiert und weiter verarbeitet werden. Die Prozeduren zur Qualitätssicherung und -kontrolle sind sehr umfangreich und umfassen jeden einzelnen Schritt der komplexen Prozeduren in den Messcontainern, im Labor und bei der Datenverarbeitung. Zusätzlich zur internen Qualitätssicherung finden für alle Komponenten auch externe Überprüfungen in Form von regelmäßigen Teilnahmen an Vergleichsmessungen und Ringversuchen statt.

Tabelle 1: Standorte der Luftgütemesscontainer und gemessene Komponenten

Nr.	Standort	Messkomponenten									
		Partikel-PM_{10} bzw. -$PM_{2,5}$ Gravimetrie	PM_{10}-Inhalts-stoffe[1)]	Partikel-PM_{10} und $PM_{2,5}$ Automat	SO_2	NO_x[2)]	CO	O_3	BTX	BC[3)]	Met[4]
Stadtrand											
MC 027	Marienfelde					X		X			
MC 032	Grunewald			X		X		X			M
MC 077	Buch	PM_{10}; $PM_{2,5}$	PAK	X		X		X			
MC 085	Friedrichshagen			X		X		X			
MC 145	Frohnau					X		X			
Innerstädtischer Hintergrund											
MC010	Wedding	$PM_{2,5}$		X		X		X			
MC018	Schöneberg					X					
MC042	Neukölln	PM_{10}; $PM_{2,5}$	EC, PAK, SM	X		X		X	X	X	T,F
MC 171	Mitte	PM_{10}; $PM_{2,5}$		X		X					
MC 282	Karlshorst				X	X					
Verkehr											
MC 115	Hardenbergplatz			X[5)]		X					
MC 117	Schildhornstraße	PM_{10}	PAK	X		X	X		X		
MC 124	Mariendorfer Damm			X		X					
MC 143	Silbersteinstraße			X		X					
MC 174	Frankfurter Allee	PM_{10}; $PM_{2,5}$	EC, PAK, SM	X	X	X	X	X	X	X	
MC 220	Karl-Marx-Straße			X		X					

1) EC = Kohlenstoff-Bestimmung: elementarer, organischer und pyrolytischer Kohlenstoff wird mit dem EUSAAR2-Protokoll mit der Reflektionsmethode bestimmt (aus PM_{10}-Filterproben). Zusätzlich werden die Daten der Transmissionskorrektur erhoben.

PAK = Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (aus PM_{10}-Filterproben)

SM = Schwermetalle (aus PM_{10}-Filterproben)

Am MC042 und am MC174 werden außerdem Ionen in der PM_{10}- und der $PM_{2,5}$-Fraktion bestimmt und es erfolgt eine Kohlenstoffbestimmung in der $PM_{2,5}$-Fraktion.

2) Stickstoffoxide (NO_x) sind die Summe der Volumenmischungsverhältnisse von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2)

3) BC = Black Carbon (Schwarzer Kohlenstoff): wird mittels Aethalometer (AE33) in einem automatischen Verfahren durch Erfassung der Lichtabsorption bei 880 nm in der $PM_{2,5}$-Fraktion erfasst.

4) Meteorologie

T = Temperatur,

F = rel. Feuchte,

M = verschiedene meteorologische Parameter, zum Teil in 27 Meter Höhe: Temperatur, rel. Feuchte, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Strahlungsbilanz

5) Messungen im Rahmen eines Forschungsprojektes; keine Messungen gemäß 39. BImSchV

Tabelle 2: RUBIS- und Passivsammlerstandorte

Nr.	Standort	Nr.	Standort
Stadtrand			
535/077	Buch, Hobrechtsfelder Chaussee 112		
Innerstädtischer Hintergrund			
517/042	Neukölln, Nansenstr. 10		
Verkehr			
501	Weissensee, Berliner Allee 118	537	Tiergarten, Alt-Moabit 63
504	Tiergarten, Beusselstr. 66	539	Steglitz, Schloßstr. 29
505	Tiergarten, Potsdamer Str. 102	542	Tempelhof, Tempelhofer Damm 148
507	Schöneweide, Michael-Brückner-Str. 5	545	Neukölln, Sonnenallee 68
514	Friedrichsfelde, Alt Friedrichsfelde 7a	547	Friedrichshain, Landsberger Allee 6-8
519/174	Friedrichshain, Frankfurter Allee 86 b	555	Kreuzberg, Hermannplatz, Laterne 21
521/117	Steglitz, Schildhornstr. 76	559	Britz, Buschkrugallee 8
522/143	Neukölln, Silbersteinstr. 1	562	Mitte, Friedrichstr. 172
523/220	Neukölln, Karl-Marx-Str. 76	573	Wedding, Badstr. 67
525	Mitte, Leipziger Str. 32	576	Spandau, Klosterstr. 12
528	Charlottenburg, Kantstr. 117	579	Wittenau, Eichborndamm 23-25
530	Schöneberg, Hauptstr. 54	581	Friedrichshain, Markgrafendamm 33
531	Westend, Spandauer Damm 103	582	Mitte, Invalidenstraße 30
533	Neukölln, Hermannstr. 120		

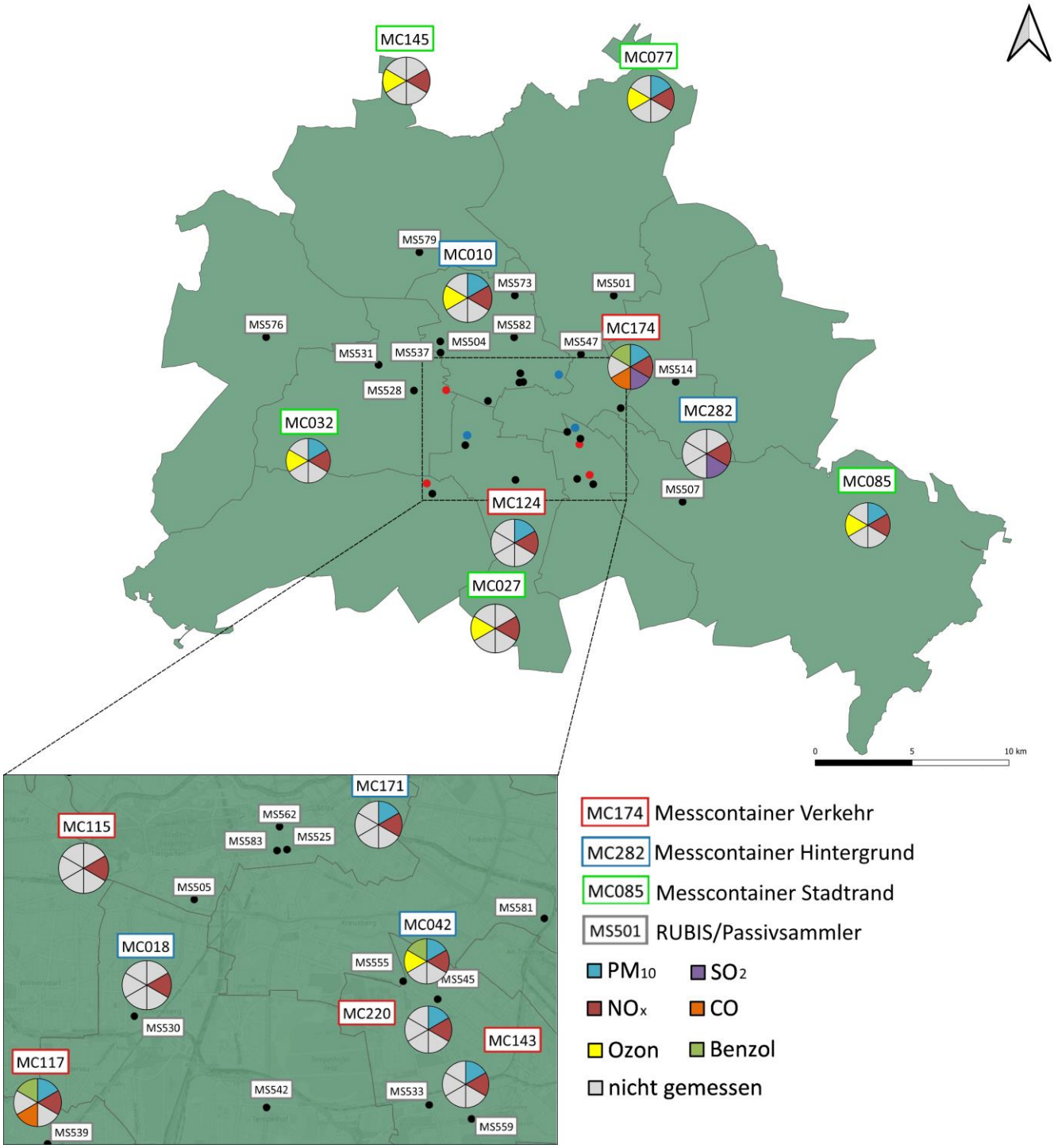


Abbildung 1: Standorte der Luftgütemesscontainer sowie der RUBIS- und Passivsammlermessstellen in Berlin

2.2 Grenz- und Zielwerte nach 39. BImSchV

Tabelle 3: Immissionswerte für Luftverunreinigungen nach der 39. BImSchV

Komponente	Mittel über	Grenzwert (für Benzo(a)pyren, Schwermetalle und Ozon: Zielwert)	zulässige Anzahl von Überschreitungen pro Jahr	Grenz- oder Zielwert einzuhalten
Schwefeldioxid	1 h	350 µg/m³	24	seit 01.01.2005
	24 h	125 µg/m³	3	seit 01.01.2005
Schwefeldioxid	Mittel über Okt.-März (zum Schutz von Ökosystemen)	20 µg/m³ (kritischer Wert)	--	seit 01.01.2005
Stickstoffdioxid	1 h	200 µg/m³	18	seit 01.01.2010
	1 Kalenderjahr	40 µg/m³	--	seit 01.01.2010
Summe der Stickoxide	1 Kalenderjahr (zum Schutz von Ökosystemen)	30 µg/m³ (kritischer Wert)		seit 01.01.2010
Partikel-PM_{10}	24 h	50 µg/m³	35	seit 01.01.2005
	1 Kalenderjahr	40 µg/m³	--	seit 01.01.2005
Partikel-$PM_{2,5}$	1 Kalenderjahr	25 µg/m³	--	seit 01.01.2015
	Richtgrenzwert 1 Kalenderjahr	20 µg/m³	--	ab 01.01.2020
Blei	1 Kalenderjahr	0,5 µg/m³	--	seit 01.01.2005
Benzol	1 Kalenderjahr	5 µg/m³	--	seit 01.01.2010
Ozon	8 Stunden	z) 20 µg/m³ höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	25 (gemittelt über 3 Jahre)	seit 01.01.2010
	1-Stunden-Mittelwert	180 µg/m³ Informationsschwelle	--	
	1-Stunden-Mittelwert	240 µg/m³ Alarmschwelle	--	
Ozon	AOT40 Summe über Mai – Juli	z) 18000 µg/m³h gemittelt über 5 Jahre	--	seit 01.01.2010
Kohlenmonoxid	8 Stunden	10 mg/m³ höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	--	seit 01.01.2005
Arsen (im PM_{10})	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 6 ng/m³	--	seit 31.12.2012
Kadmium (im PM_{10})	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 5 ng/m³	--	seit 31.12.2012
Nickel (im PM_{10})	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 20 ng/m³	--	seit 31.12.2012
Benzo(a)pyren (im PM_{10})	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 1 ng/m³	--	seit 31.12.2012

z) Zielwerte

Anmerkung: Für Quecksilber ist kein Zielwert festgelegt; hier sind nur orientierende Messungen im Hintergrund vorgeschrieben, die vom Umweltbundesamt durchgeführt werden

3 Verfügbarkeit der Messdaten

Die Datenqualitätsziele für die Luftqualitätsbeurteilung sind in der 39. BImSchV (Anlage 1 A) geregelt. Für die in diesem Bericht veröffentlichten Luftgütemessdaten gilt eine Mindestdatenverfügbarkeit für PM_{10}, $PM_{2,5}$, NO_2, NO_x, SO_2, CO und Benzol von jeweils 90 %, bezogen auf das gesamte Jahr. Für Ozon gilt in den Sommermonaten eine Mindestdatenverfügbarkeit von 90 % und in den Wintermonaten von 75 %. Diese geforderte Datenverfügbarkeit wurde im BLUME im Jahr 2018 für alle Komponenten an allen Messstationen eingehalten, wie der Tabelle 4 entnommen werden kann.

Tabelle 4: Datenverfügbarkeit im Jahr 2018

Lage	Station	PM_{10}	$PM_{2,5}$	NO_2/NO_x	SO_2	CO	Ozon	Benzol
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	---	---	99	---	---	99	---
	Grunewald (MC032)	100	---	100	---	---	100	---
	Buch (MC077)	100	100	99	---	---	100	---
	Friedrichshagen (MC085)	100	---	100	---	---	100	---
	Frohnau (MC145)	---	---	99	---	---	100	---
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	100	100	100	---	---	100	---
	Schöneberg (MC018)	---	---	100	---	---	---	---
	Neukölln (MC042)	99	100	99	---	---	100	99
	Karlshorst (MC282)	---	---	100	99	---	---	---
	Mitte (MC171)	99	100	100	---	---	---	---
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	98	98	98	98	98	---	96
	Schildhornstr. 76 (MC117)	100	---	99	---	100	---	99
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	100	---	100	---	---	---	---
	Karl-Marx-Str. 76 (MC220)	99	---	99	---	---	---	---
	Hardenbergplatz (MC115)	---	---	100	---	---	---	---
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	99	---	99	---	---	---	---

Erklärung:

--- Komponente wurde nicht gemessen

Am MC077 wird PM2,5 (per Gravimetrie) nur an jedem zweiten Tag beprobt, was maximal 182 mögliche Proben ergibt.

4 Witterung im Jahr 2018 und deren Einfluss auf die Konzentrationen von Luftschadstoffen

Die Witterungsbedingungen im Raum Berlin haben einen entscheidenden Einfluss auf die Belastung durch Luftschadstoffe. Die meteorologischen Verhältnisse können den Schadstoffausstoß, die Verdünnung sowie die Verteilung aber auch die Umwandlung und die Entfernung von Luftschadstoffen aus der Atmosphäre beeinflussen. So hängen zum Beispiel die vertikale und die horizontale Schadstoffausbreitung im Stadtgebiet stark von der vertikalen Schichtung der unteren Atmosphäre sowie der Windrichtung und Windgeschwindigkeit ab. Austauscharme Wetterlagen, welche typischerweise Inversionswetterlagen mit hohem Luftdruck und geringen Windgeschwindigkeiten sind, können dazu führen, dass sich die Atmosphäre stark mit Luftschadstoffen anreichert.

Die Windrichtung ist wiederum entscheidend dafür, welche Luftmassen nach Berlin transportiert werden. Haben herangetragene Luftmassen ihren Ursprung im Bereich Ost- bis Südosteuropa, so sind diese in der Regel besonders mit Partikeln stark vorbelastet, was im gesamten Berliner Raum zu erhöhten PM_{10}-Werten führen kann. Die häufiger auftretenden Winde aus Südwest bis Nordwest bringen dagegen in der Regel gering belastete Luftmassen in den Berliner Raum und hängen mit Wetterlagen zusammen, die beispielsweise durch Frontdurchgänge für eine gute Durchmischung der Atmosphäre sorgen und den Abtransport und die Verdünnung von Luftschadstoffen begünstigen. Austauscharme Wetterlagen treten in der Regel häufiger in den Herbst- und Wintermonaten auf, Wetterlagen mit günstigen Austauschbedingungen dagegen häufiger in den Sommermonaten.

Temperatur und Sonnenscheindauer haben wiederum einen großen Einfluss auf die Emissionen und auf Umwandlungsprozesse von Luftschadstoffen. Sie beeinflussen die Dauer der jährlichen Heizperiode und somit die Emissionen von Feuerungsanlagen, aber auch die Ozonkonzentration in bodennahen Luftschichten. Hohe Temperaturen mit viel Sonneneinstrahlung führen an heißen Sommertagen zu einem Anstieg der Ozonwerte. Niederschlag, welcher die Auswaschung von Partikeln begünstigt, trägt wiederum zur Reinigung der Atmosphäre bei.

Das Jahr 2018 war ein historisches Wetterjahr, welches besonders in Hinblick auf die Temperatur und den Niederschlag zu meteorologischen Rekorden geführt hat. Die ausgeprägte Dominanz von Hochdruckgebieten hat für ganz Deutschland zwischen April und Oktober zu einer außergewöhnlichen Wärmeperiode mit extremer Trockenheit geführt, welche besonders im Norden und im Osten Deutschlands zum Tragen kam. Zur Einordnung der Witterung 2018 in Berlin werden nachfolgend die Messungen der Station Berlin-Dahlem (FU, DWD Stations_ID 403) für Temperatur, Niederschlag, Sonnenstunden und Windrichtung genutzt. Der Zeitraum zwischen 1961 und 1990, welcher von der Weltorganisation für Meteorologie als internationale Referenzperiode festgelegt wurde, wird im Folgenden als Klimamittel bezeichnet und genutzt, um die Witterungsbedingungen in 2018 in Berlin einzuordnen.

Windrichtung

Die Windverteilung im Jahr 2018 ist in Abbildung 2 als Windrose dargestellt und zeigt den prozentualen Anteil der Windrichtungen pro 30 ° Sektoren auf Basis der 10-Minuten Werte, gemessen in Berlin-Dahlem. Dargestellt sind die Verteilungen für das gesamte Jahr in schwarz, für die Monate

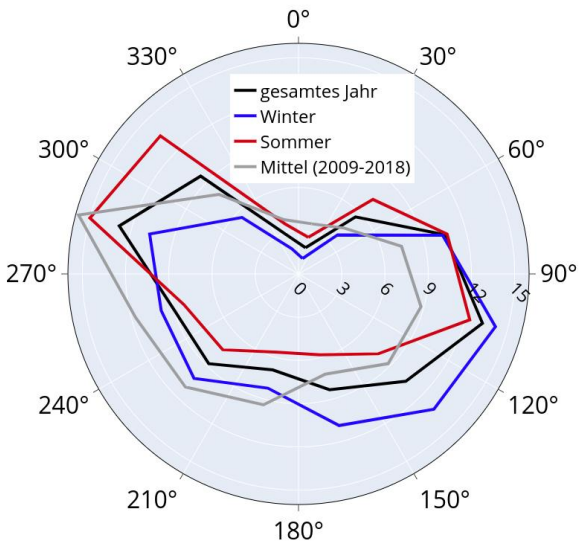


Abbildung 2: Windrichtungsverteilung für den Sommer, den Winter und das gesamte Jahr 2018 sowie für den Mittelungszeitraum zwischen 2009 und 2018 in Berlin Dahlem

Januar, Februar und März sowie Oktober, November und Dezember in blau (Winter) und April bis September in rot (Sommer). Zusätzlich ist in grau die mittlere Verteilung der Windrichtung zwischen 2009 und 2018 dargestellt.

Die Windrichtungsverteilung des gesamten Jahres 2018 zeigt wie üblich hohe Anteile von West- bis Nordwest-Winden, aber auch einen unüblich hohen Anteil von Winden aus Ost bis Südost. Der Anteil dieser Ost- bis Südost-Windrichtungen ist dabei besonders in der kalten Jahreszeit vorherrschend, was durch ein vermehrtes Auftreten von Hochdruckwetterlagen im Winter erklärbar ist. Die ausgeprägten Hochdruckwetterlagen, welche 2018 auch vermehrt in den warmen Monaten stattfanden, führten auch im Sommer 2018 zu einem hohen Anteil von Winden aus Ost bis Südost. Der Vergleich zur mittleren Windrichtungsverteilung zwischen 2009 und 2018 macht deutlich, dass die Verschiebung hin zu Ost- bis Südost-Winden in 2018 zu Gunsten der Windrichtungen aus Süd-West geschah.

Temperatur

Das Jahresmittel der Temperatur in Berlin-Dahlem betrug 2018 11,1 °C und lag damit 2,2 °C über dem Klimamittel. Der Verlauf der Temperatur über das gesamte Jahr kann der Abbildung 3 entnommen werden. Abbildung 3 zeigt die Tagesmittelwerte als graue Linie, die Monatsmittelwerte als rote Punkte und die Abweichung der Monatsmittelwerte vom Klimamittel als graue Balken im unteren Bereich. Nach dem mit 3,5 °C deutlich zu warmen Januar ergab sich nur für Februar und März eine Monatsmitteltemperatur, welche unter dem Klimamittel lag. Die restlichen Monate des Jahres 2018 lagen allesamt über dem Klimamittel. Dabei wurden aus meteorologischer Sicht einige Rekorde aufgestellt. So brachte das Jahr 2018 mit 13,4 °C den wärmsten April seit 1800 und mit 17,6 °C den wärmsten Mai seit Aufzeichnungsbeginn. In diesen beiden Monaten lag die mittlere Temperatur um 5 bzw. 4,1 °C über dem Klimamittel. Zudem stellte der Mai mit 14 Sommertagen einen neuen Rekord auf. Nachdem es in der zweiten Junihälfte zu einer kurzen Abkühlung kam, setzte sich der extrem warme Sommer im Juli, August, September und bis in den Oktober mit weiteren Temperaturrekorden fort. So war zum Beispiel der 13. Oktober der späteste Sommertag, der je in einem Jahr in Berlin-Dahlem ermittelt wurde.

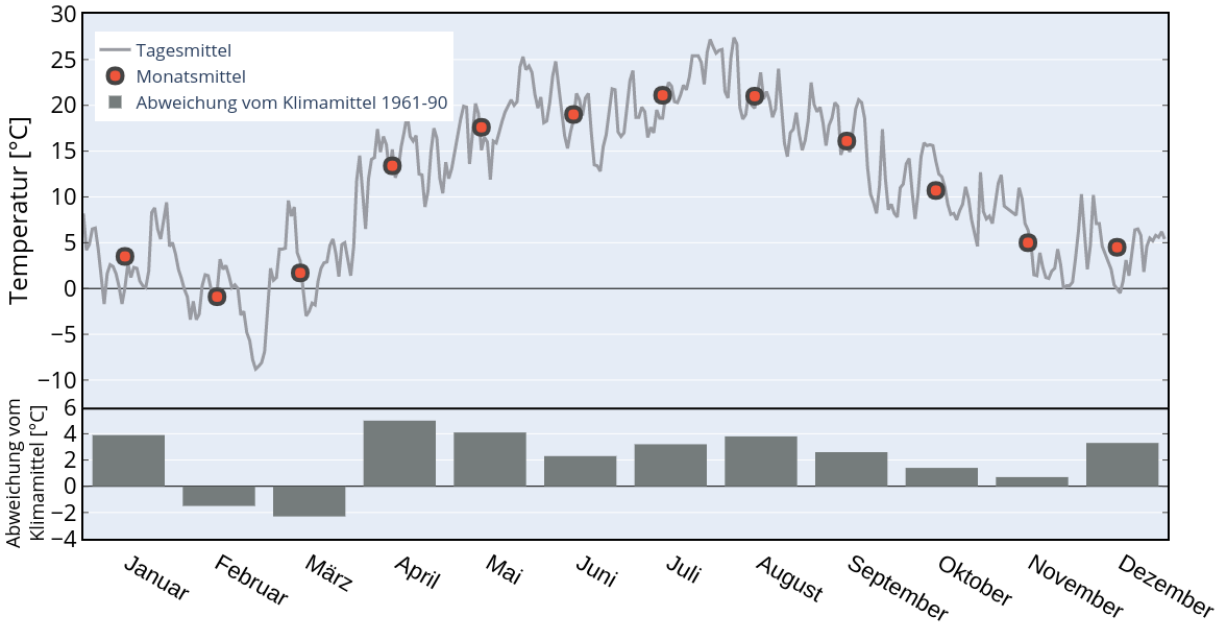


Abbildung 3: Temperaturverlauf im Jahr 2018 in Berlin-Dahlem

Sonnenscheindauer

Wie bei der Temperatur war 2018 auch bei der Anzahl der Sonnenstunden ein Rekordjahr. Mit 2304 Sonnenstunden wurden im Jahr 2018 in Berlin-Dahlem 679,2 Sonnenstunden mehr gemessen, als das Klimamittel im Bezugszeitraum 1960 -1990 ergibt. Nur der Januar und der Dezember lagen bezüglich der Sonnenstunden unter dem Klimamittel (siehe Abbildung 4). Dem standen besonders die Frühjahres- und Sommermonate gegenüber, welche hinsichtlich der Sonnenscheindauer durchweg über dem Klimamittel lagen. Allein in den Monaten von April bis September, schien die Sonne mit 1709 Stunden schon 85 Stunden mehr, als es durchschnittlich in einem ganzen Jahr der Fall ist.

Niederschlag

Dieser überdurchschnittlich hohen Anzahl an Sonnenstunden steht ein enormes Defizit an Niederschlag gegenüber (siehe Abbildung 5). Im Klimamittel fallen in Berlin-Dahlem durchschnittlich 690 mm Niederschlag, wovon im Jahr 2018 mit 61 % nur 359 mm erreicht wurden. Nur der Juli, der mit 70,5 mm über dem Klimamittel lag hat unter anderem durch den Starkregentag am 11.Juli für eine kurzzeitige Entspannung der Lage gesorgt. Ab dem August, der mit 4,8 mm seit 1847 der trockenste war, setze sich die extreme Trockenheit bis zum Jahresende fort.

Das Jahr 2018 kann daher als extrem trocken, sonnenscheinreich und warm eingeordnet werden.

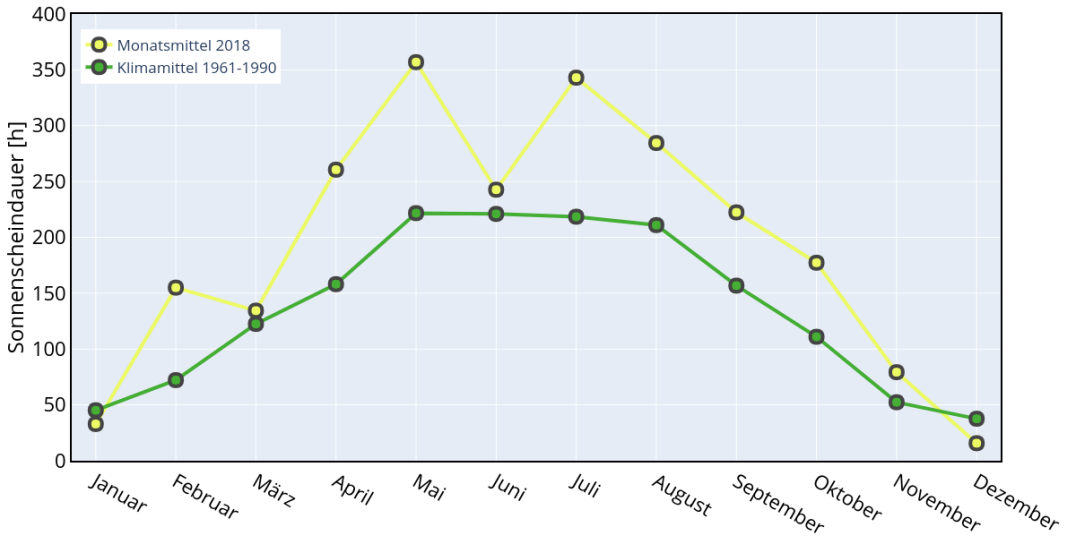


Abbildung 4: Monatliche Sonnenstundenanzahl im Jahr 2018 für Berlin-Dahlem

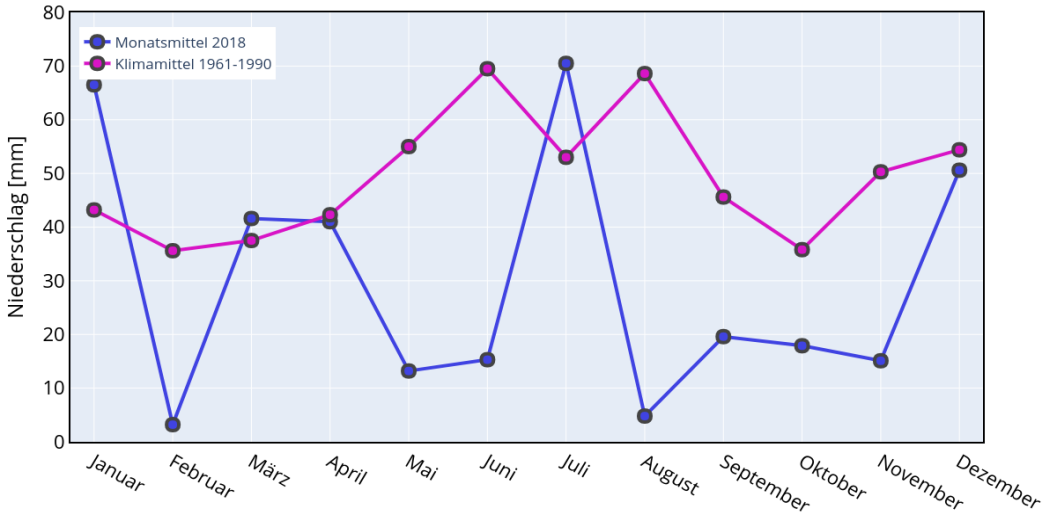


Abbildung 5: Monatlicher Gesamtniederschlag im Jahr 2018 für Berlin-Dahlem

5 Die Luftqualität in Berlin im Jahr 2018

5.1 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickoxiden (NO_x)

Tabelle 5: Kennwerte für Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Stickoxide

Lage	Station		NO	NO_2		NO_x
	Mittelungszeitraum	Mess-verfahren[1)]	Jahresmittel [µg/m³] Wert	Jahresmittel [µg/m³] Wert	1-h-Mittel > 200 µg/m³ Anzahl	Jahresmittel [µg/m³] Wert
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	Referenz	2	14	0	17
	Grunewald (MC032)	Referenz	2	14	0	18
	Buch (MC077)	Referenz	2	14	0	17
	Friedrichshagen (MC085)	Referenz	1	12	0	14
	Frohnau (MC145)	Referenz	2	12	0	14
Inner-städtischer Hinter-grund	Wedding (MC010)	Referenz	7	27	0	**38**
	Schöneberg (MC018)	Referenz	6	25	0	**33**
	Neukölln (MC042)	Referenz	6	24	0	**33**
	Karlshorst (MC282)	Referenz	5	19	0	27
	Mitte (MC171)	Referenz	5	24	0	**33**
Straße	Berliner Allee 118 (MS501)	Passiv	40	**45**	-	**105**
	Beusselstr. 66 (MS504)	Passiv	26	**41**	-	**81**
	Potsdamer Str. 102 (MS505)	Passiv	34	**50**	-	**102**
	Michael-Brückner-Str. 5 (MS507)	Passiv	53	**50**	-	**129**
	Alt Friedrichsfelde 7a (MS514)	Passiv	41	**47**	-	**109**
	Leipziger Str. 32 (MS525)	Passiv	53	**59**	-	**139**
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	Referenz	24	37	0	**74**
	Schildhornstr. 76 (MC117)	Referenz	30	**43**	0	**89**
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	Referenz	47	**49**	0	**121**
	Karl-Marx-Str. 76 (MC220)	Referenz	36	**45**	0	**100**
	Kantstr. 117 (MS528)	Passiv	23	40	-	**78**
	Hauptstr. 54 (MS530)	Passiv	37	**51**	-	**109**
	Spandauer Damm 103 (MS531)	Passiv	52	**51**	-	**128**
	Hermannstr. 120 (MS533)	Passiv	40	**49**	-	**111**
	Alt Moabit 63 (MS537)	Passiv	44	**47**	-	**112**
	Schloßstr. 29 (MS539)	Passiv	27	**44**	-	**87**
	Tempelhofer Damm 148 (MS542)	Passiv	38	**42**	-	**99**
	Sonnenallee 68 (MS545)	Passiv	38	**49**	-	**107**
	Landsberger Allee 6-8 (MS547)	Passiv	46	**47**	-	**116**
	Hermannplatz, Laterne 21 (MS555)	Passiv	37	**46**	-	**103**
	Buschkrugallee 8 (MS559)	Passiv	60	**56**	-	**145**
	Friedrichstr. 172 (MS562)	Passiv	24	39	-	**76**
	Badstr. 67 (MS573)	Passiv	35	**43**	-	**96**
	Hardenbergplatz (MC115)	Referenz	30	**43**	0	**88**
	Klosterstr. 12, Spandau (MS576)	Passiv	41	**47**	-	**109**
	Eichborndamm 23-25 (MS579)	Passiv	21	36	-	**69**
	Markgrafendamm 6 (MS581)	Passiv	27	37	-	**78**
	Invalidenstraße 30 (MS5282)	Passiv	30	**42**	-	**88**
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	Referenz	34	**41**	0	**93**

Erklärung: Der Grenzwert für das Jahresmittel für NO_2 beträgt seit 01.01.2010 40 µg/m³ (39.BImSchV). Der Kurzzeit-Grenzwert für das 1-Stundenmittel für NO_2 beträgt 200 µg/m³ (39.BImSchV) und darf seit 01.01.2010 im Kalenderjahr nicht mehr als 18-mal überschritten werden. Der kritische Wert für den Vegetationsschutz beträgt für NO_x 30 µg/m³ im Jahresmittel. NO_x wird angegeben als die Summe der Volumenmischungsverhältnisse von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2), daher stimmt die Summe aus NO und NO_2 nicht mit dem NO_x-Wert überein.

[1)] Referenz = Referenzverfahren (automatische Station); Passiv = Passivsammler

Rot = Grenzwert für Jahresmittel, Kurzzeit-Grenzwert oder kritischer Wert für Vegetationsschutz wurde überschritten.

Stickstoffdioxid (NO_2)

Im Jahr 2018 wurden für Stickstoffdioxid an den automatischen Messcontainern am Stadtrand Jahresmittelwerte von 12-14 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund von 19-27 µg/m³ und an Straßen von 37-49 µg/m³ gemessen. Der seit 2010 einzuhaltende Grenzwert der 39. BImSchV von 40 µg/m³ für das Jahresmittel wurde an fünf von sechs automatischen Straßenmessstellen überschritten. Nur an der Station MC174 (Frankfurter Allee 86b) wurde mit einem Jahresmittelwert von 37 µg/m³ erstmalig an einer automatisierten Berliner Verkehrsstation der Grenzwert unterschritten. Mit 41 µg/m³ hat die Station MC124 (Mariendorfer Damm 148) den Grenzwert nur knapp überschritten. Durch die systematischen Unterschiede in den Jahresmittelwerten zwischen den Stationen der verschiedenen Belastungsregime und die Tatsache, dass Überschreitungen des Jahresmittelwertes von 40 µg/m³ ausschließlich an Straßenstationen auftreten, wird deutlich, dass der Straßenverkehr der Hauptverursacher hoher NO_2-Belastungen ist. Dabei ist ungefähr die Hälfte der NO_2-Belastung an Straßenmessstellen mit NO_2-Überschreitungen auf die Beiträge des lokalen Kfz-Verkehrs zurückzuführen (2). Hohe NO_2-Konzentrationen sind daher ein innerstädtisches Problem, zu welchem Einträge von außerhalb des Stadtgebietes nur einen geringen Beitrag leisten.

Zusätzlich zur langfristigen Belastung mit NO_2 werden auch kurzfristige Spitzenbelastungen beurteilt. Hierfür gilt ein Immissionsgrenzwert für das Stundenmittel von 200 µg/m³, wobei 18 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig sind . Im Jahr 2018 gab es erstmals an keiner Station eine Überschreitung von 200 µg/m³ im Stundenmittel, so dass dieser Kurzzeit-Grenzwert flächendeckend eingehalten wurde.

Die automatischen Messungen in den Messcontainern werden durch NO_2-Passivsammler ergänzt, die an stark befahrenen Straßen betrieben werden. Über einen jährlichen Vergleich mit dem Referenzverfahren nach 39. BImSchV wird die Qualität dieser Passivsammler-Messungen überprüft. Für Messungen von NO_2 mittels Passivsammler gibt es keine gesetzliche Verpflichtung. Sie stellen aber eine sinnvolle Ergänzung der automatischen Messungen dar, da mit Passivsammlern Standorte überwacht werden können, an denen aus Platz- und aus technischen Gründen keine automatischen Multikomponentenmessstellen betrieben werden können. Die Jahresmittelwerte von 2018 an den 23 Passivsammler-Standorten lagen zwischen 37 und 59 µg/m³. Für die vier Passivsammlerstandorte an der Leipziger Straße 32, Buschkrugallee 8, Hauptstraße 54 und Spandauer Damm 103 wurden mit 59, 56, 51 und 51 µg/m³ Jahresmittelwerte von über 50 µg/m³ ermittelt. Die mit Passivsammlern bestimmten Jahresmittelwerte geben Hinweise darauf, dass in vielen Straßenzügen der Innenstadt mit weiteren Überschreitungen des NO_2-Grenzwerts für das Kalenderjahr gerechnet werden muss.

Langzeittrend von Stickstoffdioxid

Der Langzeittrend der NO_2-Belastung in Berlin ist in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

Die Abbildung 6 zeigt den Verlauf der NO_2-Konzentrationen im Zeitraum von 1987 bis 2018 als arithmetische Mittelwerte der Messstationen an Straßen, im innerstädtischen Hintergrund und am Stadtrand. Zusätzlich ist auch das arithmetische Mittel aller Passivsammler im Zeitraum von 2004 bis 2018 dargestellt. Die Zeitreihen zeigen einen deutlichen Rückgang der NO_2-Immissionsbelastung bis 1990, vor allem durch den vermehrten Einsatz geregelter Dreiwege-Katalysatoren bei den Ottomotoren. Bis zum Jahr 2004 wurde diese Emissionsminderung durch eine zunehmende Anzahl von Fahrzeugen aber teilweise wieder aufgehoben, was sich in einer nur noch langsamen Abnahme des Jahresmittelwerts widerspiegelte. Auffällig ist, dass in Straßen die Jahresmittelwerte von 2005 nach 2006 sogar wieder zunahmen. Dies ist hauptsächlich mit der ungünstigen meteorologischen Situation (erhöhte Anzahl windschwacher Hochdruckwetterlagen) zu erklären. In den letzten Jahren erfolgte die Emissionsminderung nicht in dem Maße, wie dies gesetzlich vorgeschrieben war: Besonders Diesel-PKW der Schadstoffklasse Euro 5 stießen durch Software-Manipulation im realen Betrieb sehr viel mehr NO_2 aus, als von den Herstellern angegeben wurde bzw. als sich auf dem Prüfstand ergab. Konsequenter Weise wurden an den Straßenmessstellen zwischen 2007 und 2013 trotz teils günstiger meteorologischer Ausbreitungsbedingungen nahezu gleichbleibende NO_2-Jahresmittelwerte beobachtet. Auffällig ist, dass seit 2013 die NO_2-Belastung an Straßenmessstellen wieder sank, am Stadtrand und im innerstädtischen Hintergrund aber keine Veränderung zu beobachten war. Von 2013 bis 2018 ergab sich für die sechs automatischen Straßenmessstellen ein mittlerer Rückgang um 17 %, wobei mit einem absoluten Rückgang von ca. 46 auf 43 µg/m³ die Belastung von 2017 auf 2018 am stärksten gesungen ist. Ähnlich verhält es sich mit den Messergebnissen der Passivsammler, für welche von 2017 auf 2018 sogar ein absoluter Rückgang von etwa 4 µg/m³ ermittelt wurde.

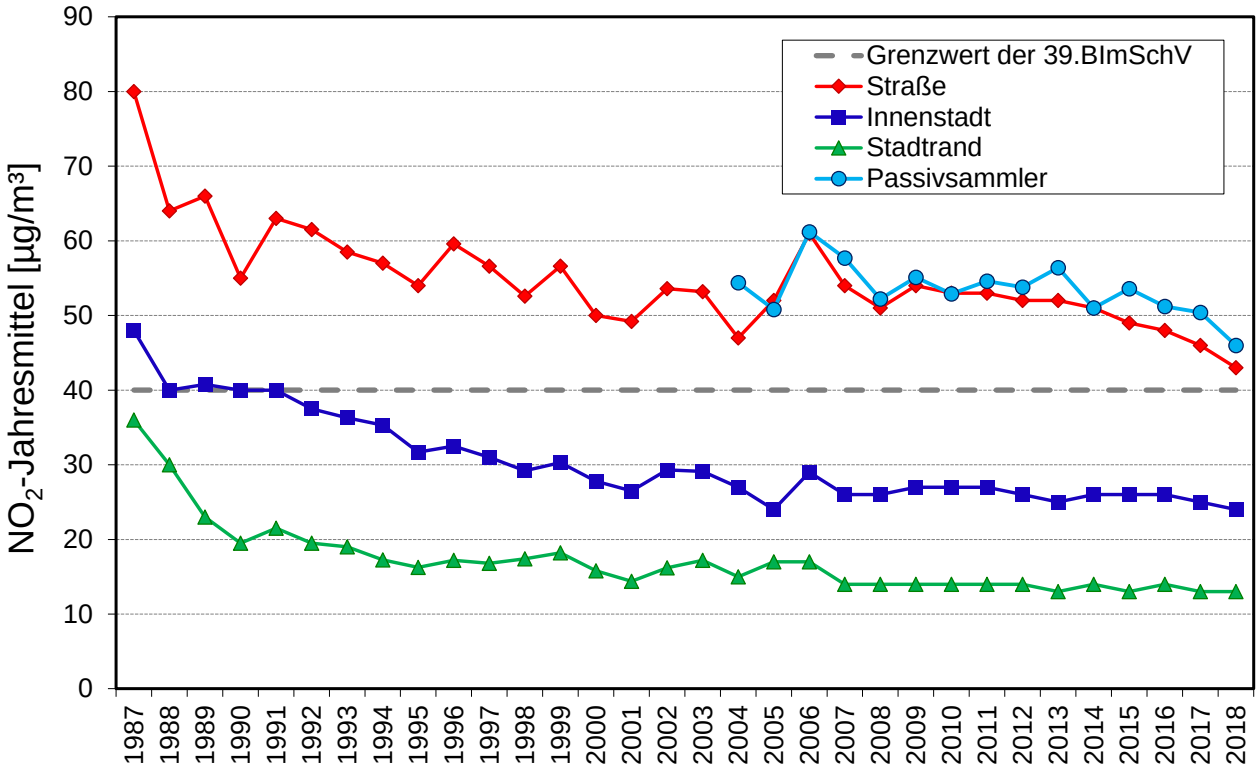


Abbildung 6: NO_2-Zeitreihen der Jahresmittelwerte zwischen 1987 und 2018

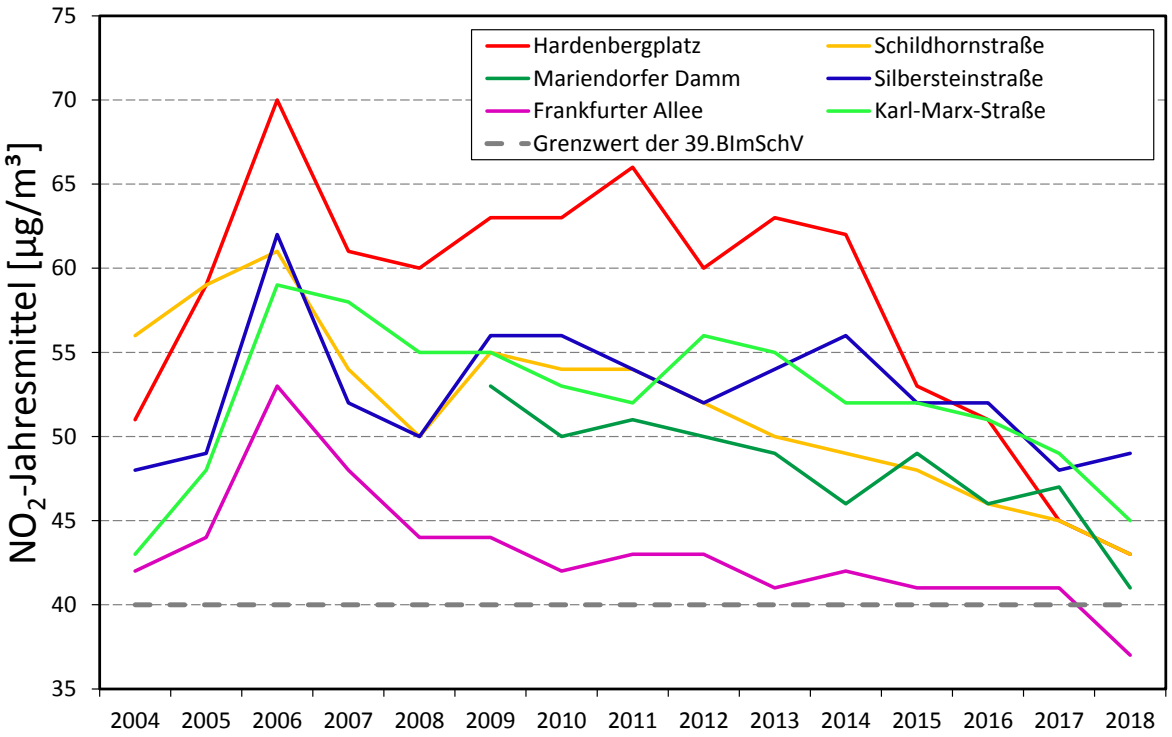


Abbildung 7: NO_2-Zeitreihen der Jahresmittelwerte der einzelnen Straßenmessstationen

Die Abbildung 7 stellt den Verlauf der arithmetischen Jahresmittelwerte an den sechs automatischen Straßenmessstellen dar. Es wird deutlich, dass der Rückgang nicht gleichermaßen an allen Messstellen zu beobachten ist, sondern individuell von den Bedingungen am Standort abhängt. So verzeichnet nur die Messstelle MC143 an der Silbersteinstraße von 2017 auf 2018 eine Zunahme der NO_2-Immissionsbelastung, wohingegen die Konzentrationen an den anderen fünf Stationen deutlich gesunken sind.

Die Station MC143 befindet sich westlich der Kreuzung zwischen der Silbersteinstraße und der Karl-Marx-Straße. Demzufolge werden bei Ostwind die Emissionen des Kreuzungsbereiches zur Messstelle getragen. Da die Silbersteinstraße in diesem Bereich eine sehr enge Straßenschlucht, mit durchgehend hoher Bebauung ist, können zudem die Schadstoffe nur schlecht abtransportiert werden. Demzufolge ist die Zunahme der NO_2-Belastung von 2017 auf 2018 durch den erhöhten Anteil von Windrichtungen zwischen Ost und Süd im Jahr 2018 (siehe Abbildung 1) erklärbar.

Die Abnahme der NO_2-Belastung auf Grund von emissionsmindernden Maßnahmen ist an der Messstation MC115 am Hardenbergplatz gut zu sehen. Zwischen 2014 und 2018 sank der NO_2-Jahresmittelwert am MC115 um 30 % von 62 µg/m³ auf 43 µg/m³. Hauptsächlich ist die Modernisierung der Busflotte sowie die Nachrüstung von BVG-Linienbussen mit Stickoxidminderungssystemen für diesen Rückgang verantwortlich. Da diese Maßnahmen zu einer erfolgreichen Reduzierung der NO_2-Immissionsbelastung am MC115 geführt haben, sind auch in der aktuellen Fortschreibung des Luftreinhalteplans (2) weitere Nachrüstungen sowie die Neubeschaffung von Euro VI-Bussen und modernen Elektrobussen für die BVG geplant.

Den größten Rückgang von 2017 auf 2018 gab es mit 6 µg/m² an der Messstelle MC124 am Mariendorfer Damm. Diese Abnahme könnte ebenfalls mit der Windrichtungsverteilung (siehe Abbildung 1) im Jahr 2018 zusammenhängen, welche einen deutlich höheren Anteil von Windrichtungen zwischen Ost und Süd aufweist, als es im Mittel zwischen 2009 und 2018 der Fall war. Da der Mariendorfer Damm fast genau in Nord-Süd-Richtung verläuft und die nächste stark befahrene Kreuzung nördlich der Station liegt, konnten durch die oben erwähnten Windrichtungen, Schadstoffe effektiv von der Messstation abtransportiert werden.

Um den Rückgang der NO_2-Konzentrationen in 2018 an den Straßenmessstellen genauer zu betrachten zeigt die Abbildung 8 exemplarisch anhand der Straßenmessstelle an der Frankfurter Alle (MC174) einen Vergleich der monatlichen NO_2-Belastung von 2018 mit der mittleren monatlichen NO_2-Belastung zwischen 2008 und 2017. Am MC174 lag der Jahresmittelwert zwischen 2008 und 2017 relativ einheitlich zwischen 41 und 44 µg/m³ und fiel dann im Jahr 2018 auf 37 µg/m³ ab. Die Abbildung 8 veranschaulicht, dass die Monatsmittelwerte der NO_2-Konzentrationen im Jahr 2018, mit Ausnahme des Oktobers, dauerhaft unter den mittleren monatlichen Konzentrationen und teilweise sogar unter dessen Schwankungsbereich zwischen 2008 bis 2017 lagen. Grund für die hohe Oktoberkonzentration in 2018 ist eine ausgeprägte Hochdruckwetterlage, welche durch schlechte Austauschbedingungen zur Monatsmitte zu den höchsten Tagesmittelwerten (87 µg/m³ am 17.10.2018) im gesamten Jahr an der Station MC174 geführt hat. Die NO_2-Immissionsbelastung an der Station MC174 war damit weitestgehend unabhängig von Jahreszeiten und den unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen über das gesamte Jahr hinweg signifikant niedriger als in den Jahren davor und stieg nur im Oktober durch ungünstige meteorologische Ausbreitungsbedingungen auf das Niveau der Vorjahre an. Zudem zeigt die Abbildung 8, beispielhaft an Hand des MC174, dass auch an einer Straßenmessstation ein ausgeprägter Jahresgang der NO_2-Belastung vorherrscht, welcher auf die in Abschnitt 3 angesprochenen jahreszeitlichen Unterschiede in den Austauschbedingungen zurückzuführen ist. Die höchsten Werte treten folglich in den Wintermonaten auf, wohingegen die Konzentrationen im Sommer niedriger sind.

Stickoxide

Der kritische Wert für den Vegetationsschutz von 30 µg/m³ für das NO_x-Jahresmittel ist streng genommen für Stadtgebiete nicht gültig. Dennoch wird er hier herangezogen, um auch der Bedeutung der Vegetation in innerstädtischen Grünanlagen oder in Straßenzügen für die Erholungswirkung und damit für die menschliche Gesundheit Rechnung zu tragen. Das Jahresmittel der Summe der Stickoxide (Tabelle 5) lag am Stadtrand bei 14-18 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund bei 27-38 µg/m³ und an den Straßen-Messstellen bei 74-145 µg/m³. Somit wurde dieser kritische Wert nur am Stadtrand und an einer innerstädtischen Hintergrundmessstelle eingehalten.

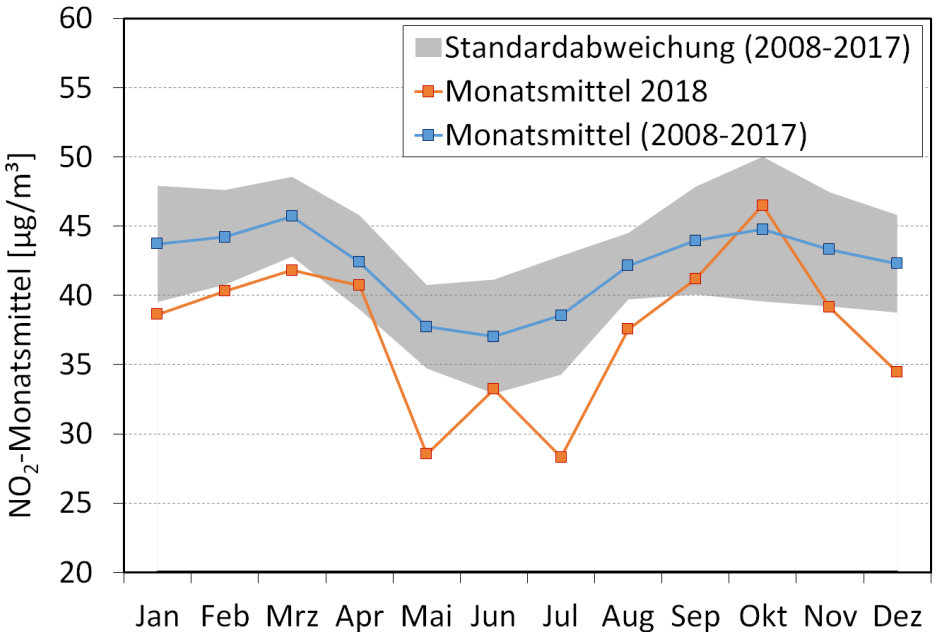


Abbildung 8: Jahresgang der NO_2-Konzentration am MC174

5.2 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für PM_{10} und $PM_{2.5}$ sowie für den AEI

Tabelle 6: Kennwerte für PM_{10} und $PM_{2,5}$

Lage	Station	PM_{10}		$PM_{2,5}$
	Mittelungszeitraum	Jahresmittel [µg/m³] Wert	Tagesmittel > 50 µg/m³ Anzahl	Jahresmittel [µg/m³] Wert
Stadtrand	Grunewald (MC032)	17	0	-
	Buch (MC077)	19	5	13
	Friedrichshagen (MC085)	19	5	-
Innerstädtischer Hintergrund	**Wedding (MC010)**	21	8	15
	Neukölln (MC042)	24	13	16
	Mitte (MC171)	23	13	16
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	28	24	18
	Schildhornstr. 76 (MC117)	25	14	-
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	29	28	-
	Karl-Marx-Str. 76 (MC220)	29	23	-
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	25	11	-

Erklärung:

Der Grenzwert der 39.BImSchV beträgt für den PM_{10}-Jahresmittelwert 40 µg/m³ und für den $PM_{2,5}$-Jahresmittelwert 25 µg/m³. Der PM_{10}-Tagesmittelwert von 50 µg/m³ darf nach der 39.BImSchV im Jahr nicht häufiger als 35-mal überschritten werden.

Im Fall von Messwertausfällen werden diese auf Basis der Erkenntnisse für die anderen Stationen desselben Belastungsregimes ersetzt. Im Einzelfall kann es hierdurch zu Abweichungen von den durch das Umweltbundesamt veröffentlichten Überschreitungshäufigkeiten kommen, da dort fehlende Werte nicht ersetzt werden.

Fett gedruckt = AEI Stationen

Grenzwert für Jahresmittel und Kurzzeit-Grenzwert wurden eingehalten.

PM10

Die an den Stationen des automatischen Messnetzes ermittelten PM_{10}-Jahresmittelwerte lagen am Stadtrand bei 17-19 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund bei 21-24 µg/m³ und an Schwerpunkten des Straßenverkehrs bei 25-29 µg/m³ (siehe Tabelle 6), wobei die Werte im Jahr 2018 leicht über den Werten von 2017 lagen.

Die höchsten Jahresmittelwerte (29 µg/m³) wurden in der Silbersteinstraße und der Karl-Marx-Straße gemessen, gefolgt von der Frankfurter Allee (28 µg/m³). Der Grenzwert von 40 µg/m³ für das PM_{10}-Jahresmittel, der 2003 letztmals überschritten wurde, wurde damit wiederum flächendeckend eingehalten.

Wie bei Stickstoffdioxid werden auch für PM_{10} kurzfristige Spitzenbelastungen überwacht. Hierfür gilt ein Immissionsgrenzwert für das Tagesmittel von 50 µg/m³, wobei 35 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig sind. Bis vor einigen Jahren war diese Kurzzeitbelastung bezüglich PM_{10} ein erhebliches Problem, aber seit 2016 lagen die Überschreitungshäufigkeiten an den Berliner-Messstellen stets unterhalb der erlaubten Anzahl von 35. Dies war auch im Jahr 2018 der Fall. Im Bereich des Stadtrandes gab es am MC032 im Grunewald keine Überschreitung und an den Stationen MC077 in Buch und MC085 in Friedrichshagen jeweils fünf Überschreitungstage. Im Bereich des innerstädtischen Hintergrunds lagen die Anzahl der Überschreitungen zwischen 8 und 13 und an Straßenmesstellen zwischen 11 und 28. Die meisten Überschreitungen gab es mit 28 an der Silbersteinstraße (MC143) gefolgt von der Frankfurter Allee (MC174) mit 24 und der Karl-Marx-Straße (MC220) mit 23 Überschreitungen im Kalenderjahr. Auffällig ist die Straßenmessstation MC124 am Mariendorfer Damm, welche mit nur 11 Überschreitungen im Kalenderjahr einen, im Vergleich zu den anderen Straßenmessstellen, geringen Wert aufweist. Wie schon bezüglich NO_2 scheint auch in diesem Fall die Windrichtungsverteilung im Jahr 2018 zu einer niedrigeren Belastung mit PM_{10} an der Messstation MC124 zu führen, denn auch der Jahresmittelwert ist der einzige, welcher an Straßenmessstellen im Jahr 2018 (25 µg/m³) geringer als im Jahr 2017 (26 µg/m³) war.

Langzeittrend von PM_{10}

Die PM_{10}-Jahresmittelwerte (Abbildung 9) zeigten seit 1998 eine deutliche Abnahme um rund 30 % in allen drei Belastungsregimen. Die Schwankungen der Jahresmittelwerte innerhalb der drei Belastungsregime sind dabei deutlich höher als im Fall NO_2, da die im Abschnitt 3 beschrieben Witterungseinflüsse am stärksten auf die PM_{10}-Konzentrationen Einfluss nehmen. Hervorzuheben sind der Einfluss des Ferntransportes von Partikeln bei östlichen Anströmungen, vermehrtes Heizen bei tiefen Temperaturen und die Häufigkeit von austauscharmen Wetterlagen. Auffällig ist eine Zunahme der PM_{10}-Konzentrationen im innerstädtischen Hintergrund von 2017 auf 2018 um 2 µg/m³, bei einer gleichbleibenden Belastung an Straßen. Es ist bekannt, dass die Belastung am Stadtrand und im innerstädtischen Hintergrund auch einen Teil der PM_{10}-Belastung an Straßen darstellt und die Differenz zwischen

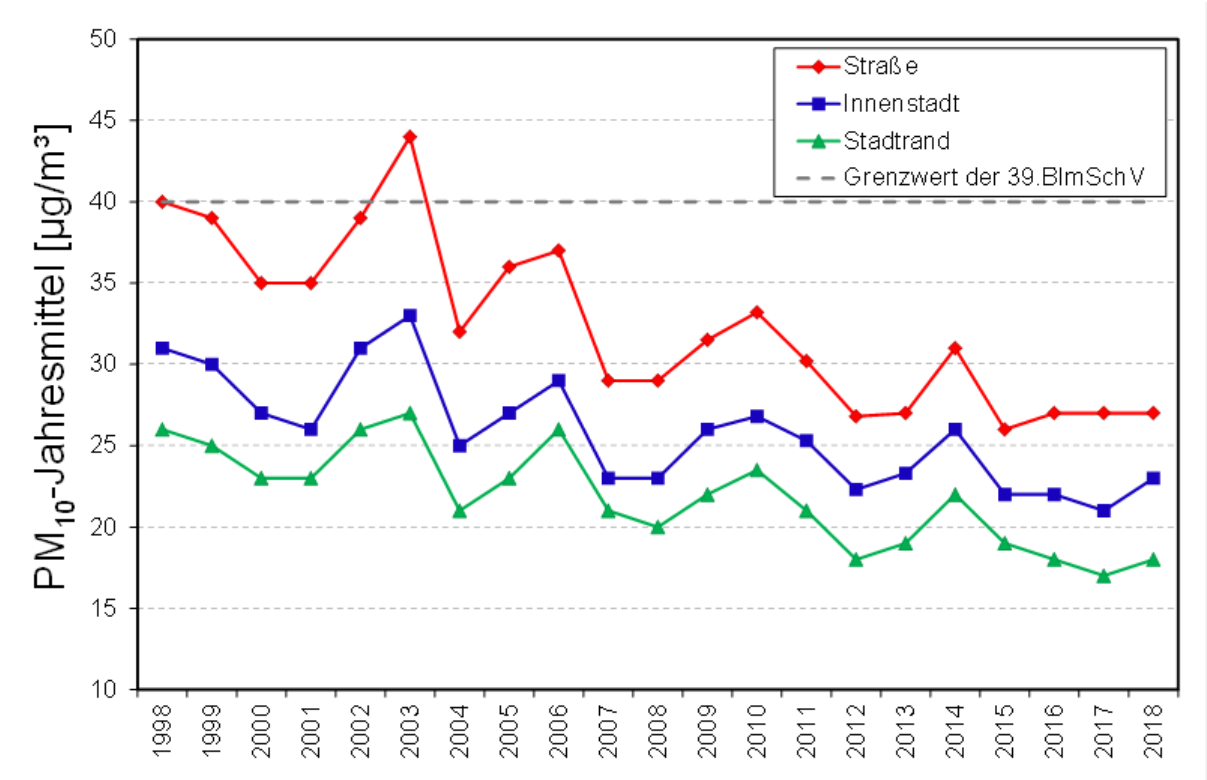


Abbildung 9: PM10-Zeitreihen der Jahresmittelwerte zwischen 1998 und 2018

innerstädtischem Hintergrund und Straßenstation seine Ursache im Verkehr hat (3) (Lenschow, 2001). Wäre die Immissionsbelastung an Straßen im Jahr 2018 gleich geblieben, hätte konsequenterweise auch das PM_{10}-Jahresmittel über alle Straßenstationen ansteigen müssen. Es kann geschlussfolgert werden, dass der Beitrag des Straßenverkehrs weiter gesunken ist. Die erhöhte Belastung im Hintergrund kann dabei mehrere Ursachen haben. Einerseits kann das Defizit an Niederschlagsereignissen im Jahr 2018 und die damit verringerte Auswaschung von Partikeln aus der Atmosphäre ein Grund für die höhere PM_{10}-Belastung im Innerstädtischen Hintergrund für 2018 sein. Andererseits kann auch das Verhalten der Berliner Bevölkerung die PM_{10}-Belastung im urbanen Hintergrund beeinflussen. Darauf wird im Abschnitt 6 näher eingegangen.

Abbildung 10 enthält als Säulengrafik die PM_{10}-Jahresmittelwerte und die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittels von 50 µg/m³ von 1999 bis 2018 an der Station Frankfurter Allee. Es fällt auf, dass die Jahresmittelwerte lediglich um 35 % streuen, die Anzahl der Überschreitungen jedoch um mehr als den Faktor 6 variiert. Dies illustriert, dass die Anzahl der Überschreitungen des Grenzwerts für das Tagesmittel noch sehr viel stärker von den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der Häufigkeit von austauscharmen Hochdruckwetterlagen mit südlichen bis östlichen Winden abhängt als die Mittelwerte für die einzelnen Kalenderjahre. Insgesamt ist seit 1998 insbesondere bei den Straßenstationen ein abnehmender Trend sowohl der PM_{10}-Jahresmittelwerte als auch der Anzahl der Überschreitungen des Grenzwertes für das Tagesmittel zu beobachten. Die Langzeitbetrachtung zeigt, dass die Belastung mit PM_{10} zwar sensibel auf Emissionsminderungsmaßnahmen reagiert, aber die Abhängigkeit insbesondere von der Herkunft der Luftmassen immer noch erheblich ist. So geht aus dem Luftreinhalteplan (2) für Berlin hervor, dass ein großer Teil der Überschreitungstage des Tagesgrenzwerts auf Ferntransport aus östlichen und südöstlichen Richtungen zurückzuführen ist. Der Anteil an Überschreitungstagen hat in den vergangenen Jahren abgenommen. Abbildung 11, zeigt wie sich der Jahresgang der PM_{10}-Konzentration am MC174 im Jahr 2018 zum mittleren Jahresgang sowie dessen Schwankungsbereich, dargestellt durch die Standardabweichung, zwischen 2008 und 2017, verhält. Die Analyse ergibt, dass außer den Monaten Januar und Dezember, alle anderen Monate in 2018 auf einem vergleichbaren Niveau zum Mittel zwischen 2008 bis 2017 waren.

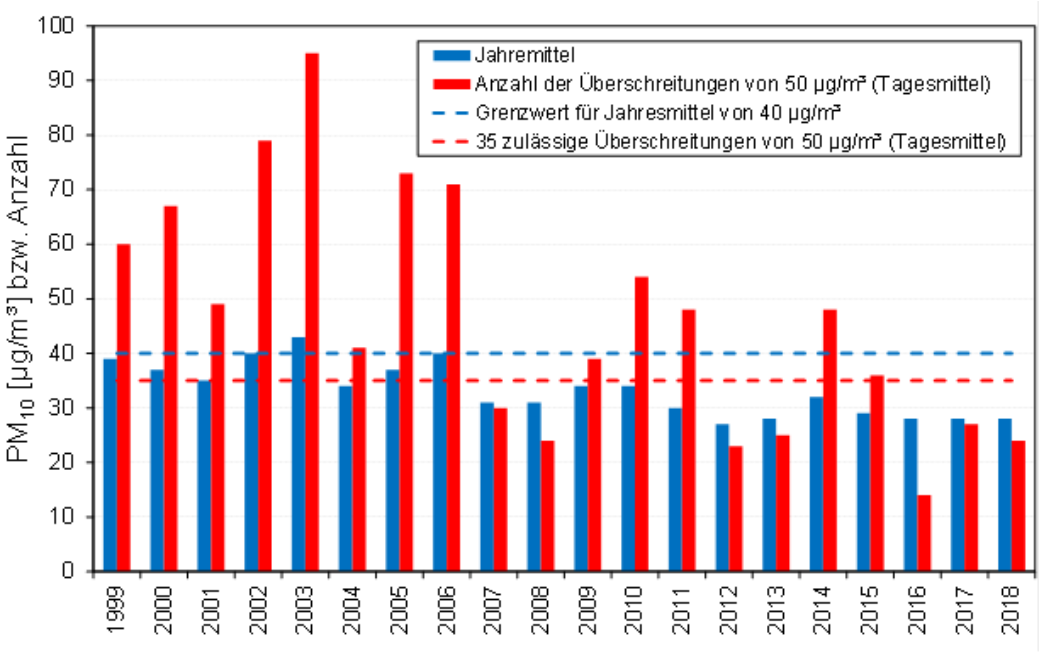


Abbildung 10: Verlauf der PM_{10}-Jahresmittel (JM) und der Anzahl der Überschreitungen (U50) des PM_{10}-Tagesmittels von 50 µg/m³ an der Station Frankfurter Allee

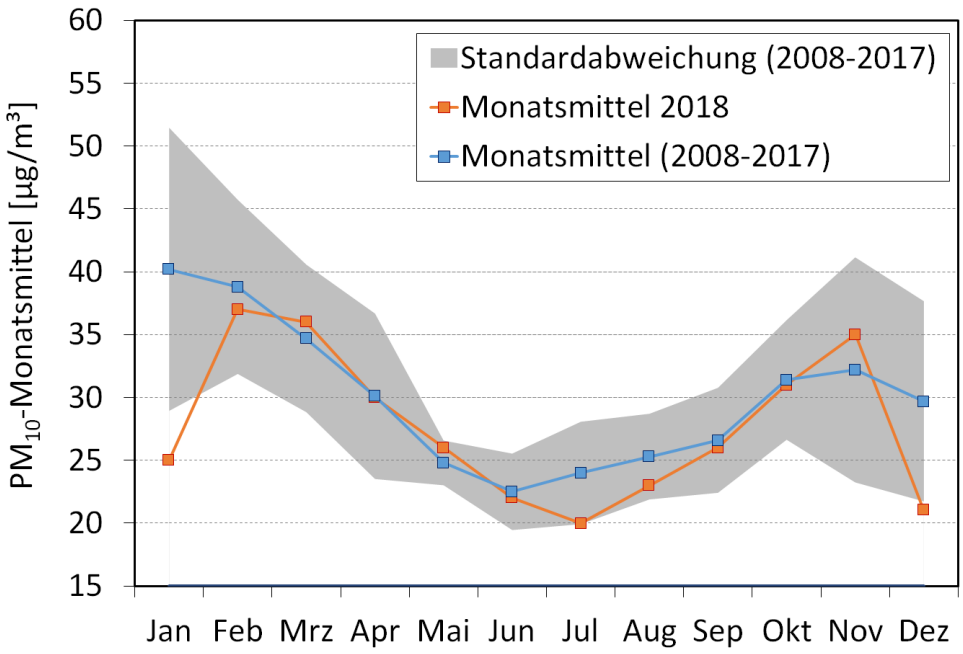


Abbildung 11: Jahresgang der PM_{10}-Konzentration am MC174

$PM_{2,5}$

Die $PM_{2,5}$-Jahresmittel sind in Tabelle 6 für alle Stationen für das Jahr 2018 aufgeführt. Sie lagen durchgehend unterhalb des seit 2015 einzuhaltenden Grenzwertes von 25 µg/m³. Die $PM_{2,5}$-Jahresmittelwerte weisen von Jahr zu Jahr erkennbare Schwankungen aufgrund der jeweiligen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der Emissionssituation auf, wobei insgesamt ein abnehmender Trend sichtbar ist. Die Werte des Jahres 2018 sind auf einem vergleichbaren Niveau mit den Werten von 2016 und 2017. Im Jahr 2008 und 2009 betrug das $PM_{2,5}$-Jahresmittel im innerstädtischen Hintergrund noch bis zu 19,2 µg/m³. Die Belastung bezüglich $PM_{2,5}$ ist noch in weit höherem Maße als die PM_{10}-Belastung durch den Eintrag vorbelasteter Luftmassen ins Stadtgebiet aufgrund von Ferntransport geprägt. Dies ist auf die langen atmosphärischen Verweilzeiten der Partikelfraktion mit aerodynamischen Durchmessern von ca. 0,2-2 µm zurückzuführen, die den größten Teil der Masse von $PM_{2,5}$ ausmachen. Die seit 2011 beobachtete Abnahme der $PM_{2,5}$-Belastung könnte ihre Ursache in den Fortschritten der emissionsmindernden Maßnahmen in den osteuropäischen Mitgliedstaaten der EU haben. So sind im Jahr 2017 die letzten Übergangsfristen für die Sanierung von Großfeuerungsanlagen abgelaufen.

Average Exposure Indicator (AEI)

In der 39. BImSchV ist der gleitende Dreijahresmittelwert von PM2,5 (Average Exposure Indicator = AEI) als ein Indikator für die durchschnittliche Belastung der Bevölkerung im städtischen Hintergrund definiert. Dieser AEI wird für jeden EU-Mitgliedstaat gesondert aus den Werten der entsprechenden PM2,5-Messstellen ermittelt und daraus ein nationales Minderungsziel abgeleitet. In Deutschland gibt es 30 AEI-Messstellen. In Berlin werden diese Messungen, entsprechend dem Anteil an der bundesdeutschen Bevölkerung, die in Großstädten lebt, seit dem 01.01.2008 an drei Stationen, in Neukölln (MC042), Mitte (MC171) und Wedding (MC010), durchgeführt. Der AEI für das Referenzjahr 2010 ist als der Mittelwert der Jahre 2008 bis 2010 definiert, der AEI für das Jahr 2011 als Mittelwert der Jahre 2009 bis 2011 etc.; entsprechend ergibt sich der AEI für das Jahr 2018 als Mittel der Jahre 2016 bis 2018. Wie der ununterbrochene Rückgang der Jahresmittelwerte der Berliner AEI-Stationen seit 2011 von 19,9 µg/m³ auf 15,6 µg/m³ im Jahr 2018 (siehe Tabelle 7) zeigt, haben hier emissionsmindernde Maßnahmen der osteuropäischen Mitgliedstaaten der EU, daneben aber auch die in Berlin selbst umgesetzten Maßnahmen zur Luftreinhaltung, die im Luftreinhalteplan 2011-2017 (4) beschrieben wurden, gegriffen.

Tabelle 7: Mittelwert über alle AEI-Stationen in Deutschland (national) (5) und Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen (ab 2010)

Jahr	AEI (national)	Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen
Mittelungszeitraum	3-Jahresmittel µg/m³	3-Jahresmittel µg/m³
2010	16,4	19,2
2011	17,0	19,9
2012	16,2	19,6
2013	15,3	18,2
2014	14,6	18,0
2015	14,1	17,5
2016	13,4	17,2
2017	12,6	15,7
2018	13,0	15,6

Im gesamten Bundesgebiet betrug für das Jahr 2010 der AEI 16,4 µg/m³ (5). Entsprechend den Regelungen in der 39. BImSchV ergibt sich damit ein nationales Reduktionsziel bis zum Jahr 2020 (Mittelwert der Jahre 2018, 2019, 2020) von 15 %, so dass der dreijährige Mittelwert der 30 deutschen AEI-Messstellen für die Jahre 2018-2020 nur noch etwa 13,9 µg/m³ betragen darf. Dieser Wert wurde bereits 2016 und 2017 unterschritten. Für das Jahr 2018 wird der bundesweite AEI vorrausichtlich 13 µg/m³ betragen (5) und liegt damit zum dritten Mal in Folge unter dem Wert, der ab 2020 einzuhalten ist.

5.3 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Staubinhaltsstoffe

Tabelle 8: Kennwerte für Benzo(a)pyren (BaP) in PM_{10}

Lage	Station	Jahresmittel
		[ng/m³]
Stadtrand	Buch (MC077)	0,41
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	0,46
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,51
	Schildhornstr. 76 (MC117)	0,45

Erklärung:

Der Zielwert für das Jahresmittel von Benzo(a)pyren liegt bei 1,0 ng/m³.
Grenzwert für Jahresmittel und Kurzzeit-Grenzwert wurden eingehalten.

Tabelle 9: Kennwerte für die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Nickel und Blei in PM_{10}

Lage	Station	Arsen	Cadmium	Nickel	Blei
		Jahresmittel [ng/m³]			
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	1,33	0,49	3,97	9,77
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,82	0,51	4,54	8,49

Erklärung:

Der Zielwerte für das Jahresmittel von Arsen, Cadmium und Nickel liegen bei 6 ng/m³, 5 ng/m³ und 20 ng/m³. Der Grenzwert für das Jahresmittel von Blei liegt bei 500 ng/m³.
Grenzwert für Jahresmittel und Kurzzeit-Grenzwert wurden eingehalten.

Benzo(a)pyren in PM_{10}

Die Benzo(a)pyren-Jahresmittelwerte 2018 (siehe Tabelle 8) betrugen zwischen 0,41 und 0,51 ng/m³. Die Belastung lag damit wieder auf dem Niveau von 2016 und deutlich höher als 2017. Der Zielwert von 1 ng/m³ wurde jedoch trotzdem deutlich unterschritten.

Schwermetalle in PM_{10}

Die Jahresmittelwerte der zu überwachenden Schwermetalle in PM_{10} (siehe Tabelle 9) lagen für Arsen bei 0,8-1,3 ng/m³, für Cadmium bei etwa 0,5 ng/m³, für Nickel bei 4-4,5 ng/m³ und für Blei bei 8,5-9,8 ng/m³, also in allen Fällen weit unterhalb des jeweiligen Ziel- bzw. Grenzwertes. Durch den Anstieg der PM_{10}-Belastung von 2017 auf 2018 im innerstädtischen Hintergrund liegen wahrscheinlich auch die Jahresmittelwerte der Schwermetalle in 2018 über den Konzentrationen von 2017. Die Konzentrationen sind so niedrig, das keine Messverpflichtung mehr besteht. Dennoch wird Messungen, die in vergleichsweise geringem Umfang durchgeführt werden, auch weiterhin der Vorzug vor den gesetzlich ebenfalls erlaubten objektiven Schätzungen gegeben.

EC und OC

Elementare und organische Kohlenstoffverbindungen (EC, OC) bilden eine Teilmenge der atmosphärischen Partikel. Elementarer Kohlenstoff, der so genannte „Dieselruß“, ist ein guter Indikator für Verbrennungsprozesse und bildet an Straßenmessstellen sehr gut den Kfz-Verkehr ab. Zur EC-Belastung haben jedoch alle unvollständigen Verbrennungsprozesse einen Anteil, so auch das Verbrennen von Holzkohle, Holz und Biomasse. Der Anteil von elementarem Kohlenstoff an der Partikelmassenkonzentration ist zwar gering, wird aber auch von der Weltgesundheitsorganisation als toxikologisch besonders relevant eingestuft (6). Zur Ermittlung der EC- und OC-Werte wird ein thermisch-optisches Verfahren nach dem Tempe-

raturprofil EUSAAR2 und einer optischen Pyrolyseorrektur per Reflexion angewendet.

Die Jahresmittelwerte der EC- und OC-Massenkonzentrationen sind in Tabelle 10 aufgeführt. Die EC-Werte lagen am Stadtrand in Buch bei 0,9 µg/m³ und im innerstädtischen Hintergrund in Neukölln bei 1,2 µg/m³. An den Messpunkten an Hauptverkehrsstraßen ergaben sich Jahresmittel zwischen 1,2 und 2,7 µg/m³.

Für OC werden stets höhere Werte als für EC ermittelt. Am Stadtrand in Buch bzw. im innerstädtischen Hintergrund in Neukölln wurden Jahresmittelwerte von 3,6 µg/m³ bzw. 5,3 µg/m³ ermittelt. An den Hauptverkehrsstraßen lagen die Jahresmittelwerte zwischen 4,9 und 7,6 µg/m³. Die Schwankungen in den Jahresmittelwerten der einzelnen Stationen sind Ausdruck der verschiedenen natürlichen und anthropogenen Quellen organischer Kohlenstoffverbindungen.

Tabelle 10: Kennwerte für EC und OC

Lage	Station	EC	OC
	Mittelungszeitraum	Jahresmittel [µg/m³]	Jahresmittel [µg/m³]
Stadtrand	Buch (MS535)	0,9	3,6
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MS517)	1,2	5,3
Straße	Berliner Allee 118 (MS501)	2,0	6,1
	Beusselstr. 66 (MS504)	1,6	5,5
	Potsdamer Str. 102 (MS505)	1,7	5,6
	Michael-Brückner-Str. 5 (MS507)	2,5	5,8
	Alt Friedrichsfelde 8a (MS514)	2,5	5,7
	Leipziger Str. 32 (MS525)	1,9	5,3
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	1,7	5,3
	Schildhornstr. 76 (MC117)	1,5	5,1
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	2,3	5,6
	Karl-Marx-Str. 77 (MC220)	1,9	5,8
	Kantstr. 117 (MS528)	1,5	5,2
	Hauptstr. 54 (MS530)	2,0	5,8
	Spandauer Damm 103 (MS531)	2,6	5,3
	Hermannstr. 120 (MS533)	2,4	6,7
	Alt Moabit 63 (MS537)	1,9	5,0
	Schloßstr. 29 (MS539)	1,2	5,1
	Tempelhofer Damm 148 (MS542)	1,8	5,2
	Sonnenallee 68 (MS545)	2,4	7,6
	Landsberger Allee 6-8 (MS547)	2,5	5,6
	Hermannplatz, Laterne 21 (MS555)	2,2	6,2
	Buschkrugallee 8 (MS559)	2,7	5,3
	Friedrichstr. 172 (MS562)	1,3	4,9
	Badstr. 67 (MS573)	2,3	6,0
	Klosterstr. 12, Spandau (MS576)	2,0	5,1
	Eichborndamm 23-25 (MS579)	1,6	5,0
	Markgrafendamm 6 (MS581)	1,9	5,5
	Invalidenstraße 30 (MS582)	1,7	5,4

5.4 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Ozon

Tabelle 11: Kennwerte für Ozon

Lage	Station	Jahres-mittel	MAX_8H	U120	U120_3	U180	U240
		[µg/m³]	[µg/m³]	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	56	172	36	23	1	0
	Grunewald (MC032)	51	167	30	19	0	0
	Buch (MC077)	49	162	22	16	0	0
	Friedrichshagen (MC085)	58	178	36	25	3	0
	Frohnau (MC145)	52	165	25	17	1	0
Inner-städtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	49	162	23	12	0	0
	Neukölln (MC042)	51	166	29	17	0	0

Erklärung:

MAX_8H Maximaler 8-Stunden-Mittelwert

U120 Anzahl an Tagen, an denen MAX_8H den Zielwert von 120 µg/m³ überschritten hat.

U120_3 Mittelwert von U120 über die letzten 3 Kalenderjahre (Zielwert der 39. BImSchV sind 25 Tage/Jahr)

U180 Anzahl der 1-Stunden-Mittel in denen die Informationsschwelle von 180 µg/m³ überschritten wurde.

U240 Anzahl der 1-Stunden-Mittel in denen die Alarmschwelle von 240 µg/m³ überschritten wurde.

Grenzwert für Jahresmittel und Kurzzeit-Grenzwert wurden eingehalten.

Tabelle 12: Kennwerte für AOT

Lage	Station	AOT-P	AOT-P_5	AOT-W
		[µg/m³*h]	[µg/m³*h]	[µg/m³*h]
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	23585	16393	**42099**
	Grunewald (MC032)	21019	12984	**36476**
	Buch (MC077)	16873	14588	**30498**
	Friedrichshagen (MC085)	23326	17802	**41892**
	Frohnau (MC145)	18496	13048	**32621**
Inner-städtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	18309	12163	**30152**
	Neukölln (MC042)	20483	13295	**33862**

Erklärung:

AOT-P AOT40 (Summe über Mai bis Juli)

AOT-P_5 AOT-P gemittelt über die letzten 5 Kalenderjahre (künftiges Langfristziel zum Schutz der Vegetation: 6000 µg/m³*h, Zielwert ab 2010: 18000 µg/m³*h)

AOT-W AOT40 (Summe über April bis September), kritischer Belastungswert zum Schutz von Waldökosystemen: 20000 µg/m³*h

Rot: Zielwert oder kritischer Belastungswert wurde überschritten.

Ozon

Die Bildung von bodennahem Ozon geschieht über chemische Reaktionen sogenannter Vorläuferstoffe unter dem Einfluss von UV-Strahlung. Der wichtigste Vorläuferstoff für die Bildung von Ozon ist NO_2. Aber auch flüchtige organische Verbindungen (VOC, volatile organic compounds) sind für die Ozonbildung von Bedeutung, da diese mit NO zum Ozonvorläuferstoff NO_2 reagieren können. Abgebaut wird Ozon wiederum durch

NO. Die Bildung von Ozon ist damit eine reversible photochemische Reaktion.

In Tabelle 11 sind die Ozon-Kennwerte für 2018 dargestellt. Die Jahresmittelwerte am Stadtrand lagen zwischen 49 und 58 µg/m³, die im innerstädtischen Hintergrund bei 49 und 51 µg/m³. Die höchsten Ozon-Konzentrationen werden in den Stadtrandgebieten gemessen, da dort der Abbau von Ozon durch geringe NO-Konzentrationen eingeschränkt ist. Davon sind besonders die im Lee einer Stadt liegenden Gebiete betroffen, da im Stadtgebiet gebildetes Ozon in diese Richtungen abtransportiert wird. In Berlin sind besonders im Sommer Windrichtungen von West bis Nord-West üblich (siehe Abbildung 2), so dass die Stationen in Friedrichshagen (MC085) und in Marienfelde (MC027) im Sommer 2018, wie auch in den meisten anderen Jahren, die höchste Ozon-Belastung aufwiesen. Konsequenterweise wurde in Friedrichshagen mit 178 µg/m³ auch der höchste maximale 8-Stunden-Mittelwert gemessen, gefolgt von Marienfelde mit 172 µg/m³.

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit liegt bei 25 Überschreitungen des Achtstunden-Mittels von 120 µg/m³. Um den starken Einfluss der Witterung auf die Ozon-Konzentration zu berücksichtigen, wird dabei der Mittelwert über die letzten drei Jahre herangezogen, welcher für die Berliner Stationen zwischen 12 und 25 lag (siehe Tabelle 11, Datenspalte 4). Dabei wurde dieser Zielwert an der Station in Friedrichshagen (MC085) mit 25 Überschreitungen gerade eingehalten und in Marienfelde mit einer Anzahl von 23 knapp unterschritten

Die Informationsschwelle von 180 µg/m³ wurde in Marienfelde (MC027) und Frohnau (MC145) jeweils einmal und in Friedrichshagen (MC085) dreimal überschritten. Die Alarmschwelle wurde nicht überschritten.

AOT

Der „Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 ppb“ (AOT40) ist ein Maß um die toxikologische Wirkung von Ozon auf die Vegetation abschätzen zu können. Der AOT40 bildet sich aus der kumulierten Differenz zwischen 1-Stundenwerten über 80 µg/m³ und 80 µg/m³. Dabei wird nur der Zeitraum zwischen 8 und 20 Uhr (MEZ) genutzt. Der über die letzten fünf Jahre gemittelte AOT40-Wert für Ozon (summiert über die Monate Mai bis Juli – AOT-P_5) lag etwa zwischen 12200 und 17800 µg/m³ h und blieb damit in Friedrichshagen knapp unter dem seit 2010 geltenden Zielwert zum Schutz der Vegetation. Der AOT40-Wert zum Schutz von Waldökosystemen (summiert über April bis September) ergab für 2018 Werte zwischen etwa 30000 und 42000 µg/m³ h und überschritt damit an allen Messstellen den kritischen Belastungswert von 20000 µg/m³ h.

Langzeittrend von Ozon

Abbildung 12 zeigt die Jahresmittelwerte für Ozon, jeweils gemittelt über alle sieben Messstationen. Die Ozon-Jahresmittel stiegen in Berlin bereits seit 1987 an. Unter Anwendung einer linearen Trendanalyse, welche die sehr niedrige Belastung im Jahr 1987 außen vor lässt, ergibt sich eine Zunahme von etwa 0,26 µg/m³ pro Jahr. Dieser stetigen Zunahme sind Schwankungen infolge der Witterungssituation des jeweiligen Sommers (Temperaturen, Bewölkung) überlagert, so dass Sprünge in den Jahresmittelwerten von bis zu 7 µg/m³ von einem auf das nächste Jahr nicht unüblich sind. Auf Grund der meteorologischen Bedingungen im Jahr 2018 mit hohen Temperaturen und einer sehr hohen Sonneneinstrahlung war die mittlere Ozonbelastung im Vergleich zu den Vorjahren 2016 und 2017 erhöht.

Dieser Zunahme der durchschnittlichen langfristigen Belastung steht jedoch eine Abnahme der kurzfristigen Spitzenbelastungen gegenüber. Diese Spitzenbelastungen sind gesundheitlich besonders relevant, da Ozon-Konzentrationen über der Informations- und besonders über der Alarmschwelle, zu Reizerscheinungen der Augen und Schleimhäute sowie Lungenschäden führen können. Trotz der für die Bildung von Ozon günstigen Witterungsbedingungen in 2018 ist die Anzahl der Überschreitungen der Informationsschwelle von 180 µg/m³ überraschend gering ausgefallen. Die Alarmschwelle wurde nicht überschritten. Grund dafür können die besonders in den Sommermonaten niedrigen NO_2-Konzentrationen sein, so dass hohe Ozon-Spitzenkonzentrationen durch ein Fehlen von Vorläuferstoffen verhindert wurden. Zusätzlich kann auch die extreme Trockenheit in den Sommermonaten in 2018 ein Grund für diese Beobachtung sein. Es steht zur

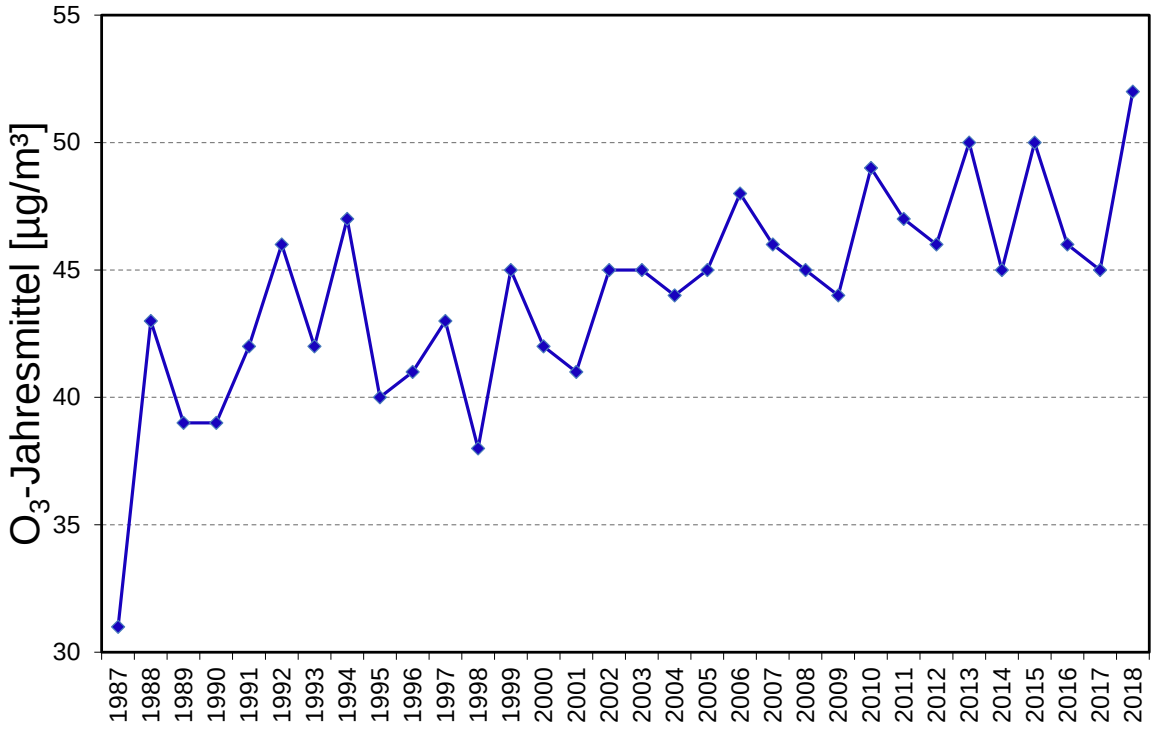


Abbildung 12: Ozon-Zeitreihe des Jahresmittelwertes (über alle Stationen) zwischen 1987 und 2018

Diskussion, dass die Emission von VOC durch die Vegetation auf Grund der Trockenheit und Dürrestress geringer war als üblich, so dass auch aus diesem Grund die Bildung von Ozon abgeschwächt wurde (5).

Deutschlandweit wurde im Gegensatz zur Abnahme der Ozon-Spitzenkonzentrationen durch Minderungsmaßnahmen für Ozonvorläuferstoffe seit 1990 eine schwache Zunahme der Jahresmittelwerte an städtischen Stationen beobachtet (7). Im ländlichen Hintergrund wurden bis Ende der 1990er-Jahre eine deutschlandweite Zunahme und eine darauffolgende Stagnation der Ozon-Jahresmittelwerte registriert (7). Da auch die Berliner Stadtrandstationen im Fall von Ozon maßgeblich von städtischen Emissionen beeinflusst sind, hier besonders die im Lee der Stadt liegenden Stationen MC124 und MC085, passt der in Berlin im Mittel über alle Stationen festgestellte Anstieg, zum deutschlandweiten Trend.

5.5 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Schwefeldioxid, Kohlenstoffmonoxid und Benzol

Tabelle 13: Kennwerte für SO_2

Lage	Station	Jahresmittel	Überschreitung des 1-Stunden-Grenzwerts von 350 µg/m³	Überschreitung des 24-Stunden-Grenzwerts von 125 µg/m³
		[µg/m³]	Anzahl	Anzahl
Innerstädtischer Hintergrund	Karlshorst (MC282)	1	0	0
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	1	0	0

Erklärung:
Der 1-Stunden-Grenzwert beträgt 350 µg/m³ bei 24 zugelassenen Überschreitungen im Kalenderjahr.
Der Grenzwert für das Tagesmittel beträgt 125 µg/m³.

Tabelle 14: Kennwerte für CO

Lage	Station	Jahresmittel	Maximaler 8-Stundenwert
		[mg/m³]	[mg/m³]
Straße	Schildhornstr. 76 (MC117)	0,4	1,4
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,4	1,3

Erklärung:
Der Grenzwert für den höchsten 8-Stundenmittelwert pro Tag beträgt 10 mg/m³.

Tabelle 15: Kennwerte für Benzol

Lage	Station	Jahresmittel
		[µg/m³]
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	1,0
Straße	Schildhornstr. 76 (MC117)	1,2
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	1,1

Erklärung:
Der Grenzwert für das Jahresmittel für Benzol beträgt 5 µg/m³ (39.BImSchV).
Grenzwert für Jahresmittel und Kurzzeit-Grenzwert wurden eingehalten.

SO_2, CO und Benzol

Die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden für Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Benzol im Jahr 2018 weit unterschritten (vgl. Tabellen 11, 12 und 13). Es kommt jedoch weiterhin vor, dass verhaltensbedingte Emissionen, wie beispielsweise durch Grillen oder Feuerwerke, zu kurzzeitig lokal erhöhten Immissionsbelastungen der drei Schadstoffe führen. So kommt es auf Grund des Silvesterfeuerwerks an der Station in der Frankfurter Allee (MC174) üblicherweise zu Neujahr zu einer Überschreitung des über eine volle Stunde gemittelten Immissionsgrenzwertes für Schwefeldioxid von 350 µg/m³. Im Jahr 2018 wurde dies auf Grund eines Messgeräteausfalls nicht aufgezeichnet.

Langzeittrend von Benzol

Die Trendgrafik für Benzol (siehe Abbildung 13) zeigt an den Straßenstandorten bis 2004 eine deutliche Abnahme der Jahresmittelwerte. Seitdem fallen die Benzol-Jahresmittelwerte nicht mehr erkennbar, sondern streuen in Abhängigkeit von den meteorologischen Randbedingungen. Seit 2012 liegen die Benzol-Jahresmittelwerte auch an den Straßenstationen dauerhaft unter-

halb der unteren Beurteilungsschwelle von 2 µg/m³, so dass keine Messverpflichtung mehr besteht und Verfahren der objektiven Schätzung oder Modellrechnungen ausreichen würden.

Seit Beginn der Messungen hat die Differenz zwischen den Jahresmittelwerten an Straßen und im innerstädtischen Hintergrund stetig abgenommen, so dass sich die Belastung der Straßenmessstellen an die im innerstädtischen Hintergrund angeglichen hat. Im Jahr 2018 wurde mit 0,15 µg/m³ die geringste Differenz zwischen beiden Messreihen seit Beginn der Aufzeichnungen ermittelt.

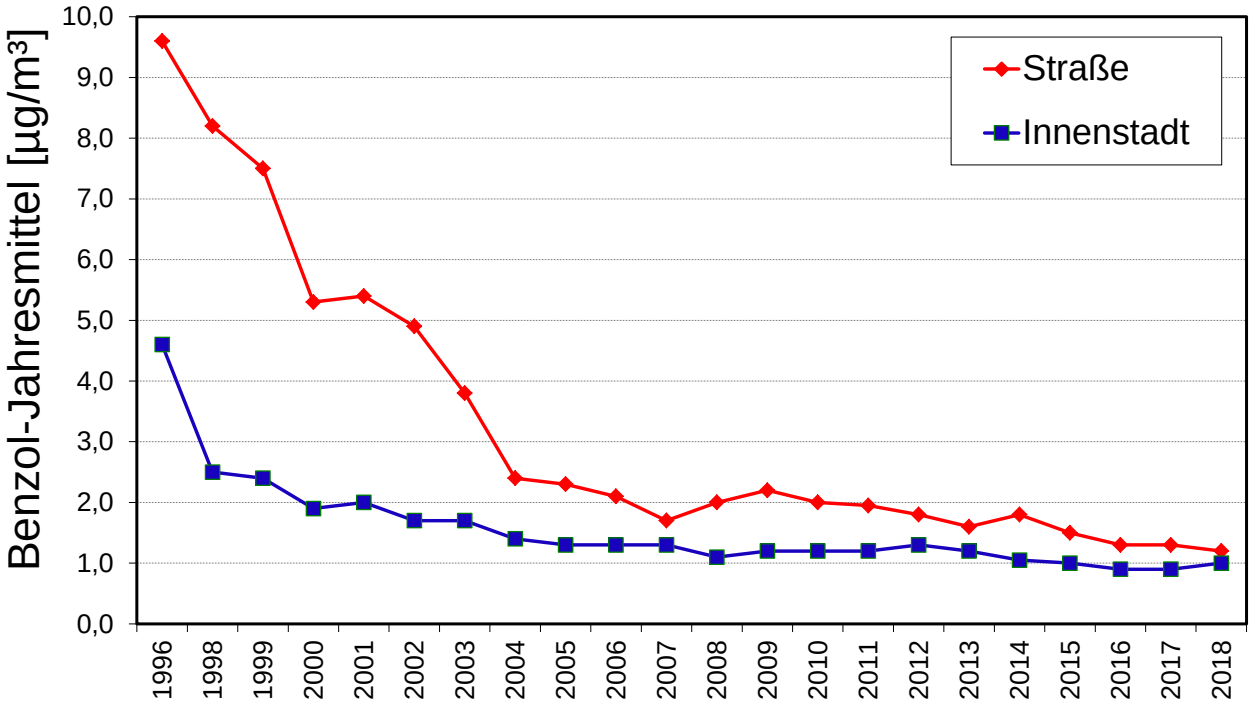


Abbildung 13: Benzol-Zeitreihe der Jahresmittel zwischen 1996 und 2018

6 Verhaltensbedingte Beiträge zur Luftbelastung mit Partikeln

Wie im Abschnitt 5.2 dargestellt wurde, hat die urbane Hintergrundbelastung bezüglich PM_{10} im Jahr 2018 um 2 µg/m³ zugenommen. Zeitgleich blieb die mittlere Belastung an Straßen seit 2016 konstant. Neben den in Abschnitt 5.2 bereits angesprochenen Witterungsbedingungen, hat auch das individuelle Verhalten der städtischen Bevölkerung einen Einfluss auf die urbane PM_{10}-Belastung. Eine Quellgruppe, welche in diesem Zusammenhang heraussticht, ist die Holzverbrennung. Dazu zählen vor allem Emissionen, die beim Benutzen von Kaminöfen, Feuerschalen oder beim Grillen freigesetzt werden. Letzteres machte im Jahr 2015 10 % der Gesamtmenge der PM_{10}-Emissionen in Berlin aus (2). Eindrucksvoll ist der Vergleich zu den PM_{10}-Emissionen, die durch Verbrennungsprozesse im Bereich des Kfz-Verkehrs verursacht werden. Diese liegen nur bei 4 %, was weniger als die Hälfte des PM_{10}-Anteils durch Grillen ist. Die Belastung durch Grillen und die Verwendung von Feuerschalen beschränkt sich dabei größtenteils auf die warme Jahreszeit, wohingegen Kaminöfen überwiegend in den Übergangsmonaten als zusätzliche Heizmöglichkeit verwendet werden.

Um diese Thematik näher zu betrachten, werden im Folgenden zwei Untersuchungen vorgestellt. Einerseits wurde die kurzfristige Einwirkung eines laufenden Holzkohlegrills auf die Luftqualität in Berlin-Mitte (MC171) untersucht. Zum anderen wurde der Holzverbrennungsanteil an PM_{10} im Jahr 2018 an zwei Messstellen in Berlin für die jeweiligen PM_{10}-Überschreitungstage ermittelt.

6.1 Einfluss von Grillen auf die Luftbelastung mit Partikeln

Am 23.08.2018 wurde in unmittelbarer Nähe des Messcontainers MC171 in Berlin Mitte über einen Zeitraum von etwa einer Stunde ein Holzkohlegrill betrieben. Dessen Einfluss auf die Luftqualität ist in Abbildung 14 an Hand der Zeitreihen der CO-, der PM_{10}- sowie der $PM_{2,5}$-Konzentrationen mit 5-minütiger Auflösung dargestellt. Die CO-Zeitreihe wurde neben der Darstellung der Partikelzeitreihen als zusätzlicher Indikator für das Stattfinden eines Verbrennungsprozesses herangezogen.

Alle drei Schadstoffzeitreihen zeigten im Zeitraum zwischen 15:55 Uhr und 17 Uhr Massenkonzentrationen, welche im Vergleich zum Rest des Tages deutlich erhöht waren. Die dabei aufgetretenen punktuellen Spitzenwerte sind markant für Immissionsmessungen in der Nähe einer punktuellen Emissionsquelle. Die mittlere Belastung über den gesamten Tag, ohne den Grillzeitraum zu berücksichtigen, lag für PM_{10} bei 33 µg/m³ und für $PM_{2,5}$ bei 16 µg/m³. Im Mittel über den Grillzeitraum lag die PM_{10}- bzw. die $PM_{2,5}$-Belastung bei 162 µg/m³ bzw. 114 µg/m³. Das Grillen hat damit kurzfristig die an diesem Tag vorherrschende PM_{10}- bzw. $PM_{2,5}$-Belastung um jeweils das Fünf- bzw. Siebenfache erhöht. Das PM_{10}- bzw. $PM_{2,5}$-Tagesmittel lag bei 39 µg/m³ bzw. 21 µg/m³ und war damit um jeweils 18 % bzw. 28 % höher als es wahrscheinlich ohne das Grillen gewesen wäre. Mit Hilfe dieser Auswertung lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Grillen erhöht die Luftbelastung mit Partikeln im unmittelbaren Umfeld und für die Dauer des Grillereignisses signifikant.
- Grillen hat einen größeren Einfluss auf die $PM_{2,5}$-Partikelfraktion als auf Partikel der Fraktion PM_{10}. Es ist generell typisch, dass durch Verbrennungsprozesse Partikel entstehen, die einen kleineren aerodynamischen Durchmesser als ca. 2 µm haben. Darüber hinaus sind auf Grund ihrer Größe diese kleinen Partikel besonders gesundheitsrelevant.
- Verhaltensbedingte Emissionen von Partikeln können zu einer relevanten Erhöhung der PM_{10}-Belastung führen und damit auch zur Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für das Tagesmittel von 50 µg/m³. Ein weiteres Beispiel hierfür wird im folgenden Abschnitt vorgestellt.

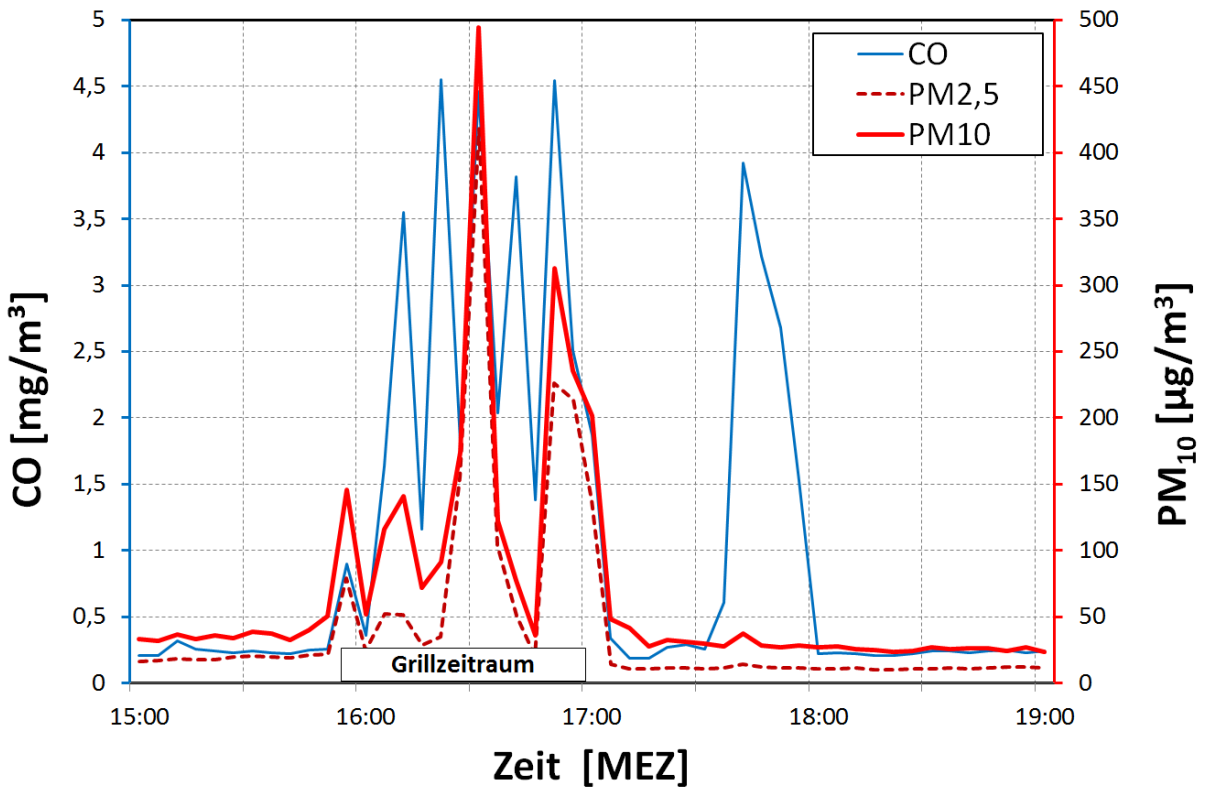


Abbildung 14: PM_{10}, $PM_{2,5}$ und CO-Zeitreihe auf Basis von Fünfminutenmittelwerten, gemessen während eines Grillevents am MC171 (Mitte) am 23.08.2019. Die Zeitreihen sind in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) dargestellt.

6.2 Holzverbrennungsanteil an PM_{10}-Überschreitungstagen

Das Berliner Luftgütemessnetz hat an der verkehrsnahen Messstation Frankfurter Allee (MC174) ein automatisches Messgerät zur Erfassung der quellspezifischen Lichtabsorption (Aethalometer® Typ AE33) installiert und den Holzverbrennungsanteil an PM_{10} für das Jahr 2017 im letzten Jahresbericht veröffentlicht. Der Ansatz und die Vorgehensweise für die Abschätzung des Beitrags der Holzverbrennung kann der Publikation (8) entnommen werden. Im August 2017 wurde auch die Messstation Nansenstraße (MC042) im innerstädtischen Hintergrund mit einem Aethalometer ausgestattet, sodass für das Jahr 2018 eine Auswertung für beide Standorte durchgeführt werden konnte.

Die Auswertungen ergaben prozentuale Anteile der Holzverbrennung an PM_{10}-Überschreitungstagen von 3% - 22 % (MC174) bzw. 4% - 19 % (MC042) bei einem mittleren prozentualen Anteil von jeweils 13 %. Im Vergleich zum letzten Jahr ist der mittlere prozentuale Holzverbrennungsanteil an der Messstation Frankfurter Allee angestiegen. Allerdings ist unter Berücksichtigung der mittleren PM_{10}-Konzentration an Überschreitungstagen die Absolutkonzentration des Holzverbrennungsanteils insgesamt gesunken. Würde der Beitrag der Holzverbrennung komplett entfallen, wäre an der Station Frankfurter Allee der Grenzwert für das PM_{10}-Tagesmittel im Jahr 2018 statt an 24 nur an 13 Tagen überschritten worden. An der Nansenstraße wäre der PM_{10}-Tagesmittelgrenzwert ohne Holzverbrennung nur an 6 Tagen anstatt an 13 Tagen überschritten worden. Die Abbildungen 15 und 16 illustrieren diese Zusammenhänge und die Tage an denen es ohne Holzverbrennung zu keiner Überschreitung des PM_{10}-Tagesmittelgrenzwertes gekommen wäre.

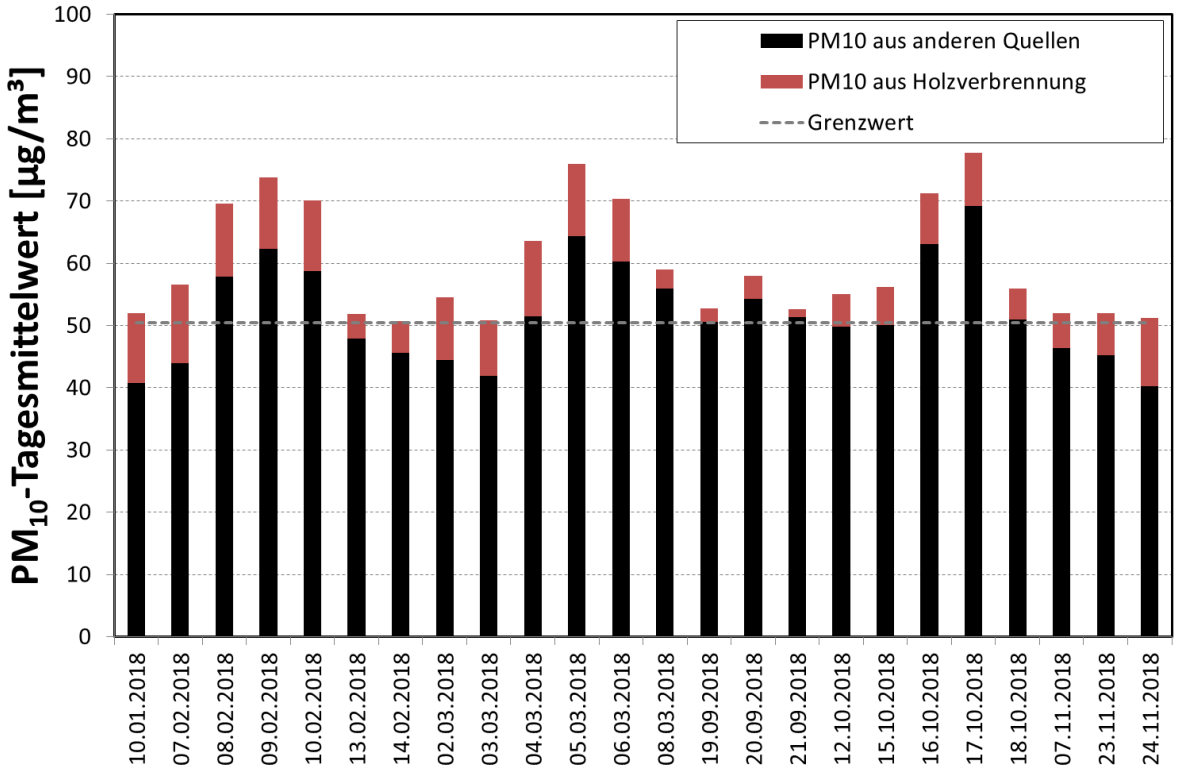


Abbildung 15: Beitrag der Holzverbrennung zu PM_{10}-Konzentrationen an Tagen mit Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ an der Messstation Frankfurter Allee 86 b (MC174)

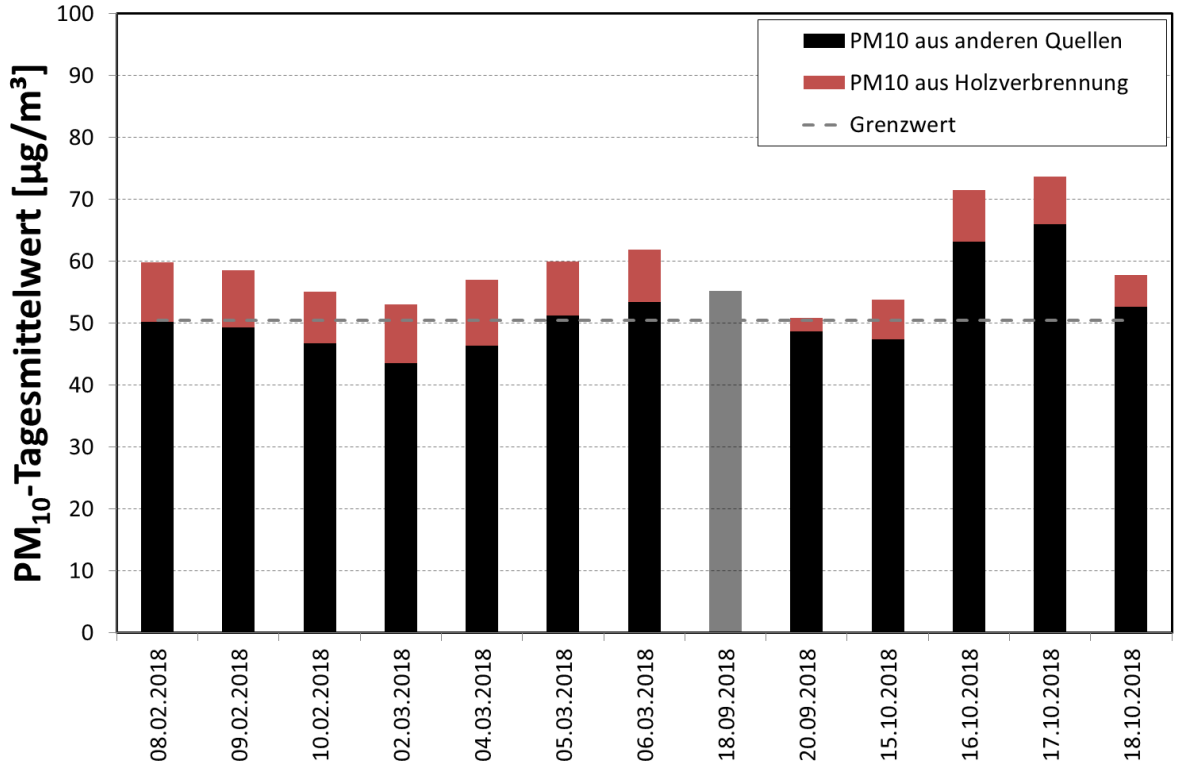


Abbildung 16: Beitrag der Holzverbrennung zu PM_{10}-Konzentrationen an Tagen mit Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ an der Messstation Nansenstraße 10 (MC042); keine Quantifizierung des Holzverbrennungsbeitrages am 18.09.2018 wegen qualitätssichernder Wartung

Begriffsbestimmungen und Abkürzungsverzeichnis

AEI	„Average Exposure Indicator“; gleitender Jahresmittelwert über 3 Jahre, gemittelt über ausgewählte $PM_{2,5}$-Messstationen im städtischen Hintergrund, für einen EU-Mitgliedstaat
AOT40	„Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 ppb“; die Summe der Differenz zwischen Ozon-Konzentrationen über 80 µg/m³ (=40 ppb) als 1-Stunden-Mittelwert und 80 µg/m³ während einer gegebenen Zeitspanne unter ausschließlicher Verwendung der 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 8 und 20 Uhr (MEZ) an jedem Tag (ausgedrückt in (µg/m³)*Stunden)
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BLUME	Berliner Luftgütemessnetz
Chemolumineszenz	Verfahren zur Messung von Stickoxiden, das auf der Lichtemission bei der Reaktion von Stickstoffmonoxid mit Ozon zu Stickstoffdioxid und Sauerstoff beruht
EC	elementarer Kohlenstoff (elemental carbon)
F	Relative Feuchte
Gaschromatographie	Verteilungschromatographie, die als Analysenmethode zum Auftrennen von Gemischen in einzelne chemische Verbindungen weite Verwendung findet. Im vorliegenden Fall wird die Gaschromatographie zur Bestimmung von Benzol, Toluol und Xylol benutzt.
OC	organischer Kohlenstoff (organic carbon)
oBs	„obere Beurteilungsschwelle“: ein Wert für einen Luftschadstoff, unterhalb dessen eine Kombination von ortsfesten Messungen und Modellrechnungen oder orientierende Messungen angewandt werden können, um die Luftqualität zu beurteilen. Die oBs beträgt je nach Komponente 60-80 % des Grenzwertes.
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM_{10}, $PM_{2,5}$	Massenkonzentration von Partikeln der Fraktion mit aerodynamischen Durchmessern kleiner oder gleich 10 bzw. 2,5 µm. (PM = particulate matter)
SM	Schwermetalle
Stickoxide	Stickstoffoxide (NOx) sind die Summe der Volumenmischungsverhältnisse von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2), ausgedrückt in der Einheit der Massenkonzentration von Stickstoffdioxid in Mikrogramm pro Kubikmeter. Stickstoffdioxid ist schädlich für die menschliche Gesundheit. Stickstoffoxide entstehen durch Oxidation des in der Luft enthaltenen Stickstoffs bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen. Sie werden insbesondere von Verbrennungsmotoren der Kfz (vor allem Dieselmotoren), aber auch durch Industrie und Kraftwerke emittiert. Sie werden mit Hilfe von Chemolumineszenz in den automatischen Messgeräten, aber auch mit Passivsammlern gemessen.

Streulichtmessung	Verfahren zur Bestimmung der Anzahl und Größe von Partikeln: Die beprobte Luft wird über ein Edelstahlrohr in eine Messkammer geleitet. Dort wird kontinuierlich jeweils ein sehr kleines Volumen (statistisch meist nur ein Partikel) mittels Laser ausgeleuchtet. Die dabei entstehende Lichtstreuung ist ein Maß für die Partikelanzahl und -größe. Die Größen werden klassifiziert. Aus der Anzahl der Partikel pro Größenklasse und dem Volumenstrom kann dann auf die Konzentration pro Fraktion im betrachteten Luftvolumen rückgeschlossen werden.
RUBIS	Ruß- und Benzol-Immissionssammler
T	Temperatur
Thermo-optisches Messverfahren	Messverfahren zur Bestimmung von EC (elementarem Kohlenstoff, Ruß) und OC, wobei die Trennung der Kohlenstoffkomponenten durch thermische Behandlung und simultane optische Messung der auf Quarzfaserfiltern abgeschiedenen Aliquoten von Partikelproben erfolgt. Das Analyseprofil der thermischen Behandlung ist genau definiert (EUSAAR2). Die optische Messung erfolgt auf Grundlage der Reflexion (alternativ: Transmission).
uBs	„untere Beurteilungsschwelle“: ein Wert für einen Luftschadstoff, unterhalb dessen keine Messverpflichtung mehr besteht, sondern die Beurteilung der Luftqualität mit Modellrechnungen oder Schätzverfahren durchgeführt werden darf. Die uBs beträgt je nach Komponente 40-60 % des Grenzwertes.
UV-Fluoreszenz	Verfahren zur Messung von Schwefeldioxid, das auf der Abstrahlung von Ultraviolettstrahlung durch Schwefeldioxid-Moleküle bei Einwirkung von Ultraviolettlicht beruht.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standorte der Luftgütemesscontainer sowie der RUBIS- und Passivsammlermessstellen in Berlin 5

Abbildung 2: Windrichtungsverteilung für den Sommer, den Winter und das gesamte Jahr 2018 sowie für den Mittelungszeitraum zwischen 2009 und 2018 in Berlin Dahlem 8

Abbildung 3: Temperaturverlauf im Jahr 2018 in Berlin-Dahlem 9

Abbildung 4: Monatliche Sonnenstundenanzahl im Jahr 2018 für Berlin-Dahlem 10

Abbildung 5: Monatlicher Gesamtniederschlag im Jahr 2018 für Berlin-Dahlem 10

Abbildung 6: NO_2-Zeitreihen der Jahresmittelwerte zwischen 1987 und 2018 13

Abbildung 7: NO_2-Zeitreihen der Jahresmittelwerte der einzelnen Straßenmessstationen 14

Abbildung 8: Jahresgang der NO_2-Konzentration am MC174 15

Abbildung 9: PM10-Zeitreihen der Jahresmittelwerte zwischen 1998 und 2018 17

Abbildung 10: Verlauf der PM_{10}-Jahresmittel (JM) und der Anzahl der Überschreitungen (U50) des PM_{10}-Tagesmittels von 50 µg/m³ an der Station Frankfurter Allee 18

Abbildung 11: Jahresgang der PM_{10}-Konzentration am MC174 19

Abbildung 12: Ozon-Zeitreihe des Jahresmittelwertes (über alle Stationen) zwischen 1987 und 2018 25

Abbildung 13: Benzol-Zeitreihe der Jahresmittel zwischen 1996 und 2018 27

Abbildung 14: PM_{10}, $PM_{2,5}$ und CO-Zeitreihe auf Basis von Fünfminutenmittelwerten, gemessen während eines Grillevents am MC171 (Mitte) am 23.08.2019. Die Zeitreihen sind in Mitteleuropäischer Zeit (MEZ) dargestellt 29

Abbildung 15: Beitrag der Holzverbrennung zu PM_{10}-Konzentrationen an Tagen mit Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ an der Messstation Frankfurter Allee 86 b (MC174) 30

Abbildung 16: Beitrag der Holzverbrennung zu PM_{10}-Konzentrationen an Tagen mit Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ an der Messstation Nansenstraße 10 (MC042); keine Quantifizierung des Holzverbrennungsbeitrages am 18.09.2018 wegen qualitätssichernder Wartung 30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standorte der Luftgütemesscontainer und gemessene Komponenten 3

Tabelle 2: RUBIS- und Passivsammlerstandorte 4

Tabelle 3: Immissionswerte für Luftverunreinigungen nach der 39. BImSchV 6

Tabelle 4: Datenverfügbarkeit im Jahr 2018 7

Tabelle 5: Kennwerte für Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Stickoxide 11

Tabelle 6: Kennwerte für PM_{10} und $PM_{2,5}$ 16

Tabelle 7: Mittelwert über alle AEI-Stationen in Deutschland (national) (5) und Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen (ab 2010) 20

Tabelle 8: Kennwerte für Benzo(a)pyren (BaP) in PM_{10} 21

Tabelle 9: Kennwerte für die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Nickel und Blei in PM_{10} 21

Tabelle 10: Kennwerte für EC und OC 22

Tabelle 11: Kennwerte für Ozon 23

Tabelle 12: Kennwerte für AOT 23

Tabelle 13: Kennwerte für SO_2 26

Tabelle 14: Kennwerte für CO 26

Tabelle 15: Kennwerte für Benzol 26

Quellenverzeichnis

1. **TÜV RHEINLAND ENERGY GMBH.** TÜV-Begutachtung der Positionierung verkehrsnaher Probenahmestellen zur Messung der NO2-Konzentrationen an ausgewählten Standorten. [Online] 27. 06 2019. [Zitat vom: 02. 08 2019.] https://www.bmu.de/download/tuev-begutachtung-der-positionierung-verkehrsnaher-probenahmestellen-zur-messung-der-no2-konzentratio/.

2. **Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz.** *Luftreinhalteplan für Berlin 2. Fortschreibung.* Berlin : s.n., 2019.

3. **Lenschow, P, et al., et al.** Some ideas about the sources of PM10. *Atmos. Environ.* Januar 2001.

4. **Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt.** *Luftreinhalteplan 2011 bis 2017 für Berlin.* Berlin : s.n., 2013.

5. **Umweltbundesamt.** umweltbundesamt.de. [Online] 2019. [Zitat vom: 01. 08 2019.] https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2018.

6. **World Health Organisation.** euro.who. [Online] 2012. [Zitat vom: 06. 08 2019.] http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf.

7. **Umweltbundesamt.** umweltbundesamt.de. [Online] 2019. [Zitat vom: 02. 08 2019.] https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung#textpart-3.

8. **Clemen, Sebastian, et al., et al.** *Quantifizierung des Holzverbrennungsbeitrages zu PM10 in Berlin mit einem automatischen Messverfahren.* s.l. : Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft, 2018.

Senatsverwaltung
für Umwelt, Verkehr
und Klimaschutz

Berlin

Kommunikation

Am Köllnischen Park 3

10179 Berlin