



LUFTGÜTEMESSDATEN

Jahresbericht 2021

Senatsverwaltung
für Umwelt, Mobilität,
Verbraucher- und Klimaschutz

BERLIN



Impressum

Herausgeber:

Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz
Berliner Luftgütemessnetz
Brückenstraße 6
10179 Berlin
Tel.: 030-9025-0

Bearbeitung:

Lena Schümann, Dr. Katja Grunow, Dr. Heike Kaupp, Sebastian Clemen, Dr. Andreas Kerschbaumer, Dr. Annette Rauterberg-Wulff

Unter Mitarbeit von:

Gregor Bukalis, Fabian Eschke, Dr. Paul Herenz, Dr. Michael Hofmann, Anton Koppetsch, Sylvia Krüger, Marcel Krysiak, Benjamin Neef, Jörg Preuß, Michaela Preuß, Martin Schacht, Nadine Sommerfeld, Philipp Guse, Monika Weiß

Stand:

März 2023

Bezug des Berichts bei:

Lena Schümann
Tel.: 030-9025-2319 / Fax: 030-9025-2952
E-Mail: lena.schuemann@senumvk.berlin.de

Titelbild:

Berliner Fernsehturm (Quelle: Berliner Luftgütemessnetz)

Zusätzliche Informationen:

Das Berliner Luftgütemessnetz stellt erweiternd zu den Monats- und Jahresberichten eine Vielzahl der erhobenen Messdaten im Onlineportal unter <https://luftdaten.berlin.de/lqi> zur Verfügung. Der zeitliche Verlauf der Luftschadstoffkonzentrationen kann dort in individuell einstellbaren Zeiträumen und Messperioden dargestellt und als CSV-Datei heruntergeladen werden. Für einen schnellen Überblick werden die Konzentrationen von Stickstoffdioxid, PM₁₀, Ozon und Kohlenmonoxid zu einem Luftqualitätsindex zusammengefasst. Erweitert wird dieses Angebot in Form der App des Berliner Luftgütemessnetzes „Berlin Luft“.

Weitere Informationen zur Luftqualität in Berlin, zum Berliner Luftgütemessnetz und zur Luftreinhaltung in Berlin finden Sie unter <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/luft/>.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Überwachung der Luftqualität in Berlin	5
2.1	Das Berliner Luftgütemessnetz im Jahr 2021	5
2.2	Grenz- und Zielwerte nach 39. BImSchV	10
3	Verfügbarkeit der Messdaten	11
4	Witterung im Jahr 2021 und ihr Einfluss auf die Konzentrationen von Luftschadstoffen	12
4.1	Temperatur	12
4.2	Sonnenscheindauer	13
4.3	Niederschlag	14
4.4	Wind	14
5	Die Luftqualität in Berlin im Jahr 2021	16
5.1	Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO ₂) und Stickstoffoxiden (NO _x)	16
	Stickstoffdioxid (NO ₂)	17
	Langzeittrend von Stickstoffdioxid	19
	Stickstoffoxide	21
5.2	Kennwerte und Beurteilung der Belastung für PM ₁₀ und PM _{2,5} sowie für den AEI	23
	PM ₁₀	23
	Langzeittrend für PM ₁₀	23
	PM _{2,5}	25
	Average Exposure Indicator (AEI)	25
	Langzeittrend von PM _{2,5} und AEI	26
5.3	Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Staubinhaltsstoffe	28
	Benzo(a)pyren in PM ₁₀	28
	Schwermetalle in PM ₁₀	28
	EC und OC	29
5.4	Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Ozon	31
	Ozon	31
	AOT	32
	Langzeittrend von Ozon	32
5.5	Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Kohlenstoffmonoxid und Benzol	35
	Kohlenstoffmonoxid und Benzol	35
5.6	Langzeittrend von Schwefeldioxid (SO ₂)	36
6	Inhaltsstoffe von Partikeln	37
6.1	Partikelinhaltsstoffe im Jahr 2021 und langjährige Entwicklung	37
6.2	Bestimmung von Ruß anhand von EBC-Messungen und offene Fragen	39
	Begriffsbestimmungen und Abkürzungen	42
	Abbildungsverzeichnis	44

Tabellenverzeichnis 46
Literaturverzeichnis..... 47

1 EINLEITUNG

Der vorliegende Jahresbericht informiert über die Luftschadstoffbelastung in Berlin im Jahr 2021. Berlin ist, wie alle deutschen Bundesländer, nach § 44 Abs. 1 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) verpflichtet, die Luftverunreinigung kontinuierlich zu überwachen. In der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV), welche der Umsetzung der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG in deutsches Recht dient, sind z.B. Grenz- und Zielwerte für die einzelnen Luftschadstoffe, Art und 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, ist in Kapitel 2 „Überwachung der Luftqualität in Berlin“ dargestellt. Das Kapitel 3 enthält eine Übersicht über die Verfügbarkeit der Messdaten. Die meteorologische Situation in Berlin im Jahr 2021 wird in Kapitel 4 „Witterung im Jahr 2021 und ihr Einfluss auf die Konzentrationen von Luftschadstoffen“ anhand von Messdaten der DWD-Station Berlin-Dahlem dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse der Messungen der wichtigsten Luftschadstoffe sowie die langfristige Entwicklung der Konzentrationen im Kapitel 5 „Die Luftqualität in Berlin im Jahr 2021“ präsentiert und erörtert. Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine Sonderbetrachtung von Partikelinhaltsstoffen, die im Berliner Luftgütemessnetz regelmäßig bestimmt werden.

2 ÜBERWACHUNG DER LUFTQUALITÄT IN BERLIN

Die Überwachung der 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 gemäß 39. BImSchV 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 PM₁₀ und Stickstoffdioxid (NO₂), 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 wichtig, um eine fundierte Ursachenanalyse durchführen zu können und adäquate Maßnahmen zur Senkung der Schadstoffbelastung für die Berliner Bevölkerung umzusetzen.

2.1 Das Berliner Luftgütemessnetz im Jahr 2021

Im Jahr 2021 betrieb das Berliner Luftgütemessnetz Messstellen an bis zu 64 Standorten, darunter 17 Messstationen zur Überwachung der Luftqualität gemäß der 39. BImSchV. Von diesen 17 Messcontainern sind sieben verkehrsnah und jeweils fünf in innerstädtischen Wohngebieten und am Stadtrand platziert. Eine Karte mit dem im Jahr 2021 betriebenen Messstellen ist in Abbildung 1 auf Seite 9 dargestellt. Welche Luftschadstoffe an den jeweiligen Messcontainern bestimmt wurden, ist in Tabelle 1 zusammengefasst.

Zur Grenzwertüberwachung wurden Ende 2021 an allen Messcontainern Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid (mit dem Chemolumineszenzverfahren), an zwölf Stationen Partikel PM₁₀ und PM_{2,5} (durch Streulichtmessung), an acht Stationen Ozon (durch Absorption von UV-Strahlung), an zwei Stationen Kohlenmonoxid (durch Absorption von Infrarotstrahlung) und an zwei Stationen Benzol (mit Gaschromatographie) gemessen.

Neben dem automatischen Messverfahren für PM₁₀ wurden in sechs Messcontainern auch Probenahmegeräte zur Bestimmung von PM₁₀

Was hat sich im Jahr 2021 im BLUME geändert?

Das Berliner Luftgütemessnetz wird fortlaufend weiterentwickelt, damit die Luftqualität in Berlin stets optimal überwacht wird. Im Jahr 2021 gab es die folgenden Änderungen:

- + **MS624:** Zur Beurteilung der Luftgüte werden die Werte des Passivsammlerstandorts am Mehringdamm nun auch an die EU gemeldet.
- /+ **MC220/MC221:** Wegen Bauarbeiten mussten die Messungen am MC220 vorübergehend eingestellt werden. Als Ersatzmessstelle wurde der MC221 in der Karl-Marx-Straße 38 eingerichtet.
- **MS604 & MS606:** Die Messung der NO₂-Belastung mit Passivsammlern in der Martin-Luther-Str. 106 in Schöneberg und der Birkenstr. 54 in Moabit wurden eingestellt.

und/oder PM_{2,5} mit dem gravimetrischen Referenzverfahren gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG betrieben. Die mit diesem Verfahren gesammelten Partikelproben wurden im Labor ausgewertet. In einem Teil der Proben wurden Benzo(a)pyren, Blei, Arsen, Cadmium und Nickel analysiert und mit den jeweiligen Grenz- bzw. Zielwerten verglichen. Außerdem erfolgten Kohlenstoff- und Ionenanalysen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Standorte der Luftgütemesscontainer und gemessene Komponenten (Stand 07/2021)

Nr.	Standort	Messkomponenten								
		PM ₁₀ bzw. PM _{2,5} Gravimetrie	PM _x Inhaltsstoffe ¹⁾	PM ₁₀ -/PM _{2,5} -Automat	NO/NO ₂ /NO _x ²⁾	CO	O ₃	BTX	EBC ³⁾	Met ⁴⁾
Stadtrand										
MC027	Marienfelde				x		x			
MC032	Grunewald			x	x		x			M
MC077	Buch	PM ₁₀ ; PM _{2,5}	PAK	x	x		x		x	
MC085	Friedrichshagen			x	x		x			
MC145	Frohnau				x		x			
Innerstädtischer Hintergrund										
MC010	Wedding	PM _{2,5}		x	x		x		x	
MC018	Schöneberg				x					
MC042	Neukölln	PM ₁₀ ; PM _{2,5}	EC/OC, Al, PAK, SM	x	x		x	x	x	T, F
MC171	Mitte	PM ₁₀ ; PM _{2,5}		x	x					
MC282	Karlshorst				x					
Verkehr										
MC115	Hardenbergplatz			x ⁵⁾	x		x ⁵⁾			
MC117	Schildhornstr.	PM ₁₀	PAK	x	x		x			
MC124	Mariendorfer Damm			x	x					
MC143	Silbersteinstr.			x	x					
MC174	Frankfurter Allee	PM ₁₀ ; PM _{2,5}	EC/OC, Al, PAK, SM	x	x		x	x	x	x
MC190	Leipziger Str. 5			x	x					
MC220	Karl-Marx-Str. 76			x ⁶⁾	x ⁶⁾					
MC221	Karl-Marx-Str. 38			x ⁶⁾	x ⁶⁾					

1) PM_x-Inhaltsstoffe = Inhaltsstoffe der PM₁₀- bzw. PM_{2,5}-Fraktion, siehe folgende Anmerkungen:

EC/OC = Kohlenstoff-Bestimmung: elementarer und organischer Kohlenstoff wird mit dem EUSAAR2-Protokoll mit der Reflektionsmethode bestimmt (aus PM₁₀- und PM_{2,5}-Filterproben). Zusätzlich werden die Daten der Transmissionskorrektur erhoben.

PAK = Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (aus PM₁₀-Filterproben)

SM = Schwermetalle (aus PM₁₀-Filterproben)

Al = Anorganische Ionen: Ammonium, Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Chlorid, Nitrat, Sulfat (aus PM₁₀- und PM_{2,5}-Filterproben)

2) Stickstoffoxide (NO₂ und NO): die Summe der Volumenmischungsverhältnisse von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) ergibt NO_x

3) EBC = Equivalent Black Carbon (äquivalenter 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

6) Zur Jahresmitte wurden die Messungen am MC220 aufgrund einer Baustelle vorübergehend eingestellt. Als Ersatz wurde der MC221 in der Karl-Marx-Str. 38 errichtet.

Das Containermessnetz wird in Berlin bereits seit Mitte der 1990er Jahre durch kleine, an Straßenlaternen befestigte „Ruß- und Benzol-Immissionsammler“ (RUBIS) und Passivsammler ergänzt. Diese Sammler haben gegenüber den automatischen Messgeräten den Vorteil, dass sie auch in engen, stark befahrenen Straßenabschnitten eingesetzt werden können, in denen das Aufstellen eines Messcontainers aus Platzgründen nicht möglich ist. Insbesondere für Stickstoffdioxid bilden die an diesen Stellen ermittelten Jahresmittelwerte eine wichtige zusätzliche Beurteilungsgrundlage, um die Belastung aus dem Straßenverkehr adäquat abbilden zu können. Die NO₂-Messung mittels Passivsammler stellt kein Referenzmessverfahren dar, weshalb jährlich die Äquivalenz zu den automatisch erhobenen Messdaten nachgewiesen wird. Dazu werden an einigen Messcontainern Vergleichsmessungen durchgeführt. Wenn die Datenqualitätsziele und die Standortvorgaben gemäß 39. BImSchV erfüllt sind, können mit Passivsammlern erhobene Messdaten auch zur Beurteilung der Luftgüte hinsichtlich der Grenzwerteinhaltung gemäß 39. BImSchV genutzt werden. Durch den Einsatz von Passivsammlern konnten in den letzten Jahren gerichtlich angeordnete Durchfahrverbote und Tempo-30-Strecken an Hauptverkehrsstraßen messtechnisch begleitet und die mit Modellen errechneten hohen NO₂-Konzentrationen überprüft werden.

Die Messungen werden durch Modellrechnungen für alle Straßenabschnitte ergänzt, um die Belastung im gesamten Berliner Stadtgebiet einzuschätzen. Insgesamt wurden mit den RUBIS-Probenahmegeräten und den Passivsammlern für Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide im Jahr 2021 an 23 zusätzlichen Stellen im Berliner Stadtgebiet die Belastung mit EC und OC (RUBIS) und an 40 zusätzlichen Stellen die Belastung mit Stickstoffoxiden (Passivsammler) in zweiwöchiger Auflösung ermittelt. Die Standorte der Sammler können der Tabelle 2 entnommen werden, MS559 wird als Forschungsmessstelle dort nicht aufgeführt.

Für die Aussagekraft und Güte von Messwerten 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. Aus einem im Jahr 2019 vorgelegten TÜV-Bericht geht hervor, dass das BLUME diesen Anforderungen gerecht wird (TÜV RHEINLAND ENERGY GMBH, 2019).

Um die vielfältigen Messaufgaben erfüllen zu können, sind die Container sehr aufwändig ausgestattet. Die empfindlichen Messgeräte erfordern eine Klimatisierung, zusätzlich zu den Mess- und Probenahmegeräten werden 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. 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.

Forschungsmessstellen im BLUME

Zusätzlich zu den regulären, in Tabelle 1 und Tabelle 2 aufgelisteten Messstellen, werden im BLUME die folgenden Forschungsmessstellen betrieben:

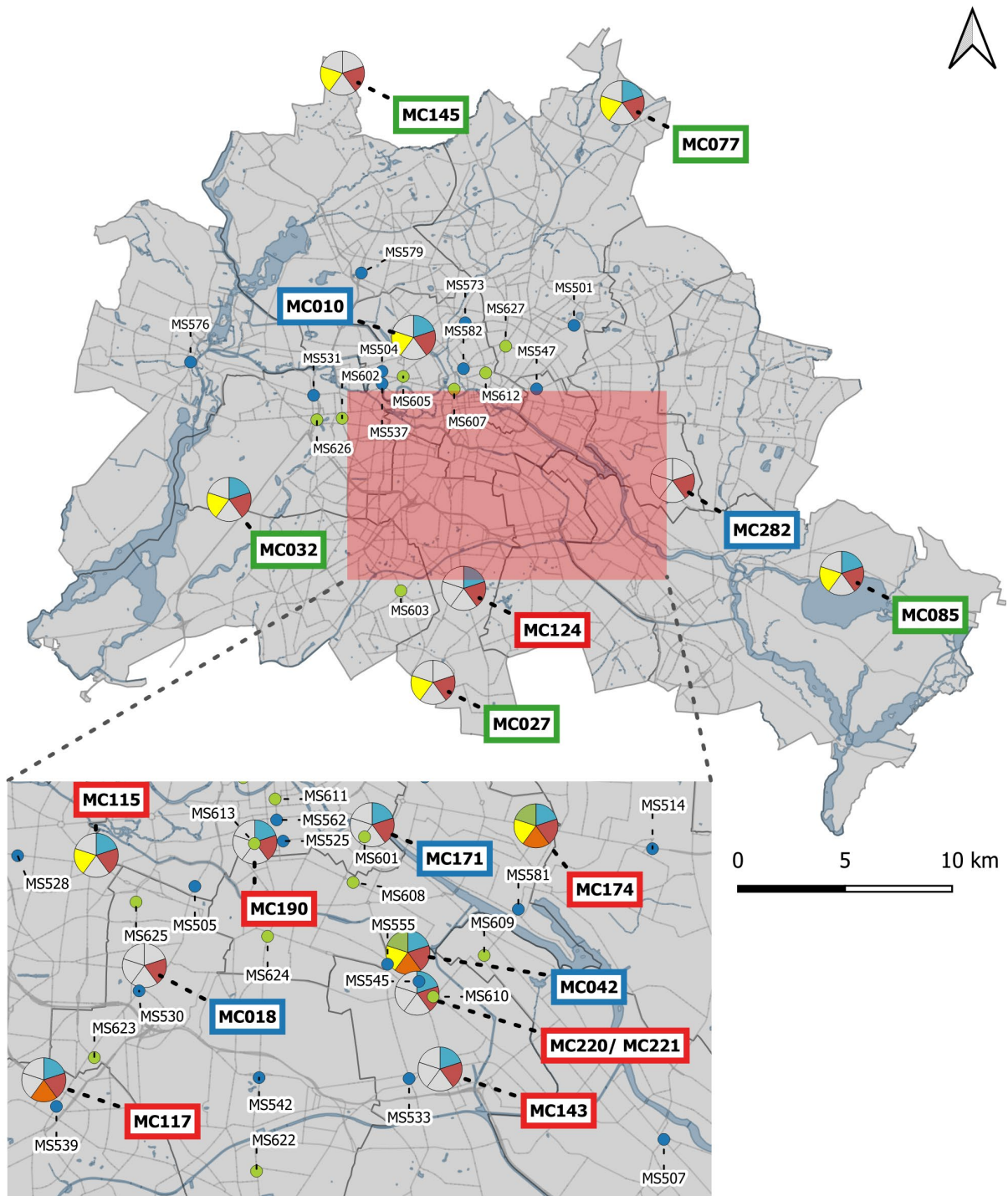
MC014: Mit den am MC014 am Lerschpfad 17 erhobenen Messungen wird die Belastung mit Stickstoffoxiden in Autobahnnähe abgebildet. Der Messcontainer befindet sich im direkten Einflussbereich der Stadtautobahn (A100). Der Messcontainer befindet sich nicht am Fahrbahnrand, sondern in deutlich erhöhter Position zum Fahrbahnniveau hangaufwärts. Die Standortvorgaben der 39. BImSchV werden damit nicht eingehalten.

MS559: In der Buschkrugallee 8 werden ein RUBIS und ein Passivsammler betrieben. Durch deren Position in direkter Kreuzungsnähe werden die Standortvorgaben der 39. BImSchV nicht eingehalten. Die Nähe zum Kreuzungsbereich ermöglicht jedoch eine Abbildung des Einflusses von Anfahrtsprozessen auf die Luftschadstoffbelastung. Besonders der Ausstoß von Stickstoffoxiden ist bei Anfahrtsprozessen sehr hoch, was sich auch im NO₂-Jahresmittelwert von 47 µg/m³ widerspiegelt.

Tabelle 2: RUBIS- und Passivsammlerstandorte (Stand Dezember 2021)

Nr.	Standort	Nr.	Standort
Stadttrand - RUBIS und Passivsammler			
535/MC077	Buch, Hobrechtsfelder Chaussee 112		
Innerstädtischer Hintergrund - RUBIS und Passivsammler			
517/MC042	Neukölln, Nansenstr. 10		
Verkehr - RUBIS und Passivsammler			
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/MC174	Friedrichshain, Frankfurter Allee 86 b	555*)	Neukölln, Hermannplatz, Laterne 21
521/MC117	Steglitz, Schildhornstr. 76	562**)	Mitte, Friedrichstr. 172
522/MC143	Neukölln, Silbersteinstr. 1	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, Invalidenstr. 30
533*)	Neukölln, Hermannstr. 120	584/MC221	Neukölln, Karl-Marx-Str. 38
Verkehr - Passivsammler			
601	Mitte, Brückenstr. 15	612	Mitte, Torstr. 134
602	Charlottenburg, Kaiser-Friedrich-Str. 41	613	Mitte, Leipziger Str. 4
603	Steglitz, Leonorenstr. 94	622	Mariendorf, Mariendorfer Damm 58-60
605	Moabit, Stromstr. 58/61	623	Friedenau, Saarstr. 4
607	Mitte, Reinhardtstr. 47	624*)	Kreuzberg, Mehringdamm 46-48
608	Kreuzberg, Oranienstr. 159	625	Schöneberg, Martin-Luther-Str. 14
609	Treptow, Elsenstr. 102	626	Charlottenburg, Spiegelweg 6
610	Neukölln, Erkstr. 10-11	627	Prenzlauer Berg, Danziger Str. 4-6
611	Mitte, Friedrichstr. 151		

*) Daten werden zur Beurteilung der Luftgüte an die EU gemeldet **) Teile der Friedrichstraße sind seit April 2020 autofrei (siehe Infokasten auf Seite 17). Derzeit wird die Messstelle trotz Durchfahrverbot weiterhin als Verkehrsmessstelle geführt.



Messcontainer:

- MC174 Verkehr
- MC085 Stadtrand
- MC282 Hintergrund

Messstellen:

- Passivsammler
- Passivsammler und RUBIS

Gemessene Schadstoffkomponenten:

- PM₁₀; 2,5
- CO
- Benzol
- NO_x
- O₃

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

2.2 Grenz- und Zielwerte nach 39. BImSchV

In der 39. BImSchV sind Luftqualitätswerte in Form von Grenz-, Ziel- und kritischen Werten sowie Informations- und Alarmschwellen festgelegt. Die verbindlich einzuhaltenden Immissionsgrenzwerte wurden mit dem Ziel festgelegt, „schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt insgesamt zu vermeiden, zu verhüten oder zu verringern“ (§1 39. BImSchV). Zielwerte dienen demselben Zweck wie Immissionsgrenzwerte, haben aber eine geringere Verbindlichkeit. Kritische Werte dienen dem Schutz der Vegetation und natürlicher Ökosysteme. Die Ozon-Informationsschwelle ist ein Wert, „bei dessen Überschreitung schon bei kurzfristiger Exposition ein Risiko für die Gesundheit besonders empfindlicher Bevölkerungsgruppen besteht“ (§1 39. BImSchV). Im Fall von Alarmschwellen handelt es sich um Werte, deren Überschreitung für die Gesamtbevölkerung ein Gesundheitsrisiko darstellt. Tabelle 3 stellt die in der 39. BImSchV vorgeschriebenen Luftqualitätswerte zusammenfassend dar.

Tabelle 3: Immissionswerte für Luftverunreinigungen nach der 39. BImSchV

Komponente	Mittel über	Grenzwert / Zielwert	Zulässige Anzahl von Überschreitungen pro Jahr
Schwefeldioxid	1 h	350 µg/m ³	24
	24 h	125 µg/m ³	3
Schwefeldioxid	Mittel über Okt.-März (zum Schutz von Ökosystemen)	20 µg/m ³ (kritischer Wert)	--
Stickstoffdioxid	1 h	200 µg/m ³	18
	1 Kalenderjahr	40 µg/m ³	--
Summe der Stickstoffoxide	1 Kalenderjahr	30 µg/m ³ (kritischer Wert) ¹⁾	
Partikel-PM ₁₀	24 h	50 µg/m ³	35
	1 Kalenderjahr	40 µg/m ³	--
Partikel-PM _{2,5}	1 Kalenderjahr	25 µg/m ³	--
Blei	1 Kalenderjahr	0,5 µg/m ³	--
Benzol	1 Kalenderjahr	5 µg/m ³	--
Ozon	8 Stunden	z) 120 µg/m ³ höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	25 (gemittelt über 3 Jahre)
	1-Stunden-Mittelwert	180 µg/m ³ Informationsschwelle	--
	1-Stunden-Mittelwert	240 µg/m ³ Alarmschwelle	--
Ozon	AOT40 Summe über Mai - Juli	z) 18.000 µg/m ³ h gemittelt über 5 Jahre	--
Kohlenmonoxid	8 Stunden	10 mg/m ³ höchster 8-Stunden-Mittelwert eines Tages	--
Arsen (im PM ₁₀)	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 6 ng/m ³	--
Kadmium (im PM ₁₀)	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 5 ng/m ³	--
Nickel (im PM ₁₀)	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 20 ng/m ³	--
Benzo(a)pyren (im PM ₁₀)	1 Jahr (Kalenderjahr)	z) 1 ng/m ³	--

z) Zielwerte

1) Dieser kritische Wert zum Schutz der Vegetation ist für Berlin nicht anwendbar, da die Probenahmestelle mehr als 20 Kilometer von Ballungsräumen entfernt sein muss.

3 VERFÜGBARKEIT DER MESSDATEN

Die Datenqualitätsziele für die Beurteilung der Luftqualität sind in der 39. BImSchV (Anlage 1 A) geregelt. Für die in diesem Bericht veröffentlichten Messdaten gilt eine Mindestdatenverfügbarkeit für PM₁₀, PM_{2,5}, NO₂, NO_x, 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 %. Wie der Tabelle 4 entnommen werden kann, wurden diese Anforderungen im BLUME im Jahr 2021 an fast allen Messstellen erfüllt. Ausnahmen bilden die Messstellen MC220 und MC221 in der Karl-Marx-Straße. Aufgrund einer längerfristigen Baustelle musste der MC220 im Juli 2021 vorübergehend stillgelegt werden. Als Ersatzmessstelle wurde der MC221 Anfang Juni in der Karl-Marx-Str. 38 eingerichtet. Da der Auf- bzw. Abbau der Messstellen im Laufe des Jahres 2021 stattfand, konnten nicht genügend Daten für die Auswertung erhoben werden. Die Datenverfügbarkeit liegt für 2021 an beiden Messstellen unter 60 %. Aus diesem Grund werden die Messwerte am MC220 und MC221 nicht für die nachfolgende Auswertung berücksichtigt.

Tabelle 4: Datenverfügbarkeit im Jahr 2021

Lage	Station	PM ₁₀ - / PM _{2,5} - Automat	PM _{2,5} Gravimetrie	NO ₂ /NO _x	CO	Ozon	Benzol
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	---	---	100	---	100	---
	Grunewald (MC032)	97	---	100	---	100	---
	Buch (MC077)	100	100	100	---	100	---
	Friedrichshagen (MC085)	98	---	99	---	99	---
	Frohnau (MC145)	---	---	100	---	100	---
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	100	100	100	---	99	---
	Schöneberg (MC018)	---	---	100	---	---	---
	Neukölln (MC042)	100	99	99	---	100	94
	Mitte (MC171)	94	98	97	---	---	---
	Karlshorst (MC282)	---	---	100	---	---	---
Straße	Hardenbergplatz (MC115)	---	---	98	---	---	---
	Schildhornstr. 76 (MC117)	100	---	100	100	---	---
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	100	---	100	---	---	---
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	100	---	100	---	---	---
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	100	100	100	100	100	97
	Leipziger Str. 5 (MC190)	100	---	100	---	---	---
	Karl-Marx-Str. 76 (MC220)	51	---	50	---	---	---
	Karl-Marx-Str. 38 (MC221)	57	---	57	---	---	---

4 WITTERUNG IM JAHR 2021 UND IHR EINFLUSS AUF DIE KONZENTRATIONEN VON LUFTSCHADSTOFFEN

Die Witterungsbedingungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Konzentration von Luftschadstoffen, denn die meteorologischen Verhältnisse können den Ausstoß von Schadstoffen, die auf sie in der Atmosphäre wirkenden Prozesse (Verdünnung, Transport, Umwandlung) und ihre Entfernung aus der Atmosphäre beeinflussen.

So hängt zum Beispiel die vertikale und horizontale Schadstoffausbreitung 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, führen regelmäßig dazu, dass sich die Atmosphäre stark mit Luftschadstoffen anreichert.

Die Windrichtung ist entscheidend dafür, welche Luftmassen nach Berlin transportiert werden. Luftmassen mit Ursprung in Ost- bis Südosteuropa sind in der Regel so stark mit Partikeln belastet, dass ihr Einfluss insbesondere in den austauscharmen Wintermonaten im gesamten Berliner Raum zu erhöhten Partikelkonzentrationen führt. Die häufiger auftretenden Windrichtungen Südwest bis Nordwest bringen dagegen in der Regel gering belastete Luftmassen in den Berliner Raum. Sie 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 häufiger in den Herbst- und Wintermonaten auf, Wetterlagen mit günstigen Austauschbedingungen dagegen häufiger in den Sommermonaten.

Temperatur und Sonnenscheindauer beeinflussen die Emissionen und die Umwandlungsprozesse von Luftschadstoffen sehr stark. Die Außentemperatur hat einen großen Einfluss auf die Heiztätigkeit und somit auch auf die Emissionen von Feuerungsanlagen. Hohe Temperaturen mit viel Sonneneinstrahlung führen an heißen Sommertagen zu einem Anstieg der Ozonwerte in den bodennahen Luftschichten. Niederschlag begünstigt die Auswaschung von Partikeln und trägt so zur Reinigung der Atmosphäre bei.

Zur Einordnung und Bewertung des aktuellen Witterungszustands einer Region werden Klimareferenzperioden verwendet. Gemäß den Empfehlungen der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) werden dazu Mittelwerte über einen Zeitraum von 30 Jahre gebildet und mit den aktuellen Klimadaten verglichen. Abweichungen einer meteorologischen Größe vom ihrem Mittelwert werden auch als Anomalie bezeichnet. In den letzten Jahren wurde für die Monats- und Jahresberichte des Berliner Luftgütemessnetzes die Referenzperiode 1961 bis 1990 verwendet. Seit Januar 2021 wurde die Vergleichsperiode durch die aktuelle und international gültige Klimareferenzperiode von 1991 bis 2020 ersetzt. Die nachfolgenden meteorologischen Daten stammen von der Messstation Berlin-Dahlem (FU, DWD Stations_ID 403).

4.1 Temperatur

Nach Informationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) lag die Mitteltemperatur in Deutschland im Jahr 2021 bei ca. 9,2 °C. Damit lag Berlin mit einer mittleren Jahrestemperatur von 9,9 °C um 0,6 °C über der deutschlandweiten Durchschnittstemperatur. Im Vergleich mit der Klimareferenzperiode von 1991 bis 2020 entspricht die Berliner Jahresmitteltemperatur 2021 dem langjährigen Mittelwert in Dahlem. Der Temperaturverlauf über das gesamte Jahr 2021 kann für Berlin der Abbildung 2 entnommen werden. In der Abbildung sind die Tagesmittelwerte als Linie und die Monatsmitteltemperatur als Balken im oberen Teil des Diagramms dargestellt. Der untere Teil des Diagramms zeigt die Abweichungen der Monatsmittelwerte vom Klimamittel (1991 bis 2020).

Die Werte zeigen, dass der Winter (Dezember, Januar, Februar) insgesamt 0,2 °C unter dem Klimamittel der Jahre 1991-2020 lag. Tiefdruckgebiete führten zu Jahresbeginn zu kalten Temperaturen, die sich durch Hochdruckeinfluss immer wieder mit frühlingshaften Temperaturen abwechselten. Die tiefsten Temperaturen wurden 2021 im Februar gemessen. Hier fiel an 14 der ersten 16 Februartage die Temperatur unter die Null-Grad-Marke und es wurde mit -9 °C die tiefste Tagesmitteltemperatur gemessen. In der zweiten Monatshälfte sorgten Luftmassen aus der Sahara für Tageshöchstwerte von fast 20 °C und führten zudem zum Ansteigen der Partikelbelastung. Auch der März setzte sich sehr wechselhaft fort und zum Monatsende wurden bereits die ersten Sommertage mit einer Tageshöchsttemperatur über 25°C beobachtet.

Der April war deutschlandweit der kälteste April seit 40 Jahren und auch in Berlin wurde die größte negative Temperaturabweichung in diesem Monat verzeichnet. Gegenüber der Klimareferenzperiode 1991-2020 war der Berliner April im Durchschnitt um -3,2 °C kälter. Auch der Mai wurde durch eine ausgeprägte Tiefdruckzone immer wieder von tiefen Temperaturen geprägt und war im Schnitt um 2,3 °C kühler als die Referenzperiode.

In der zweiten Jahreshälfte 2021 wiesen alle Monate bis auf den August eine positive Temperaturanomalie auf und waren im Jahr 2021 deutlich wärmer als im Referenzzeitraum. Unter Einfluss subtropischer Luft und mit einer durchschnittlichen Temperatur von 20,7 °C gestaltete sich der Juni 2021 als wärmster Monat des Jahres. Ein häufiger Hochdruckeinfluss in den Herbstmonaten sorgte für recht sonnige und milde Herbsttage. Erst der Einfluss polarer

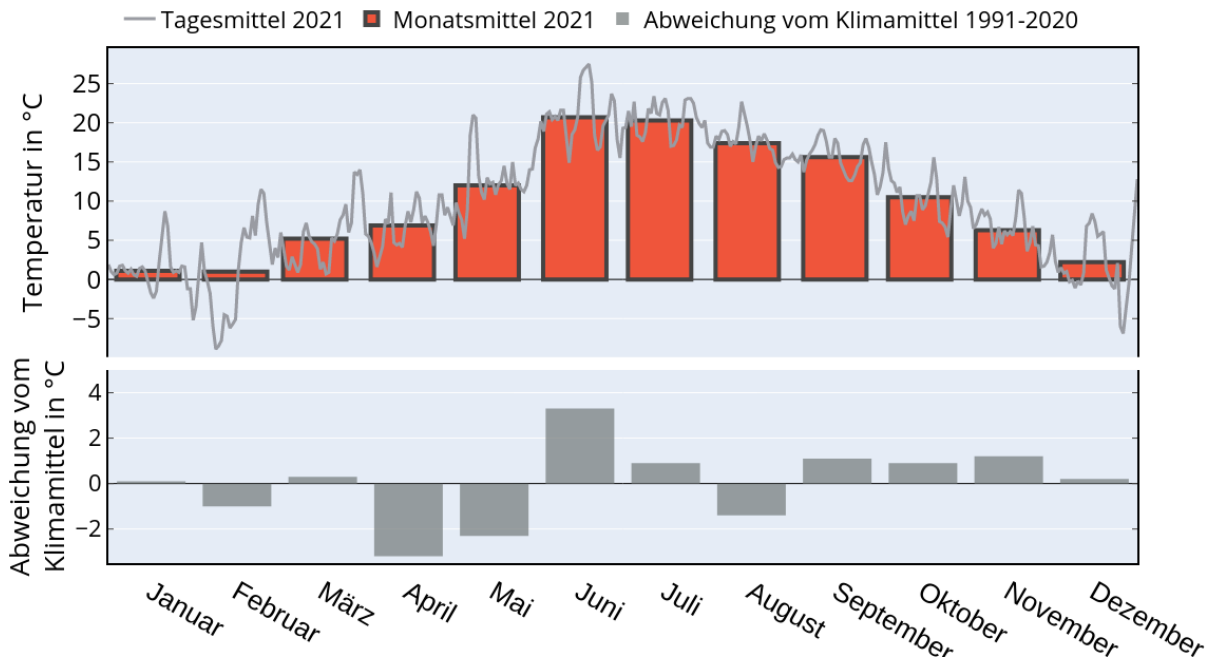


Abbildung 2: Temperaturverlauf der Tages- und Monatsmittelwerte (oben) sowie die Abweichung der Monatsmittelwerte vom Klimamittel (1991-2020, unten) im Jahr 2021 in Berlin-Dahlem.

Luftmassen führte Ende November zum Abfallen der Temperaturen in den Bereich des Frostpunktes. Zum Jahresende fiel in der ersten Dezemberhälfte etwas Schnee, der nur kurz liegen blieb. In den letzten Dezembertagen stellte sich eine milde, jedoch stürmische Westwetterlage ein, sodass bei hohen Windgeschwindigkeiten mit 14 °C die höchste Temperatur des Monats am 31.12. gemessen wurde. Die Warmluftzufuhr sorgte deutschlandweit nicht nur für zahlreiche Wärmerekorde, sondern auch in Berlin für einen ungewöhnlichen milden Jahreswechsel.

4.2 Sonnenscheindauer

Insgesamt lag die Anzahl der Sonnenstunden im Jahr 2021 in Berlin mit 1775 Sonnenstunden leicht über dem Mittel der Referenzperiode (1.733 Stunden). Abbildung 3 stellt die monatliche Anzahl der Sonnenstunden des Jahres 2021 (gelbe Balken) und des Klimamittels (grüne Balken) dar und verdeutlicht, dass die Monate Februar, März, Juni, September und Oktober überdurchschnittlich sonnig waren. Dabei sticht der Juni heraus, wo, bedingt durch langanhaltenden Hochdruckeinfluss, bis zu 25 % länger die Sonne schien als im langjährigem Durchschnitt (1991-2020).

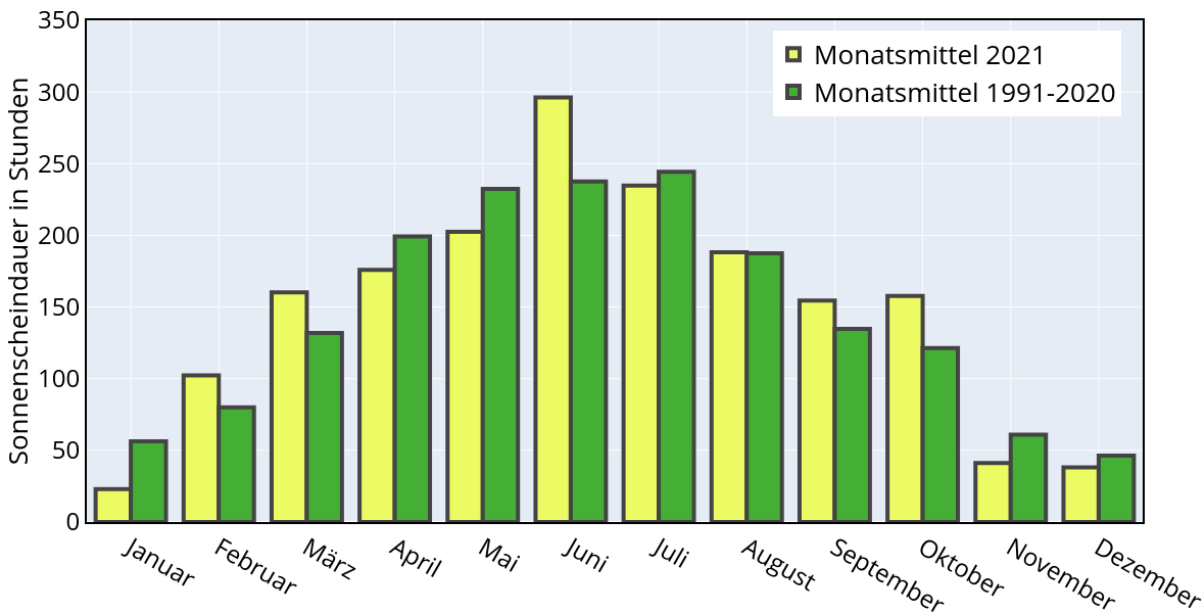


Abbildung 3: Monatliche Sonnenstundenanzahl im Jahr 2021 und im Monatsmittel von 1991 bis 2020 für Berlin-Dahlem.

4.3 Niederschlag

In Berlin fielen im Jahr 2021 in Summe 562 mm Niederschlag. Im Vergleich zum Mittelwert der Klimareferenzperiode 1991 bis 2020 entspricht dieser Wert 96,6% der durchschnittlichen Niederschlagsmenge (582 mm/a). Damit war das Jahr 2021 im Mittel trockener gegenüber der Referenzperiode und das vierte zu trockene Jahr in Folge. Nach Angaben des DWD war Berlin landesweit das niederschlagärmste Gebiet (Deutscher Wetterdienst, 2021).

Abbildung 4 zeigt die monatliche Niederschlagsmenge für das Jahr 2021 (blaue Balken) und für das Klimamittel (rote Balken). Hier ist erkennbar, dass in 9 von 12 Monaten die Niederschlagsmengen unterhalb des Mittelwertes für den Referenzzeitraum lagen. Besonders deutlich fiel das Defizit im Oktober aus. Hier fiel nur 49 % des langjährigen Niederschlagsmittels. Im Juni lag die Jahressumme mit 67 mm nur knapp über dem Klimamittel. Ein deutliches Niederschlagsplus wurde in den Monaten August und November gemessen. Dort fielen 48 % bis 50 % mehr Niederschlag als im Referenzzeitraum.

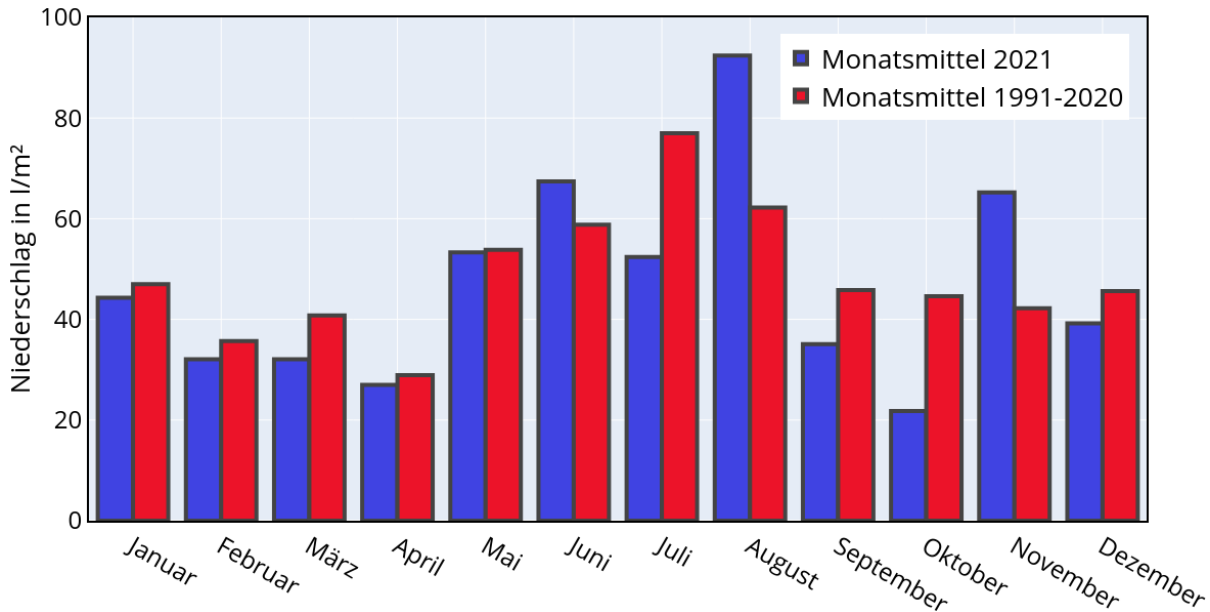


Abbildung 4: Monatlicher Gesamtniederschlag im Jahr 2021 und im Monatsmittel von 1991-2020 für Berlin-Dahlem.

4.4 Wind

Die Windrichtungsverteilung im Jahr 2021 ist in Abbildung 5 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 Januar, Februar und März sowie Oktober, November und Dezember in blau (kalte Jahreszeit) und April bis September in Rot (warme Jahreszeit). Die Verteilung für das gesamte Jahr bei Schwachwindwetterlagen mit Windgeschwindigkeiten (WG) unter 3 m/s ist in Gelb dargestellt. Zusätzlich ist in grau die mittlere Verteilung der Windrichtung zwischen 2002 und 2020 gekennzeichnet. Winddaten vor 2002 liegen an der Station Dahlem nur unvollständig vor, so dass die Klimareferenzperiode für die Windverteilung hier nicht dargestellt werden kann.

Die Windrichtungsverteilung des gesamten Jahres 2021 stellt sich als sehr durchschnittlich dar und zeigt nur geringfügige Abweichungen von der mittleren Windrichtungsverteilung der Jahre 2002 bis 2020. Auch für die Windrichtungsverteilung der Sommermonate sind nur geringe Abweichungen von der üblichen Verteilung festzustellen. Lediglich Winde aus dem Sektor Nordwest waren im Jahr 2021 etwa doppelt so häufig vertreten wie im Mittel. Ein leichtes Defizit gab es im Bereich zwischen Süd und West. Auffällig ist jedoch die Windrichtungsverteilung der Wintermonate auf Grund eines deutlich höheren Anteils von Winden aus Süd und Südwest. Da Wetterlagen, die Luftmassen aus Südwest-Europa mittels Südwest-Wind nach Deutschland tragen, in der Regel zu milden Winterphasen führen, lassen sich dadurch die positiven Temperaturanomalien der Wintermonate in 2021 erklären. Die in Gelb dargestellte Windrichtungsverteilung der Schwachwindwetterlagen ähnelt der für das gesamte Jahr stark. Schwachwindwetterlagen treten häufig in den Herbst und Wintermonaten auf und führen bedingt durch Hochdruckeinfluss in der Regel zu Windrichtungen aus Süd und Ost. Dies deutet demnach zusätzlich zu der oben beschriebenen Windverteilung in der kalten Jahreszeit darauf hin, dass es im Jahr 2021 kaum langanhaltende Phasen gab, in denen Hochdruckeinfluss zu schlechten lokalen Luftaustauschbedingungen und Advektion von vorbelasteten Luftmassen aus Süd- und Osteuropa geführt hat.

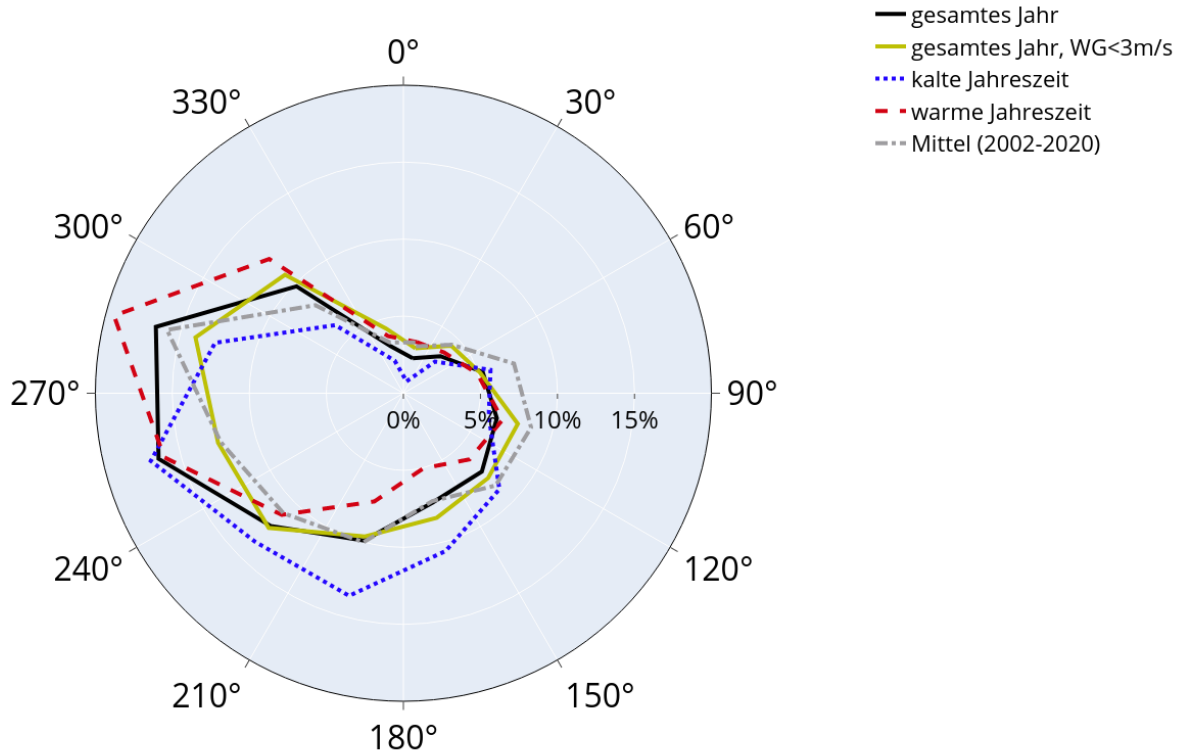


Abbildung 5: Windrichtungsverteilung für die warme Jahreszeit (April bis September), die kalte Jahreszeit (Januar, Februar, März, Oktober, November und Dezember) und das gesamte Jahr 2021 sowie für das gesamte Jahr nur unter Berücksichtigung von Schwachwindwetterlagen mit einer Windgeschwindigkeit (WG) geringer als 3 m/s. Zur Einordnung ist in grau die Windrichtungsverteilung für den Mittelungszeitraum zwischen 2002 und 2020 in Berlin-Dahlem dargestellt.

5 DIE LUFTQUALITÄT IN BERLIN IM JAHR 2021

5.1 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffoxiden (NO_x)

Tabelle 5: Kennwerte für Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Summe der Stickstoffoxide

Lage	Station	Messverfahren ²⁾	NO in µg/m ³ Wert	NO ₂ JM in µg/m ³ Wert	NO ₂ 1-h-Mittel > 200 µg/m ³ Anzahl	NO _x ¹⁾ JM in µg/m ³ Wert
	Mittelungszeitraum					
Stadtrand	Marienfelde (MC027)	Referenz	1	10	0	12
	Grunewald (MC032)	Referenz	1	9	0	12
	Buch (MC077)	Referenz	2	11	0	15
	Friedrichshagen (MC085)	Referenz	1	10	0	11
	Frohnau (MC145)	Referenz	1	9	0	11
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	Referenz	5	21	0	30
	Schöneberg (MC018)	Referenz	3	18	0	23
	Neukölln (MC042)	Referenz	4	19	0	26
	Mitte (MC171)	Referenz	3	17	0	22
	Karlshorst (MC282)	Referenz	3	15	0	20
Straße	Hardenbergplatz (MC115)	Referenz	11	23	0	39
	Schildhornstr. 76 (MC117)	Referenz	19	30	0	58
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	Referenz	30	33	0	79
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	Referenz	31	35	0	82
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	Referenz	15	28	0	51
	Leipziger Straße 76 (MC190)	Referenz	15	29	0	53
	Berliner Allee 118 (MS501)	Passiv	27	31	-	72
	Beusselstr. 66 (MS504)	Passiv	19	29	-	60
	Potsdamer Str. 102 (MS505)	Passiv	21	31	-	64
	Michael-Brückner-Str. 5 (MS507)	Passiv	35	32	-	82
	Alt Friedrichsfelde 7a (MS514)	Passiv	32	34	-	81
	Leipziger Str. 32 (MS525)	Passiv*	23	31	-	68
	Kantstr. 117 (MS528)	Passiv*	12	24	-	43
	Hauptstr. 54 (MS530)	Passiv*	20	31	-	63
	Spandauer Damm 103 (MS531)	Passiv*	35	38	-	91
	Hermannstr. 120 (MS533)	Passiv*	28	34	-	77
	Alt Moabit 63 (MS537)	Passiv	24	31	-	68
	Schloßstr. 29 (MS539)	Passiv	18	32	-	62
	Tempelhofer Damm 148 (MS542)	Passiv	26	32	-	72
	Sonnenallee 68 (MS545)	Passiv*	26	35	-	76
	Landsberger Allee 6-8 (MS547)	Passiv*	30	33	-	78
	Hermannplatz, Laterne 21 (MS555)	Passiv*	29	36	-	81
	Friedrichstr. 172 (MS562)	Passiv	4	17	-	26
	Badstr. 67 (MS573)	Passiv	25	35	-	74
	Klosterstr. 12, Spandau (MS576)	Passiv	24	29	-	66
	Eichborndamm 23-25 (MS579)	Passiv	17	27	-	54
	Markgrafendamm 33 (MS581)	Passiv	19	28	-	58
	Invalidenstraße 30 (MS582)	Passiv	16	27	-	52
	Brückenstr. 15 (MS601)	Passiv	-	28	-	-
	Kaiser-Friedrich-Str. 41 (MS602)	Passiv	-	28	-	-
	Leonorenstr. 94 (MS603)	Passiv	-	30	-	-
	Stromstr. 58/61 (MS605)	Passiv	-	20	-	-
	Reinhardtstr. 47 (MS607)	Passiv	-	21	-	-
Oranienstr. 159 (MS608)	Passiv	-	30	-	-	
Elsenstr. 102 (MS609)	Passiv	-	32	-	-	
Erkstr. 10-11 (MS610)	Passiv	-	31	-	-	

Lage	Station		NO	NO ₂		NO _x ¹⁾
	Mittelungszeitraum	Mess- verfahren ²⁾	JM in µg/m ³ Wert	JM in µg/m ³ Wert	1-h-Mittel > 200 µg/m ³ Anzahl	JM in µg/m ³ Wert
Straße	Friedrichstr. 151 (MS611)	Passiv	-	24	-	-
	Torstr. 134 (MS612)	Passiv	-	30	-	-
	Leipziger Str. 4 (MS613)	Passiv	-	29	-	-
	Mariendorfer Damm 58-60 (MS622)	Passiv	-	35	-	-
	Saarstr. 4 (MS623)	Passiv	-	26	-	-
	Mehringdamm 46-48 (MS624)	Passiv*	-	40	-	-
	Martin-Luther-Str. 14 (MS625)	Passiv	-	28	-	-
	Spiegelweg 6 (MS626)	Passiv	-	28	-	-
	Danziger Str. 4-6 (MS627)	Passiv	-	29	-	-

¹⁾ NO_x wird als die Summe der Volumenmischungsverhältnisse von Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) angegeben, daher stimmt die Summe aus NO und NO₂ nicht mit dem NO_x-Wert überein.

²⁾ Abkürzungen:

Referenz = Referenzverfahren (automatische Station)

Passiv = Passivsammler

* Messdaten dieser Passivsammler werden zur Beurteilung der Luftgüte an die EU übermittelt.

JM = Jahresmittel

Rot = Grenzwert für Jahresmittel (für NO₂ 40 µg/m³), Kurzzeit-Grenzwert (für 1-Stundenmittel NO₂ 200 µg/m³) oder kritischer Wert für Vegetationsschutz (für NO_x im Jahresmittel 30 µg/m³) wurde überschritten.

Stickstoffdioxid (NO₂)

Die im Jahr 2021 vom Berliner Luftgütemessnetz ermittelten NO₂-Jahresmittelwerte sind der Tabelle 5 zu entnehmen. Die Jahresmittelwerte werden für eine bessere Übersicht in Abbildung 6 als Balkendiagramm nach aufsteigender NO₂-Belastung sortiert dargestellt. Die Passivsammler, die für die Beurteilung der Luftqualität an die EU gemeldet werden, sind in der Tabelle und in der Abbildung mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

Im Jahr 2021 wurden an den automatischen Messcontainern am Stadtrand NO₂-Jahresmittelwerte von 9-11 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund von 15-21 µg/m³ und an Straßen von 23-35 µg/m³ gemessen. Somit lag keine der automatisch registrierenden Containermessstationen über dem Grenzwert für das Kalenderjahr von 40 µg/m³. Zusätzlich zur langfristigen Belastung mit NO₂ wird mit dem automatischen Referenzmessverfahren auch die kurzfristige Spitzenbelastung beurteilt. Hierfür gilt ein Immissionsgrenzwert für das 1-Stundenmittel von 200 µg/m³, wobei 18 Überschreitungen pro Kalenderjahr zulässig sind. Dieser Kurzzeit-Immissionsgrenzwert wurde seit Inkrafttreten der 39. BImSchV (2010) stets flächendeckend eingehalten. Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass das 1-Stundenmittel von 200 µg/m³ an keinem Tag im Jahr überschritten wurde. Somit ist das Jahr 2021 das vierte Jahr in Folge, in dem dieser Wert kein einziges Mal übertroffen wurde. Die für 2021 an den 39 Passivsammler-Standorten ermittelten Jahresmittelwerte lagen zwischen 17 und 40 µg/m³. Die am wenigsten belasteten Messpunkte waren diejenigen in der verkehrsberuhigten Friedrichstraße (MS562) und der Stromstraße (MS605) mit 17 und 20 µg/m³ NO₂ im Jahresmittel. Die höchste Jahresmittelkonzentration wurde mit 40 µg/m³ am Mehringdamm (MS624) festgestellt. An allen Passivsammlerstandorten wurde damit der Grenzwert für das Jahresmittel von 40 µg/m³ eingehalten.

Autofreie Friedrichstraße: Der Fußverkehr erhält den Vorrang.

Ende August 2020 wurde das Projekt „Flaniermeile Friedrichstraße“ ins Leben gerufen. Während des Verkehrsversuchs (August 2020 bis Ende Oktober 2021) wurden umfangreiche Untersuchungen zur Luftschadstoffbelastung durchgeführt. Der Verkehrsversuch hat gezeigt, dass die für die Flaniermeile Friedrichstraße angestrebte Verbesserung der Luftgüte und Verminderung der Lärmbelastung für die Friedrichstraße, bei verkehrsbedingten leichten Zunahmen der Belastungen in anderen Bereichen, zu erreichen ist. Die NO₂-Belastung in der Friedrichstraße sank infolge des Verkehrsversuchs auf das Niveau des städtischen Hintergrunds. Die Anrainer*innen der Friedrichstraße wurden von den lokalen verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen weitestgehend entlastet. Die Luftschadstoffbelastung an der Glinkastraße und an der Charlottenstraße hingegen ist durch die Kfz-Verkehrszunahmen leicht gestiegen. Mehr Informationen finden sich in der [SenUMVK- Presseerklärung vom 03.05.2022](#) (Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, 2022).

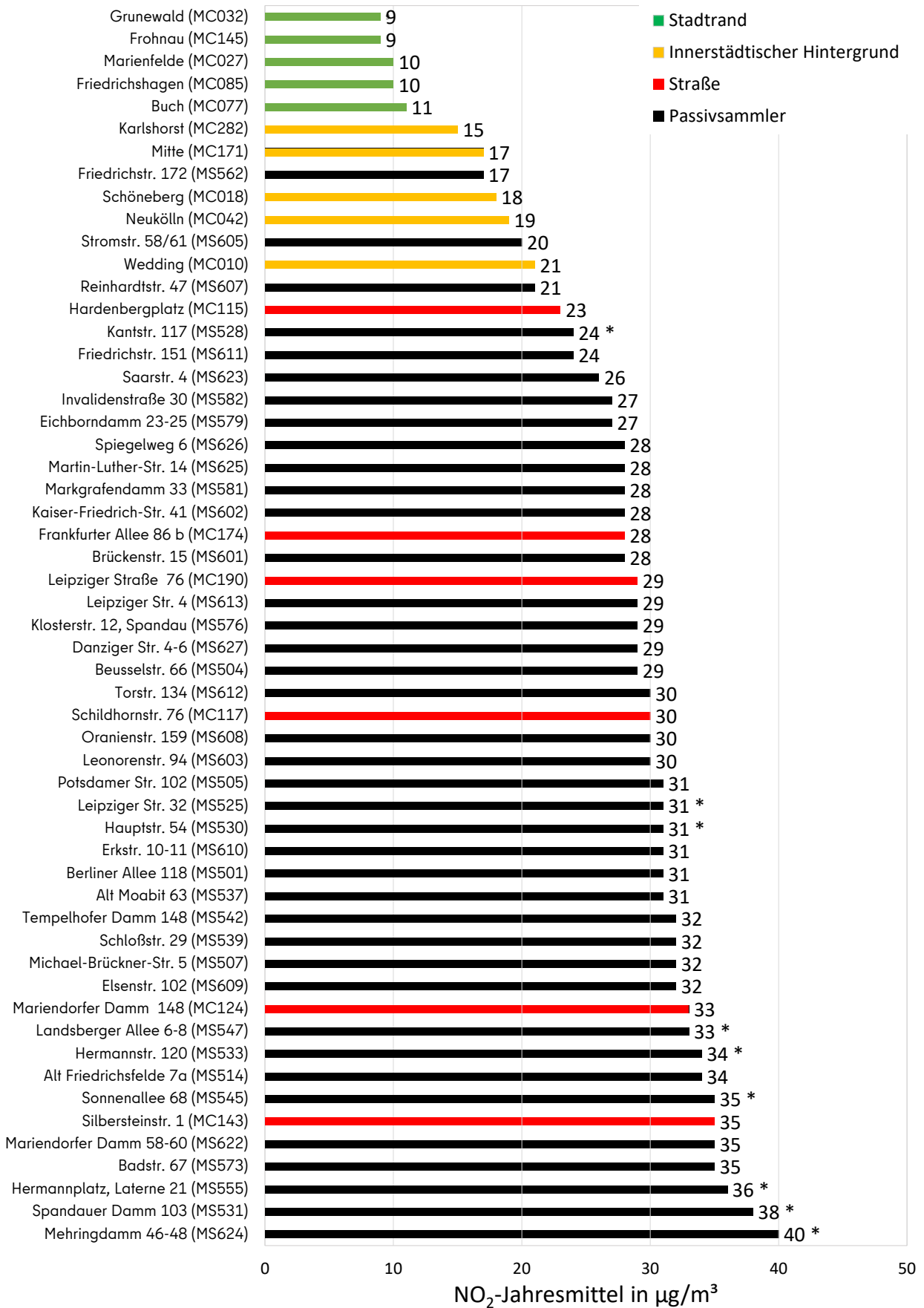


Abbildung 6: NO₂-Jahresmittelwerte aufsteigend sortiert. An die EU zur Beurteilung der Luftgüte gemeldete Passivsammler sind durch * gekennzeichnet.

Langzeittrend von Stickstoffdioxid

Der NO₂-Langzeittrend in Berlin bis 2021 ist in Abbildung 7 unter Anwendung der Differenzenmethode für die NO₂-Messungen am Stadtrand (grün), im innerstädtischen Hintergrund (gelb), an Straßen (rot) und für die zur Beurteilung der Luftgüte an die EU übermittelten Passivsammler (schwarz) als Linie dargestellt. Die dem Trend-Modell zu Grunde liegenden NO₂-Jahresmittelwerte sind in der entsprechenden Farbe als Punkte dargestellt.

Bis Mitte der neunziger Jahre konnte durch die Ausrüstung der Berliner Kraftwerke mit Entstickungsanlagen und die Einführung des geregelten Katalysators für Ottomotoren ein Rückgang der NO₂-Emissionen erreicht werden. Durch eine zunehmende Anzahl an Dieselfahrzeugen und genehmigungsbedürftigen Anlagen wurde dieser Trend jedoch weitestgehend aufgehoben, so dass bis 2014 nur eine sehr langsame Abnahme der NO₂-Belastung verzeichnet wurde. In den Jahren zwischen 2008 und 2015 blieben die NO₂-Jahresmittelwerte auf einem annähernd gleichbleibenden Niveau, da Emissionsminderungen nicht in dem gesetzlich vorgeschriebenen Maß erfolgten. Besonders Diesel-Pkw der Schadstoffklasse Euro 5 stießen durch Software-Manipulation im realen Betrieb sehr viel mehr Stickstoffoxide aus, als von den Herstellern angegeben wurde bzw. als sich auf dem Prüfstand ergab.

Differenzenmethode

Der Langzeittrend von Luftschadstoffen wird in diesem Bericht nicht auf Grundlage von arithmetischen Mittelwerten dargestellt, sondern auf Grundlage der Differenzen der Jahresmittelwerte von einem zum darauffolgenden Jahr (Schmidtke & Schmidt, 2018). Der Vorteil dieser, auf Differenzen basierten Methode, liegt darin, dass eine Änderung in der Anzahl der Stationen, an denen ein bestimmter Luftschadstoff gemessen wird, keinen Einfluss auf die Trendbetrachtung hat. Wird beispielsweise eine Station hinzugefügt, die einen höheren Jahresmittelwert liefert als die anderen, führt dies zu einem Anheben des arithmetischen Mittelwertes, so dass die tatsächliche Entwicklung der Luftschadstoffbelastung verfälscht wiedergeben wird. Werden jedoch nur die Änderungen von einem auf das nächste Jahr in Betracht gezogen, lässt sich trotz einer wechselnden Datenbasis, die Entwicklung der Luftschadstoffbelastung realistischer darstellen.

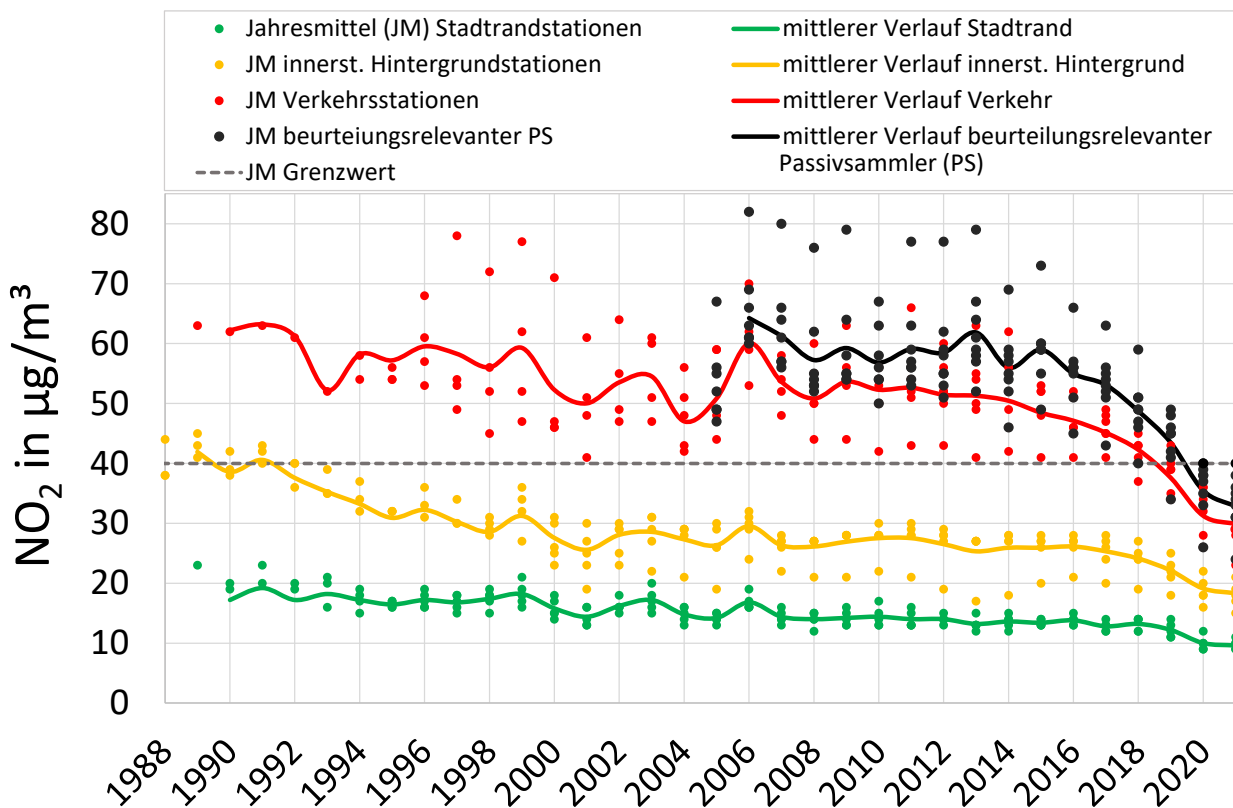


Abbildung 7: Entwicklung der NO₂-Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte (JM) der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die einzelnen Jahresmittelwerte der acht zur Beurteilung der Luftgüte an die EU übermittelten Passivsammler (PS) sind als schwarze Punkte dargestellt. Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen und der Passivsammlerdaten dar.

Seit 2016 verzeichnet die Stickstoffdioxidbelastung eine deutliche Abnahme. In der Regel werden die höchsten NO₂-Konzentrationen an verkehrsnahen Messstandorten gemessen, da der Straßenverkehr Hauptverursacher für hohe NO₂-Belastung ist. Für die automatischen Straßenmessstellen ergab sich bis 2021 ein Rückgang um ca. 38 %, wobei die Belastung an den Verkehrsmessstationen von 2019 auf 2020 am stärksten gesunken ist. Für das Jahr 2021 können die niedrigen Jahresmittelwerte von 2020 bestätigt werden. An den Verkehrsmessstationen sank von 2020 auf 2021 die Belastung im Schnitt um 7 %. Verglichen mit den Straßenmessstellen wurden am Stadtrand und im innerstädtischen Hintergrund geringere Veränderungen beobachtet. Von 2020 auf 2021 sank die Belastung am Stadtrand um 2 % und im innerstädtischen Hintergrund um 4 %. Insgesamt nahm im Zeitraum von 2016 bis 2021 die NO₂-Belastung in den beiden Regimen um ca. 30 % ab. Der höhere Rückgang der Immissionswerte an den Straßenstationen unterstreicht den starken Einfluss der Verkehrsemissionen auf die NO₂-Konzentrationen.

Erzielt wurde die bemerkenswerte rückläufige Entwicklung der NO₂-Belastung in den letzten Jahren durch zielgerichtete und wirkungsvolle Maßnahmen der Berliner Luftreinhaltung (Luftreinhalteplan für Berlin 2. Fortschreibung, 2019). Dabei lag und liegt der Fokus darauf, den motorisierten Verkehr in der Berliner Innenstadt zu verringern und die Stärkung des Umweltverbundes aus öffentlichem Personennahverkehr (ÖPNV), Rad- und Fußverkehr voranzutreiben. Neben Maßnahmen wie Tempo-30-Anordnungen und Durchfahrverboten für Diesel-Pkw bis einschließlich Euro 5/V hat aber auch die generelle Reduktion der motorbedingten Verkehrsemissionen z.B. durch die Erneuerung der Kfz-Flotte einen Anteil an dieser positiven Entwicklung. Allein im Jahr 2021 hat sich die Anzahl der neu zugelassenen Elektro-Pkw im Vergleich zu den letzten zwei Jahren in Berlin verdreifacht (Krafftahrt-Bundesamt, 2022). Auch die BVG konnte 2021 ihren Anteil an Elektrobussen deutlich aufstocken (Berliner Verkehrsbetriebe, 2022).

Weiterhin trugen die Maßnahmen zur Eindämmungen des Coronavirus in den vergangenen Jahren zum Rückgang der NO₂-Konzentrationen bei. Wie bereits im Jahresbericht 2020 (Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 2021) analysiert wurde, hatten die Maßnahmen aber nur einen geringen Einfluss auf die Jahresmittelwerte.

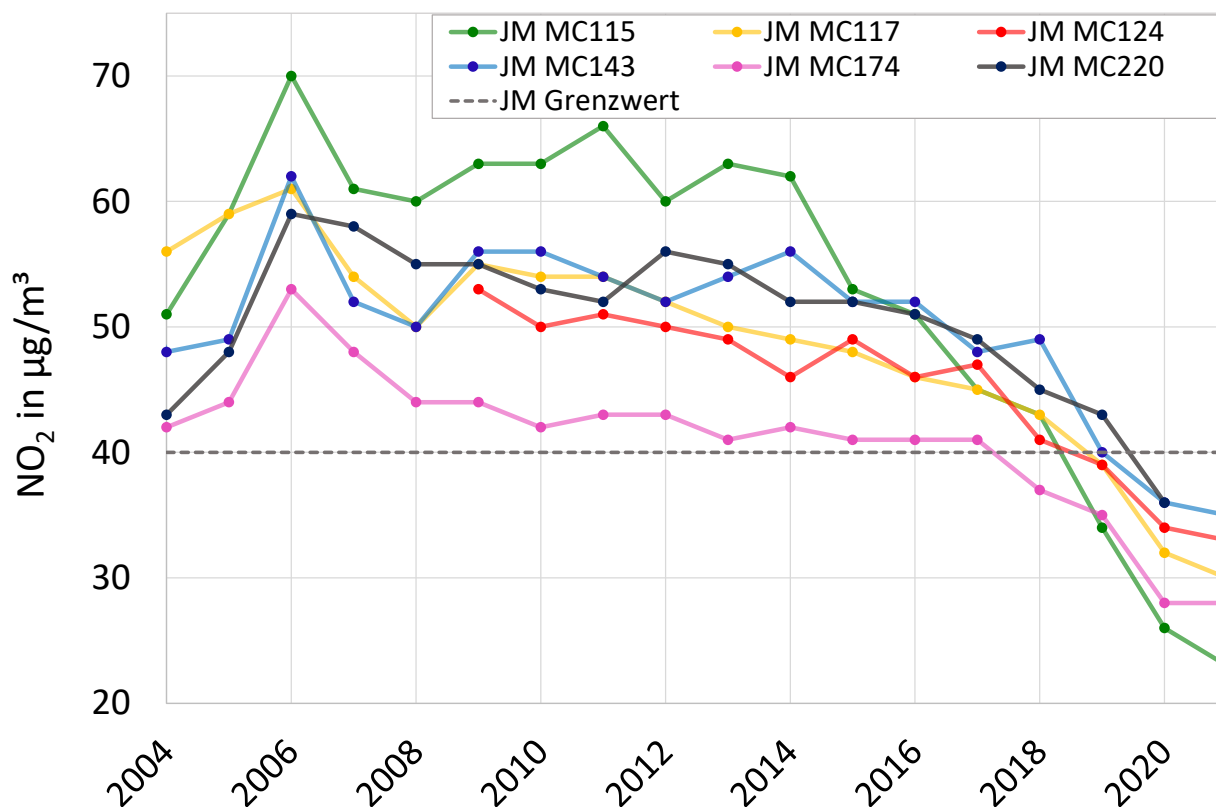


Abbildung 8: NO₂-Zeitreihen der Jahresmittelwerte (JM) der einzelnen Straßenstationen

In Abbildung 8 ist der Verlauf der arithmetischen Jahresmittelwerte an den sechs automatischen Straßenmessstellen dargestellt. Auffällig sind die erhöhten Jahresmittelwerte von 2006, die auch am Stadtrand und im innerstädtischen Hintergrund gemessen wurden (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8). Neben den Emissionen aus Verbrennungsprozessen (Kraftwerke, Industrie, Hausbrand, Straßenverkehr) hängen die NO₂-Konzentrationen auch stark von den Witterungsbedingungen ab. Vor allem für die Straßenmessstellen zeigen die hohen Jahresmittelwerte den Einfluss von meteorologischen Bedingungen auf die Konzentration von Luftschadstoffen, denn das Jahr 2006 war geprägt durch eine hohe Anzahl windschwacher Hochdruckwetterlagen und ungünstigen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen. Abbildung 8 macht zudem deutlich, dass die Rückgänge in den letzten Jahren nicht gleichermaßen an allen Messstellen zu beobachten sind, sondern individuell von den Bedingungen am Standort abhängig sind. Durch eine Betrachtung auf

Basis von Jahresmittelwerten lassen sich kurzfristige Abweichungen effektiv herausfiltern. Baustellen und größere verkehrslenkende Maßnahmen sind jedoch nicht selten über einen längeren und damit relevanten Zeitraum hinweg aktiv. Dadurch kann es zu zeitweiligen Abweichungen vom generellen Trend kommen.

Insgesamt kam es im Jahr 2021 an fast allen verkehrsnahen Messstandorten zu einer weiteren, zum Teil deutlichen Abnahme der NO₂-Belastung im Vergleich zum Vorjahr. Lediglich an der Messstation MC174 stagnierte die Konzentration im Jahresmittelwert, die Frankfurter Allee bleibt aber nach der Station MC115 am Hardenbergplatz die Verkehrsstation mit der zweitniedrigsten NO₂-Belastung. An der Station am Hardenbergplatz nahm das NO₂-Jahresmittel erneut am stärksten ab. Der Rückgang von 2020 zu 2021 im Jahresmittel betrug mit 3 µg/m³ mehr als 10 %. Der Hardenbergplatz ist als zentraler Punkt für den öffentlichen Personennahverkehr vor allem durch einen hohen Anteil an Linienbussen geprägt. Die Maßnahmen zur Senkung der Immissionsbelastung aus dem Linienverkehr trugen hier offensichtlich zu einem weiteren Rückgang der NO₂-Belastung bei.

Stickstoffoxide

Stickstoffoxide (NO_x) sind die Summe von Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid. Für diese gibt es keinen Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit, aber einen „kritischen Wert“ von 30 µg/m³ für das NO_x-Jahresmittel für den Schutz der Vegetation. Dieser ist streng genommen für Stadtgebiete nicht anwendbar, da nur NO_x-Messungen von mindestens 20 km von Ballungsräumen bzw. mehr als 5 km z.B. von Industrieanlagen, Autobahnen oder Hauptverkehrsstraßen entfernten Messstellen zur Beurteilung herangezogen werden sollen. Diese Vorgabe der 39. BImSchV wird der überragenden Bedeutung von Wäldern, Baumbeständen in Parks und Bäumen an Straßen für das Stadtklima und damit mittelbar auch für die menschliche Gesundheit in keinster Weise gerecht. Daher wird der kritische Wert für NO_x zur Einschätzung der Belastungssituation für die Vegetation in Berlin herangezogen. Das Jahresmittel der Summe der Stickstoffoxide (Tabelle 5) lag am Stadtrand bei 10-14 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund bei 23-42 µg/m³ und an den Straßenmessstellen bei 20-91 µg/m³. Somit wurde der kritische Wert am Stadtrand und an vier der fünf innerstädtischen Hintergrundmessstellen eingehalten, aber an den Straßenmessstellen durchgehend überschritten. Diese Feststellung ist auch vor dem Hintergrund der Umweltgerechtigkeit kritisch zu bewerten, da die Ballung von potenziell gesundheitsschädlichen Umweltbelastungen besonders häufig Menschen mit niedrigem sozialen Status-Index trifft (Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz).

Abbildung 9 stellt die NO_x-Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen und der Passivsammler aufsteigend sortiert dar.

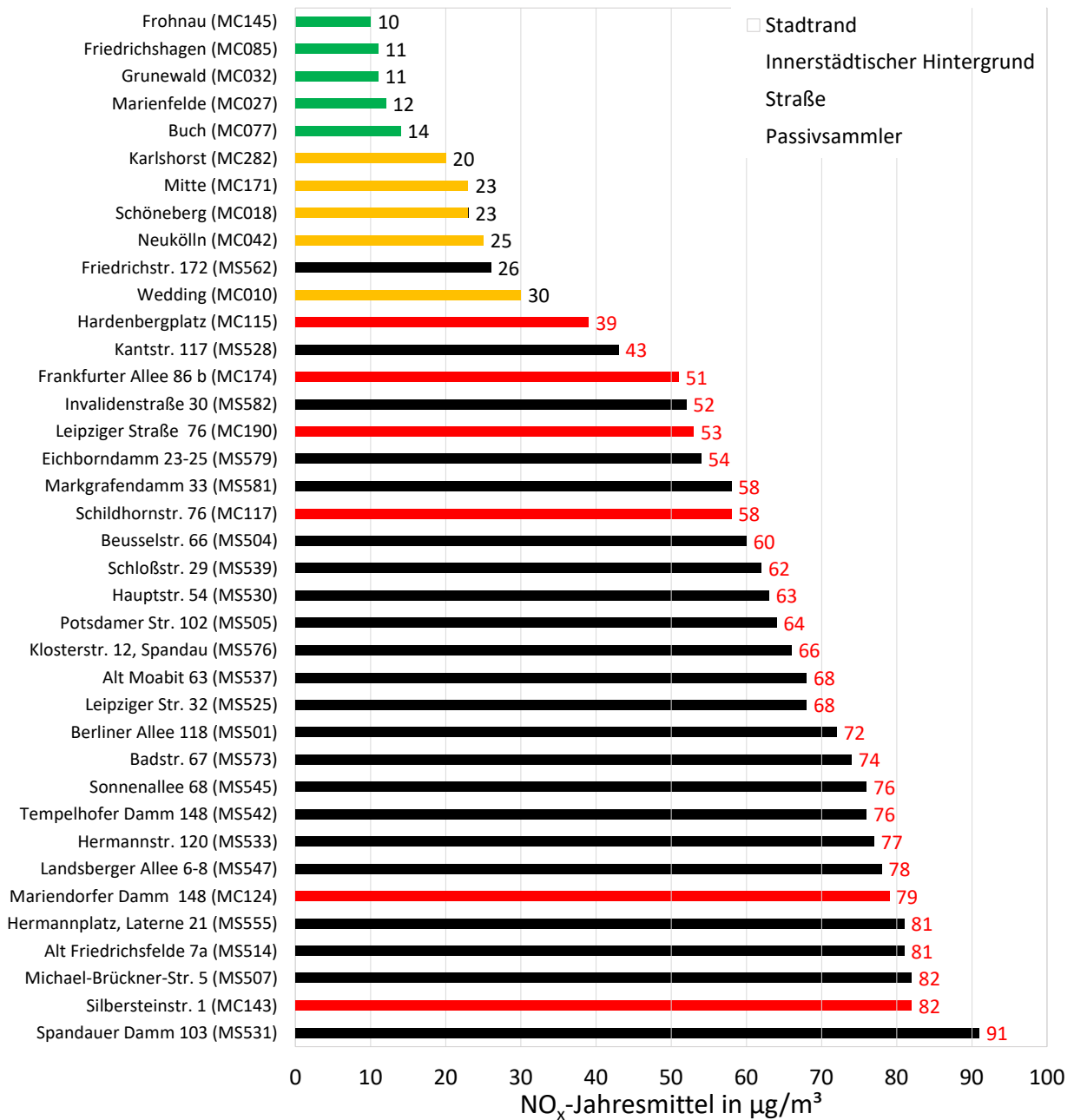


Abbildung 9: NO_x-Jahresmittelwerte aufsteigend sortiert. Wurde der kritische Wert für den Vegetationsschutz an einer Station überschritten, wird der Wert rechts neben dem Balken rot dargestellt.

5.2 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für PM₁₀ und PM_{2,5} sowie für den AEI

Tabelle 6: Kennwerte für PM₁₀ und PM_{2,5}

Lage	Station	PM ₁₀ Automat		PM _{2,5} Automat	PM _{2,5} Gravimetrie
		Jahresmittel in µg/m ³ Wert	Tagesmittel > 50 µg/m ³ Anzahl	Jahresmittel in µg/m ³ Wert	Jahresmittel in µg/m ³ Wert
	Mittelungszeitraum				
Stadttrand	Grunewald (MC032)	15	1	11	-
	Buch (MC077)	17	2	11	11
	Friedrichshagen (MC085)	15	1	11	-
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	16	2	12	12
	Neukölln (MC042)	17	4	13	13
	Mitte (MC171)	19	4	13	12
Straße	Schildhornstr. 76 (MC117)	21	5	14	-
	Mariendorfer Damm 148 (MC124)	22	10	14	-
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	28	22	15	-
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	23	12	15	14
	Leipziger Straße 76 (MC190)	22	8	13	-

Erklärung:

Der Grenzwert der 39. BImSchV beträgt für den PM₁₀-Jahresmittelwert 40 µg/m³ und für den PM_{2,5}-Jahresmittelwert 25 µg/m³. Der PM₁₀-Tagesmittelwert von 50 µg/m³ darf nach der 39. BImSchV im Jahr nicht häufiger als 35-mal überschritten werden.

Bei 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:

An diesen Stationen werden zur Bestimmung des AEI die Messergebnisse des gravimetrischen Referenzverfahrens genutzt. Der gleitende Dreijahresmittelwert von PM_{2,5} (Average Exposure Indicator = AEI) dient als Indikator für die durchschnittliche Belastung der Bevölkerung im städtischen Hintergrund.

Die Grenzwerte für das Jahresmittel von PM₁₀ und PM_{2,5} sowie der Kurzzeit-Grenzwert für PM₁₀ wurden eingehalten.

PM₁₀

Die an den Stationen des automatischen Messnetzes ermittelten PM₁₀-Jahresmittelwerte lagen 2021 am Stadttrand bei 15-17 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund bei 16-19 µg/m³ und an Schwerpunkten des Straßenverkehrs bei 21-28 µg/m³ (siehe Tabelle 6). Der höchste Jahresmittelwert wurde mit 28 µg/m³ in der Silbersteinstraße gemessen. Der Grenzwert von 40 µg/m³ für das PM₁₀-Jahresmittel, der 2003 letztmals überschritten wurde, wurde damit wieder flächendeckend eingehalten.

Wie bei Stickstoffdioxid werden auch für PM₁₀ 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 PM₁₀ ein erhebliches Problem. Seit 2016 lagen die Überschreitungshäufigkeiten jedoch an den Berliner Messstellen stets unterhalb der erlaubten Anzahl von 35. Im Jahr 2021 wurde dieser Wert wieder unterschritten, allerdings gab es im Vergleich zum Vorjahr 2020 deutlich mehr Überschreitungstage. Zu den meisten Überschreitungen kam es mit 22 Tagen an der Messstation in der Silbersteinstraße. Hier wurden durch eine Baustelle in unmittelbarer Nähe zum Messcontainer das gesamte Jahr über hohe PM₁₀-Konzentrationen verursacht. Insgesamt wurden im Jahresverlauf 2021 die meisten Überschreitungstage des Tagesgrenzwerts an den Messstationen durch das Auftreten ausbreitungstechnisch ungünstiger Witterungslagen (Inversionswetterlagen) im März verzeichnet. Ein Teil kann auch auf Ferntransport aus östlichen und südöstlichen Richtungen zurückgeführt werden.

Langzeittrend für PM₁₀

Der PM₁₀-Langzeittrend in Berlin ist in Abbildung 10 unter Anwendung der bereits erläuterten Differenzenmethode (siehe Info-Kasten auf Seite 19) für die PM₁₀-Messungen in den jeweiligen Belastungsregimen (Stadttrand, innerstädtischer Hintergrund und Straßen) als Linie dargestellt. Die PM₁₀-Jahresmittelwerte der Stationen sind in der entsprechenden

Farbe als Punkte abgebildet. Zusätzlich stellt Abbildung 10 die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der am höchsten belasteten Station von 2000 bis 2021 als Balken dar.

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, zeigt die PM_{10} -Belastung in Berlin einen abnehmenden Trend. Im dargestellten Zeitraum weist die PM_{10} -Belastung eine deutliche Abnahme um rund 30 % am Stadtrand, 33 % im innerstädtischen Hintergrund sowie eine Abnahme um etwa 37 % an Straßenmessstellen auf.

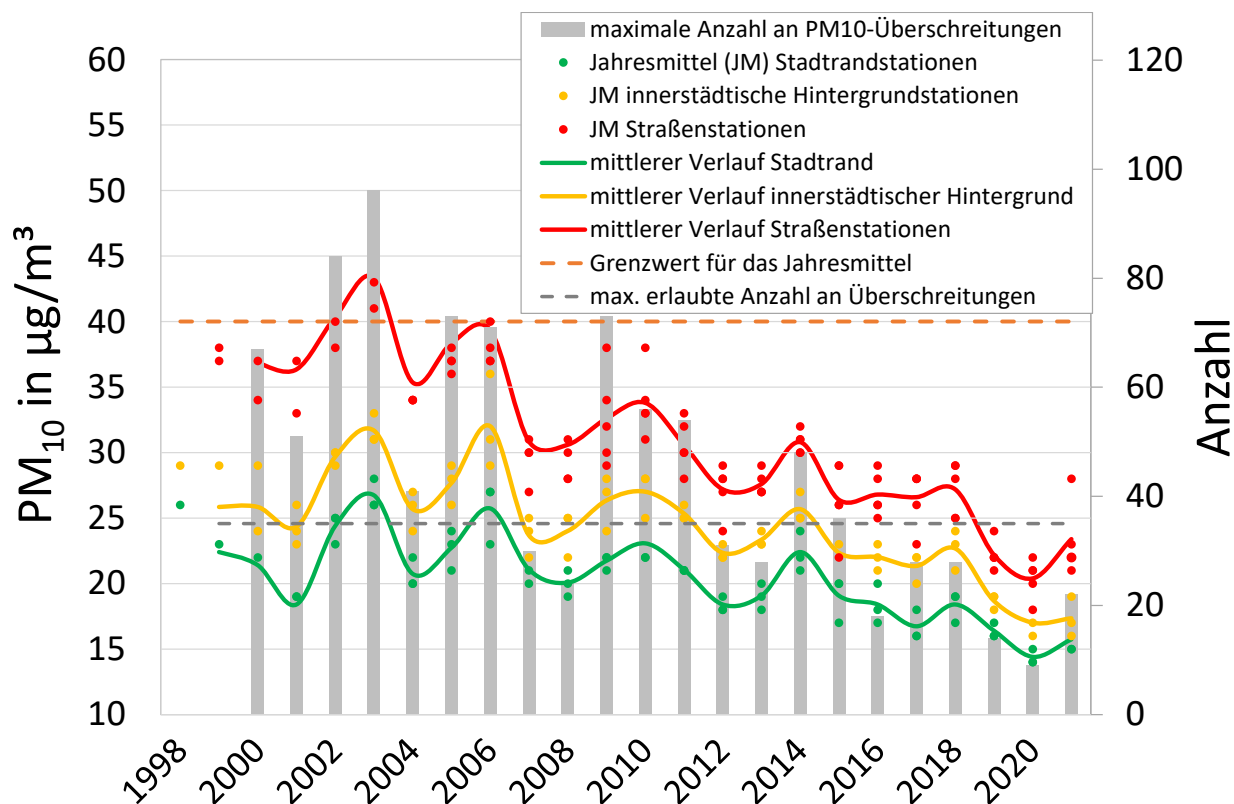


Abbildung 10: Entwicklung der PM_{10} -Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen dar. Zusätzlich ist jeweils die maximale Anzahl an jährlichen Überschreitungen des PM_{10} -Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Balken dargestellt.

Die PM_{10} -Belastung in Berlin und ihre langjährige Entwicklung wird maßgeblich durch die meteorologischen Bedingungen und emissionsmindernde Maßnahmen geprägt. Wie der Rückgang der Jahresmittelwerte zeigt, waren die emissionsmindernden Maßnahmen, sowohl in den osteuropäischen Mitgliedstaaten der EU als auch in Berlin selbst (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2013) erfolgreich. Die Annäherung der roten Linie an die gelbe Linie in Abbildung 10 verdeutlicht, dass der lokale Verkehrsbeitrag durch den Straßenverkehr im dargestellten Zeitraum deutlich abgenommen hat. Eine wichtige Maßnahme in Berlin zur Minderung der PM_{10} -Belastung war die Einführung der Umweltzone in zwei Stufen zum 01.01.2008 und 01.01.2010. Nach einer Untersuchung zur Wirkung der Stufe 2 der Umweltzone von 2011 (Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, 2011) verhinderte die Einführung der Umweltzone eine um etwa 7 % höhere PM_{10} -Belastung und 10 Überschreitungstage mit Tagesmitteln über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Die jährlichen Schwankungen der PM_{10} -Jahresmittelwerte von bis zu 20 % und insbesondere die Variabilität der Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittels von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von bis zu einem Faktor zwei spiegeln die Abhängigkeit der PM_{10} -Belastung von den Witterungsbedingungen wider, auf welche bereits im Kapitel 4 eingegangen wurde. Besonders der Ferntransport von Partikeln bei südlichen bis östlichen Anströmungen, vermehrtes Heizen bei tiefen Temperaturen und die Häufigkeit von austauscharmen, in der Regel durch Hochdruck geprägten Wetterlagen beeinflussen die PM_{10} -Belastung stark. In Jahren mit vergleichsweise geringer PM_{10} -Belastung, beispielsweise 2007, 2008, 2012, 2013, 2017 und 2020 herrschten stets günstige meteorologische Bedingungen. Im Jahr 2020 wurden in allen Belastungsregimen die niedrigsten jemals gemessenen PM_{10} -Jahresmittelwerte erfasst. Die Partikelkonzentration stieg 2021 im Vergleich zum Vorjahr wieder leicht an, wobei die Konzentrationen an den Straßenmessstationen am stärksten zunahm. Eine Erklärung für die stärkere mittlere Zunahme an den Verkehrsstationen ist der Schadstoffbeitrag durch eine Baustelle, die

sich das gesamte Jahr in unmittelbarer Nähe der Messstelle MC143 befand. Durch die Schadstoffquelle wurden an der Messstation das gesamte Jahr über relativ hohe PM₁₀-Konzentrationen erfasst, die sich auf den mittleren Verlauf an den Straßenmessstationen auswirken.

PM_{2,5}

Die PM_{2,5}-Jahresmittelwerte lagen am Stadtrand bei 11 µg/m³, im innerstädtischen Hintergrund bei 12-13 µg/m³ und an Schwerpunkten des Straßenverkehrs bei 13-15 µg/m³ und damit durchgehend unterhalb des seit 2015 einzuhaltenden Grenzwertes von 25 µg/m³ (vgl. Tabelle 6). Die Messwerte wurden sowohl mit dem gravimetrischen Referenzverfahren (an 5 Stationen) als auch mit dem automatischen Streulichtverfahren bestimmt (an insgesamt 11 Stationen). Für das automatische Verfahren wird die Äquivalenz zum Referenzverfahren regelmäßig überprüft.

Average Exposure Indicator (AEI)

In der 39. BImSchV ist der gleitende Dreijahresmittelwert von PM_{2,5} als Indikator für die durchschnittliche Belastung der Bevölkerung (Average Exposure Indicator = AEI) im städtischen Hintergrund definiert. Der AEI wird für jeden EU-Mitgliedstaat gesondert aus den Werten der entsprechenden PM_{2,5}-Messstellen ermittelt und daraus ein nationales Minderungsziel abgeleitet. In Deutschland gibt es 30 AEI-Messstellen. In Berlin werden diese Messungen, entsprechend seinem Anteil an der bundesdeutschen Bevölkerung, die in Großstädten lebt, seit dem 01.01.2008 an drei Stationen mittels gravimetrischen Referenzmessverfahren durchgeführt: Neukölln (MC042), Mitte (MC171) und Wedding (MC010). 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 2021 als Mittel der Jahre 2019 bis 2021. Wie der Rückgang der Jahresmittelwerte der Berliner AEI-Stationen seit 2010 von 19,2 µg/m³ auf 12,5 µg/m³ im Jahr 2021 (siehe Tabelle 7) zeigt, waren die emissionsmindernden Maßnahmen, sowohl in den osteuropäischen Mitgliedstaaten der EU als auch in Berlin selbst erfolgreich (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, 2013). Im gesamten Bundesgebiet betrug der AEI für das Jahr 2010 16,4 µg/m³. Entsprechend den Regelungen in der 39. BImSchV ergibt sich 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 ab 2020 den Wert von 13,9 µg/m³ nicht überschreiten darf. Für das Jahr 2021 betrug der bundesweite AEI 10,0 µg/m³ und liegt damit zum fünften Mal in Folge unter dem Wert, der ab 2020 einzuhalten ist. (Luftqualität 2021 - Vorläufige Auswertung, 2022)

Tabelle 7: Mittelwert über alle AEI-Stationen in Deutschland (national) (Luftqualität 2021 - Vorläufige Auswertung, 2022) und Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen (ab 2010)

Jahr	AEI (national)	Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen
Mittelungszeitraum	3-Jahresmittel in µg/m ³	3-Jahresmittel in µg/m ³
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	12,6	15,6
2019	12,1	14,8
2020	11,0	13,7
2021	10,0	12,5

Langzeittrend von PM_{2,5} und AEI

Der PM_{2,5}-Langzeittrend in Berlin ist in Abbildung 11 unter Anwendung der bereits erläuterten Differenzenmethode (siehe Info-Kasten auf Seite 19) für die automatischen PM_{2,5}-Messungen in den jeweiligen Belastungsregimen (Stadtrand, innerstädtischer Hintergrund und Straßen) als Linie dargestellt. Die PM_{2,5}-Jahresmittelwerte der Stationen sind in der entsprechenden Farbe als Punkte dargestellt. Die Verläufe der auf gravimetrischen Messwerten basierenden Jahresmittelwerte der Frankfurter Allee (MC174), an der Nansenstr. im städtischen Hintergrund (MC042) und in Buch am Stadtrand (MC077) sind als verschiedenfarbige gestrichelte Linien dargestellt.

Wie die PM₁₀-Belastung weist auch die PM_{2,5}-Belastung von Jahr zu Jahr Schwankungen aufgrund der jeweiligen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen und der Emissionssituation auf, wobei insgesamt ein abnehmender Trend sichtbar ist. Dabei ist die Belastung bezüglich PM_{2,5} in weit höherem Maße als die PM₁₀-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 erhöhten PM_{2,5}-Belastungen in 2006, 2010 und 2014 sind maßgeblich auf die Witterungsbedingungen in diesen Jahren zurückzuführen. Häufige Hochdruckwetterlagen haben einerseits zu einem vermehrten Transport von vorbelasteten Luftmassen aus dem Bereich Südosteuropas geführt. Andererseits hat der lokale Schadstoffausstoß, beispielsweise aus dem Verkehrssektor und aus Heizungen mit Holzfeuerung, aufgrund schlechter lokaler Ausbreitungsbedingungen zu der hohen Belastung in diesen Jahren beigetragen. In einem Projekt zur Holzfeuerung wurden gerade in den Herbst- und Wintermonaten bei Inversionswetterlagen erhöhte Beiträge dieser Partikel zur PM-Belastung festgestellt (BfR, 2014).

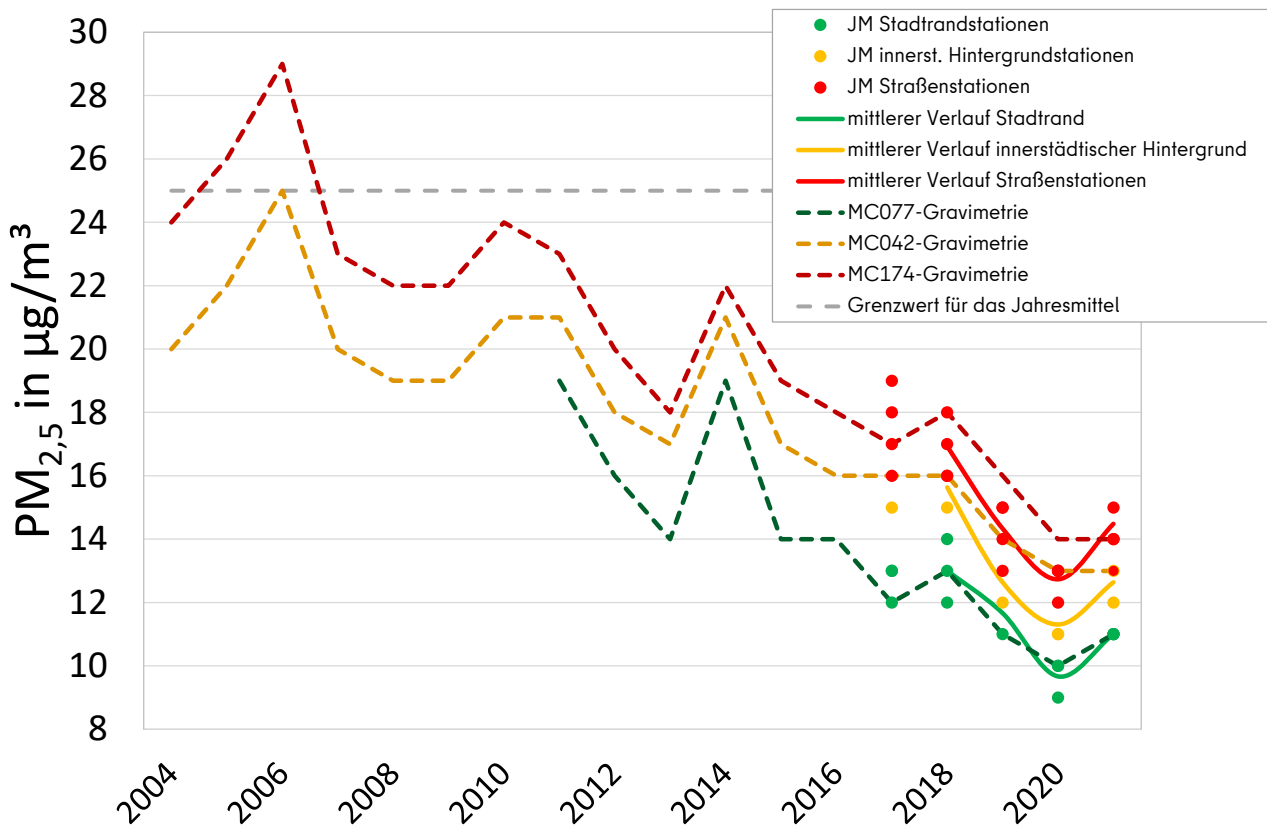


Abbildung 11: Entwicklung der PM_{2,5}-Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen dar. Die Verläufe der gravimetrischen Messungen am MC174, MC042 und MC077 sind als dunkelrote, orange und dunkelgrüne gestrichelte Linie dargestellt.

Die PM_{2,5}-Belastung ist stark rückläufig; der seit 2015 einzuhaltende Grenzwert von 25 µg/m³ wurde bereits seit 2007 stets unterschritten. Der abnehmende Trend hat seine Ursache einerseits in den Fortschritten der emissionsmindernden Maßnahmen in den osteuropäischen Mitgliedstaaten der EU. So sind im Jahr 2017 die letzten Übergangsfristen für die Sanierung von Großfeuerungsanlagen abgelaufen (Europäische Kommission, 2004). Andererseits zeigt sich auch daran die Wirkung der Umweltzone, durch welche gezielt der Ausstoß der sehr feinen Dieselrußpartikel reduziert wurde.

Dadurch hat sich die Belastung an Straßen der niedrigeren Belastung im städtischen Hintergrund angenähert. Zwischen 2018 und 2020 hatte sich die $PM_{2,5}$ -Belastung in allen Belastungsregimen nochmals sehr stark vermindert. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Konzentrationen im Jahr 2021 wieder leicht gestiegen, verbleiben aber auf einem ähnlichen Konzentrationsniveau wie im Jahr 2019, so dass sich seit 2018 sich ein Rückgang um etwa 15 % ergab. Um den neuen von der Weltgesundheitsorganisation empfohlenen Richtwert für das $PM_{2,5}$ -Jahresmittel von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (World Health Organization, 2021) in Berlin zu unterschreiten, sind weitere lokale, aber auch überregionale und internationale Bemühungen und Maßnahmen notwendig.

5.3 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Staubinhaltsstoffe

Tabelle 8: Kennwerte für Benzo(a)pyren (BaP) in PM₁₀

Lage	Station	Jahresmittel in ng/m ³
Stadtrand	Buch (MC077)	0,29
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	0,27
Straße	Schildhornstr. 76 (MC117)	0,27
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,33

Erklärung:

Der Zielwert für das Jahresmittel von Benzo(a)pyren liegt bei 1,0 ng/m³.
Der Zielwert für das Jahresmittel wurde eingehalten.

Tabelle 9: Kennwerte für die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Nickel und Blei in PM₁₀

Lage	Station	Arsen	Cadmium	Nickel	Blei
	Mittelungszeitraum	Jahresmittel in ng/m ³			
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	0,5	0,1	0,6	4,4
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,6	0,1	1,3	6,0

Erklärung:

Die 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.
Ziel- und Grenzwerte für das Jahresmittel wurden eingehalten.

Benzo(a)pyren in PM₁₀

Die Benzo(a)pyren-Jahresmittelwerte 2021 (siehe Tabelle 8) betragen zwischen 0,27 und 0,33 ng/m³. Damit liegen die Konzentrationen leicht über den Werten vom Vorjahr. Der Zielwert von 1 ng/m³ wurde deutlich unterschritten.

Schwermetalle in PM₁₀

Die Jahresmittelwerte der zu überwachenden Schwermetalle in PM₁₀ (siehe Tabelle 9) lagen für Arsen bei 0,5 ng/m³ und 0,6 ng/m³, für Cadmium bei 0,1 ng/m³, für Nickel bei 0,6 ng/m³ und 1,3 ng/m³ und für Blei bei 4,4 ng/m³ und 6,0 ng/m³, also in allen Fällen weit unterhalb des jeweiligen Ziel- bzw. Grenzwertes. Im Vergleich zum Vorjahr sind die Konzentrationen an den Messstellen erneut gesunken. Die Jahresmittelwerte schwanken von Jahr zu Jahr leicht, liegen jedoch seit Beginn der Messungen im Jahr 2004 stets weit unter der unteren Beurteilungsschwelle (Arsen: 2,4 ng/m³, Cadmium: 2 ng/m³, Nickel: 10 ng/m³ und Blei: 250 ng/m³). Da die erhobenen Messwerte seit vielen Jahren unter der unteren Beurteilungsschwelle liegen, wäre es nach der 39. BImSchV zulässig, die Belastung mittels objektiver Schätzung zu beurteilen. Dennoch wird im Fall der Schwermetalle Messungen, die in vergleichsweise geringem Umfang durchgeführt werden, auch weiterhin der Vorzug vor den gesetzlich ebenfalls erlaubten objektiven Schätzungen gegeben. Durch die analytische Bestimmung der Zusammensetzung von PM₁₀ können Rückschlüsse auf die Herkunft und Ursache standortspezifischer Belastungen gezogen werden.

EC und OC
Tabelle 10: Kennwerte für EC und OC

Lage	Station	EC	OC
	Mittelungszeitraum	Jahresmittel in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Jahresmittel in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Stadttrand	Buch (MS535)	0,6	3,5
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MS517)	0,6	4,8
Straße	Berliner Allee 118 (MS501)	1,1	5,1
	Beusselstr. 66 (MS504)	0,9	4,9
	Potsdamer Str. 102 (MS505)	0,8	4,5
	Michael-Brückner-Str. 5 (MS507)	1,4	4,8
	Alt Friedrichsfelde 7a (MS514)	1,3	4,7
	Leipziger Str. 32 (MS525)	0,9	4,7
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,9	4,8
	Schildhornstr. 76 (MC117)	0,7	4,2
	Silbersteinstr. 1 (MC143)	1,1	5,2
	Kantstr. 117 (MS528)	0,7	4,6
	Hauptstr. 54 (MS530)	1,0	5,0
	Spandauer Damm 103 (MS531)	1,3	4,8
	Hermannstr. 120 (MS533)	1,1	6,0
	Alt Moabit 63 (MS537)	1,0	4,2
	Schloßstr. 29 (MS539)	0,8	4,5
	Tempelhofer Damm 148 (MS542)	0,9	4,3
	Sonnenallee 68 (MS545)	1,3	6,3
	Landsberger Allee 6-8 (MS547)	1,4	4,7
	Hermannplatz, Laterne 21 (MS555)	1,3	5,4
	Friedrichstr. 172 (MS562)	0,5	3,9
	Badstr. 67 (MS573)	1,3	5,3
	Klosterstr. 12, Spandau (MS576)	1,0	4,5
	Eichborndamm 23-25 (MS579)	0,8	4,2
Markgrafendamm 33 (MS581)	1,1	4,9	
Invalidenstraße 30 (MS582)	0,8	4,4	

Elementare und organische Kohlenstoffverbindungen (EC, OC) sind ein Bestandteil der atmosphärischen Partikel. Elementarer Kohlenstoff, der so genannte „Ruß“, ist ein guter Indikator für Verbrennungsprozesse und bildet an Straßenmessstellen sehr gut den Kfz-Verkehr ab. An der 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 (Health effects of black carbon, 2012). Zur Ermittlung der EC- und OC-Werte wird ein thermisch-optisches Verfahren nach dem Temperaturprofil EUSAAR2 und einer optischen Pyrolysekorrektur angewendet. Die Messung erfolgt in Anlehnung an die Norm DIN EN 16909, wobei die Reflexion als optische Korrektur verwendet wird.

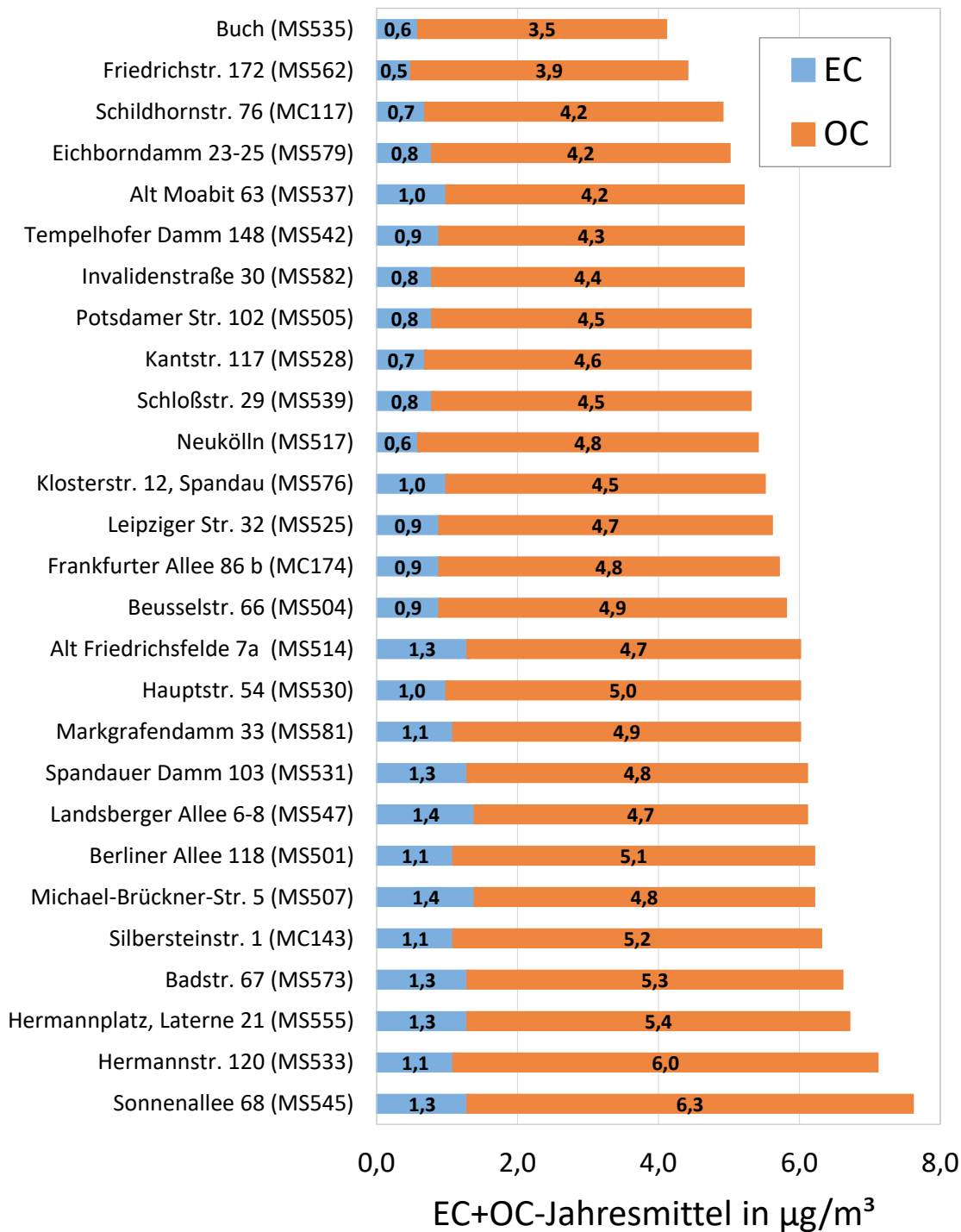


Abbildung 12: EC- und OC-Jahresmittelwerte aufsteigend nach ihrer Summe sortiert

Die Jahresmittelwerte der EC- und OC-Massenkonzentrationen sind in Tabelle 10 aufgeführt und in Abbildung 12 dargestellt. Die EC-Werte lagen am Stadtrand in Buch und im innerstädtischen Hintergrund in Neukölln bei 0,6 µg/m³, an der verkehrsberuhigten Friedrichstraße wurden mit 0,5 µg/m³ die niedrigsten EC-Werte im Stadtgebiet gemessen. An den Messpunkten an Hauptverkehrsstraßen ergaben sich Jahresmittel zwischen 0,6 und 1,4 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 3,5 µg/m³ bzw. 4,8 µg/m³ ermittelt. An den Hauptverkehrsstraßen lagen die Jahresmittelwerte zwischen 3,9 und 6,3 µg/m³. Die Schwankungen in den Jahresmittelwerten der einzelnen Stationen sind Ausdruck der verschiedenen natürlichen und anthropogenen Quellen organischer Kohlenstoffverbindungen. Im Vergleich zum Vorjahr ist die EC- und die OC-Belastung an Hauptverkehrsstraßen im Mittel nahezu konstant geblieben.

5.4 Kennwerte und Beurteilung der Belastung von Ozon

Tabelle 11: Kennwerte für Ozon

Lage	Station	JM	MAX_8H	N120_8h	N120_3J	N180	N240
		in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Stadttrand	Marienfelde (MC027)	52	158	11	23	0	0
	Grunewald (MC032)	46	156	9	19	0	0
	Buch (MC077)	43	153	5	10	0	0
	Friedrichshagen (MC085)	52	148	14	22	0	0
	Frohnau (MC145)	47	157	12	20	0	0
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	47	154	9	14	0	0
	Neukölln (MC042)	48	160	10	17	0	0
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	42	147	3	4	0	0

Erklärung:

JM	Jahresmittel
MAX_8H	Maximaler 8-Stunden-Mittelwert
N120_8h	Anzahl an Tagen, an denen MAX_8H den Zielwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten hat.
N120_3J	Mittelwert von N120_8h über die letzten 3 Kalenderjahre (Zielwert der 39. BImSchV sind 25 Tage/Jahr).
N180	Anzahl der 1-Stunden-Mittel, in denen die Informationsschwelle von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten wurde.
N240	Anzahl der 1-Stunden-Mittel, in denen die Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten wurde.

Rot: Der Zielwert wurde überschritten.

Tabelle 12: Kennwerte für AOT

Lage	Station	AOT40	AOT40_5
		in $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$	in $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$
Stadttrand	Marienfelde (MC027)	15.593	15.503
	Grunewald (MC032)	11.928	12.655
	Buch (MC077)	8.761	9.816
	Friedrichshagen (MC085)	14.431	15.241
	Frohnau (MC145)	11.742	12.345
Innerstädtischer Hintergrund	Wedding (MC010)	11.786	11.228
	Neukölln (MC042)	12.792	12.648
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	6.739	-

Erklärung:

AOT40	Summe der Ozon-Werte, die über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) liegen, addiert über die Monate Mai bis Juli zwischen 8:00 Uhr und 20:00 Uhr (Langfristiges Ziel zum Schutz der Vegetation: $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)
AOT40_5	AOT40 gemittelt über die letzten 5 Kalenderjahre (Zielwert ab 2010: $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$) Der Zielwert wurde eingehalten.

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 bodennahem Ozon ist damit eine reversible photochemische Reaktion und stark von der Jahreszeit abhängig. Da zur Bildung UV-Strahlung benötigt wird und bei höheren Temperaturen mehr VOCs von der Vegetation freigesetzt werden, die als Vorläuferstoffe fungieren, sind die Ozon-Konzentrationen im Sommer und besonders während sonnigen Schönwetterperioden am höchsten.

In Tabelle 11 sind die Ozon-Kennwerte für 2021 dargestellt. Die Jahresmittelwerte am Stadtrand lagen zwischen 43 und 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, die im innerstädtischen Hintergrund bei 47 und 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. An der Straßenmessstelle lag der Jahresmittelwert bei 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die höchsten Ozon-Konzentrationen werden im Allgemeinen in den Stadtrandgebieten gemessen, da dort der Abbau von Ozon durch geringe NO-Konzentrationen eingeschränkt ist. In Bereichen des innerstädtischen Hintergrunds und besonders an Straßen, ist verkehrsbedingt mehr NO zum Abbau von Ozon vorhanden. Deshalb sind die Konzentrationen in diesen Belastungsregimen entsprechend geringer als am Stadtrand. Hinzu kommt, dass besonders in den im Lee (der vom Wind abgewandten Seite) einer Stadt liegenden Gebiete, hohe Ozonkonzentrationen vorherrschen, da im Stadtgebiet gebildetes Ozon in diese Richtungen abtransportiert wird, dort zum Abbau dann jedoch das NO fehlt, welches vordergründig im Bereich der Innenstadt und besonders in verkehrsreichen Gebieten durch Verbrennungsprozesse gebildet wird. Wie in der Abbildung 5 dargestellt ist, waren in Berlin im Sommer 2021 Windrichtungen von West bis Nordwest sehr stark vertreten, so dass die Stationen in Friedrichshagen (MC085) und teils auch in Marienfelde (MC027), wie auch in den meisten anderen Jahren, im Mittel die höchste Ozon-Belastung aufwiesen.

Die maximalen 8-Stunden-Mittelwerte der einzelnen Stationen sind im Gegensatz zum Jahresmittelwert auf einzelne Ereignisse mit besonderen meteorologischen Bedingungen, meist die Tage mit den höchsten Temperaturen im Jahr, zurückzuführen. So wurden 2021 die maximalen 8-Stunden-Mittelwerte am wärmsten Tag des Jahres, dem 19. Juni, aufgezeichnet. Unüblicherweise wurde der höchste maximale 8-Stunden-Mittelwert mit 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im innerstädtischen Hintergrund in Neukölln (MC042) gemessen. Das kann dadurch erklärt werden, dass der 19. Juni ein Samstag war und somit auf Grund des geringen Verkehrs am Wochenende das zum Ozonabbau nötige NO gefehlt hat.

Der Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit für das maximale 8-Stunden-Mittel von Ozon eines Tages liegt bei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei 25 Überschreitungen im Jahr zugelassen sind. 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 Stadtrand-Stationen zwischen 10 und 23 lag (siehe Tabelle 11, Datenspalte 4). An allen Stationen wurde der Zielwert eingehalten.

Die Informationsschwelle von 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Alarmschwelle von 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden im Jahr 2021 nicht überschritten.

AOT

Der „Accumulated Ozone Exposure over a threshold of 40 ppb“ (AOT40) ist ein Maß, um die ökotoxikologische Wirkung von Ozon auf die Vegetation abschätzen zu können. Der AOT40 wird aus der kumulierten Differenz zwischen 1-Stundenwerten über 40 ppb und 40 ppb (das entspricht 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in Bodennähe ermittelt. Dabei wird nur der Zeitraum zwischen 8 und 20 Uhr (MEZ) berücksichtigt. Der über die letzten fünf Jahre gemittelte AOT40-Wert für Ozon (summiert über die Monate Mai bis Juli - AOT-P_5) lag zwischen etwa 9.800 und 15.500 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ und blieb damit auch an der höchst belasteten Messstation in Marienfelde (MC027) unter dem seit 2010 geltenden Zielwert zum Schutz der Vegetation von 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$.

Langzeittrend von Ozon

Der O_3 -Langzeittrend in Berlin ist in Abbildung 13 unter Anwendung der in Kapitel 5.1 erwähnten Differenzenmethode für die O_3 -Messungen am Stadtrand (grün) und im innerstädtischen Hintergrund (gelb) als Linie dargestellt. Die dem Modell zu Grunde liegenden O_3 -Jahresmittelwerte sind in der entsprechenden Farbe als Punkte dargestellt. An Straßen existieren nicht genug Messungen, um das Differenzenmodell anzuwenden. Die O_3 -Jahresmittelwerte vom MC174 sind als rote Punkte dargestellt.

In Abbildung 13 sind für die O_3 -Belastung im innerstädtischen Hintergrund und am Stadtrand unterschiedliche langjährige Entwicklungen zu erkennen. An dem Verlauf der letzten Jahre zeigt sich, dass sich die Ozon-Konzentrationen im innerstädtischen Hintergrund und an Straßen annähern. Im innerstädtischen Hintergrund stieg die Belastung seit Ende der 80er Jahre nahezu stetig an; eine Regressionsanalyse ergibt eine Zunahme von etwa 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr. Am Stadtrand kam es dagegen zu Beginn der 90er Jahre zu einer Abnahme und seitdem zu einer sehr geringen Zunahme von etwa 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr. Diesen langzeitlichen Entwicklungen sind Schwankungen infolge der Witterungssituation des jeweiligen Sommers (Temperaturen, Bewölkung) überlagert, so dass Sprünge in den Jahresmittelwerten von bis zu 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ von einem auf das nächste Jahr nicht unüblich sind. Auf Grund der meteorologischen Bedingungen im Jahr

Der **Zielwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit** für das maximale 8-Stunden-Mittel von Ozon eines Tages liegt bei 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, wobei 25 Überschreitungen im Mittel über drei Jahre zugelassen sind. Dieser Zielwert wurde an allen Stationen eingehalten. Die meisten Überschreitungen gab es mit 23 Tagen an der Messstation in Marienfelde (MC027).

Die **Informationsschwelle** für Ozon liegt bei 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Stundenmittel) und wurde im Jahr 2021 an keiner Messstation überschritten.

Die **Alarmschwelle** für Ozon liegt bei 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Stundenmittel). Dieser Wert wurde im Jahr 1994 letztmalig überschritten.

2018 und 2019 mit hohen Temperaturen und einer sehr hohen Sonneneinstrahlung war die mittlere Ozonbelastung im Vergleich zu den Vorjahren 2016 und 2017 erhöht. Auch 2020 lag in Hinblick auf die Jahreswerte für Temperatur und Sonnenscheindauer auf einem vergleichbaren Niveau zu 2018 und 2019, was sich jedoch nicht so wie in den beiden Vorjahren an den Ozon-Jahresmittelwerten widerspiegelt. Diese waren trotzdem, passend zum oben erwähnten ansteigenden Trend, im Jahr 2020 auf einem hohen Niveau. Witterungsbedingt hat der Jahresmittelwert 2021 für Ozon im Vergleich zu den Jahren 2018, 2019 abgenommen. Das Jahr 2021 war im Vergleich zu den drei Vorjahren kühler, die Sonne schien weniger und es fiel mehr Regen.

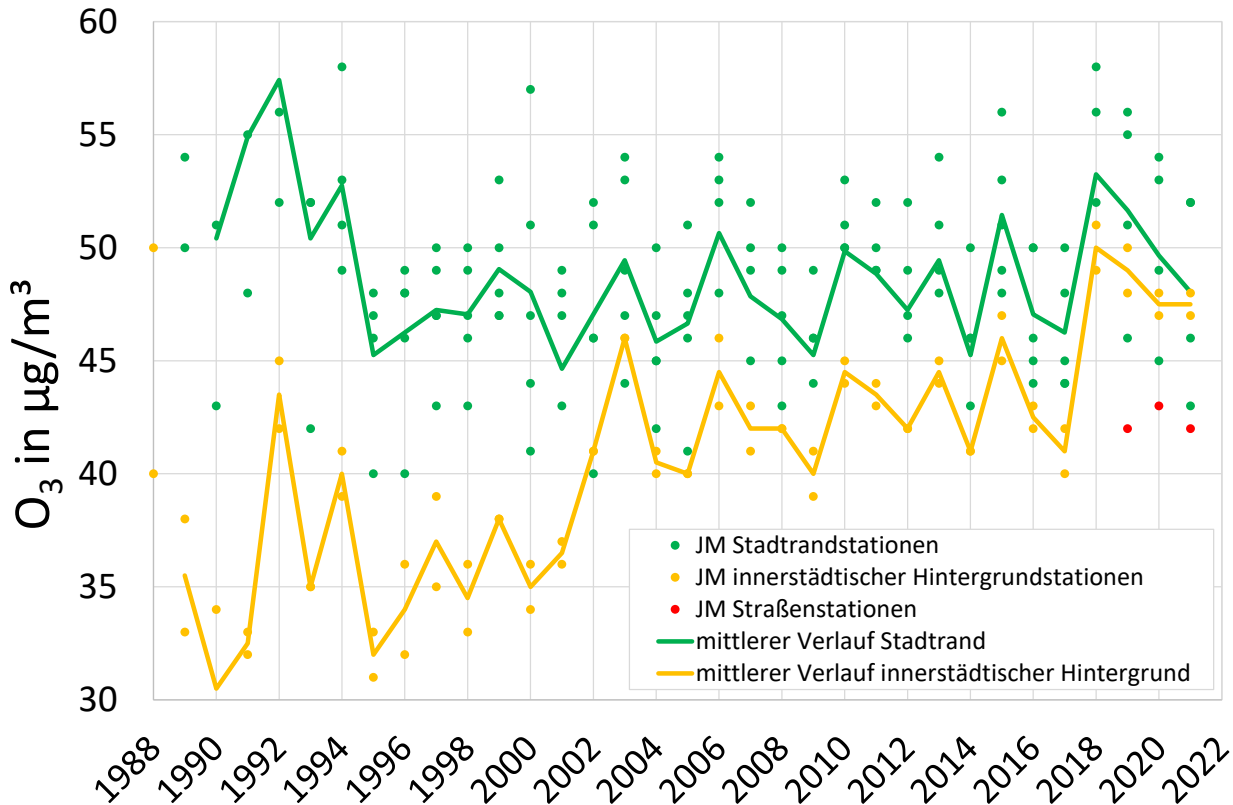


Abbildung 13: Entwicklung der O₃-Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messtationen am Stadtrand (grüne Punkte) im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung im innerstädtischen Hintergrund und am Stadtrand dar.

Kurzzeitige O₃-Belastungsspitzen sind gesundheitlich besonders relevant, da erhöhte Ozon-Konzentrationen zu Reizerscheinungen der Augen und Schleimhäute sowie Lungenschäden führen können. Deshalb wurden zum Zweck des Gesundheitsschutzes der Zielwert für das 8h-Mittel von 120 µg/m³ (N120_8h) sowie für das 1h-Mittel die Informationsschwelle von 180 µg/m³ und die Alarmschwelle von 240 µg/m³ festgelegt. Die Entwicklung dieser drei Kennwerte ist in Abbildung 14 zusammen mit der Entwicklung der Anzahl an Tagen mit einem Temperaturmaximum von über 30 °C (Hitzetag) dargestellt. Abbildung 14 lässt eine witterungsabhängige Variabilität der Anzahl der Überschreitungen der drei dargestellten Kenngrößen erkennen – in Jahren mit vielen Hitzetagen kam es auch zu hohen Überschreitungszahlen. Es ist jedoch auch zu erkennen, dass trotz des deutlichen Anstiegs an Hitzetagen in den vergangenen 30 Jahren die Anzahl der Überschreitung der Informations- und der Alarmschwelle abgenommen hat. So wurde beispielsweise in den Jahren 2018 und 2019 mit insgesamt 50 Hitzetagen die Informationsschwelle für Ozon nur viermal überschritten, während es 1994 und 1995 mit 37 Hitzetagen noch 11 bis 13-mal waren. Im Vergleich zu den 1990er Jahren wurde die Alarmschwelle seit Mitte der 1990er Jahre gar nicht mehr überschritten. Die Anzahl der Überschreitungen des Ozon-Zielwertes N120_8h zeigt in Relation zu der gestiegenen Anzahl an Hitzetagen ebenfalls einen abnehmenden Trend.

Als Grund für diese Entwicklung kann der in Kapitel 5.1 dargelegte abnehmende Trend der NO₂-Belastung herangezogen werden, so dass hohe Ozon-Spitzenkonzentrationen durch ein Fehlen von Vorläuferstoffen verhindert wurden. Zusätzlich kann auch die extreme Trockenheit in den Sommermonaten in 2018, 2019 und 2020 ein Grund für diese Beobachtung sein. Es wird diskutiert, dass die Emission von VOC durch die Vegetation auf Grund der Trockenheit und Dürrestress geringer gewesen sein könnte (Umweltbundesamt, Luftqualität 2018, 2019), wodurch die Spitzenbelastung von Ozon abgeschwächt wurde.

Auch deutschlandweit wurde eine Abnahme der Ozon-Spitzenkonzentrationen durch Minderungsmaßnahmen für Ozonvorläuferstoffe seit 1990 sowie eine schwache Zunahme der Jahresmittelwerte an städtischen Stationen beobachtet (Umweltbundesamt, Ozon-Belastung, 2018). Im ländlichen Hintergrund wurden bis Ende der 1990er Jahre eine deutschlandweite Zunahme und eine darauffolgende Stagnation der Ozon-Jahresmittelwerte registriert (Umweltbundesamt, Ozon-Belastung, 2018). Da auch die Berliner Stadtrandstationen im Fall von Ozon maßgeblich von städtischen Emissionen beeinflusst sind, hier besonders die im Lee der Stadt liegenden Stationen MC027 und MC085, passt der in Berlin im Mittel über alle Stationen festgestellte Anstieg der Jahresmittelwerte zum deutschlandweiten Trend.

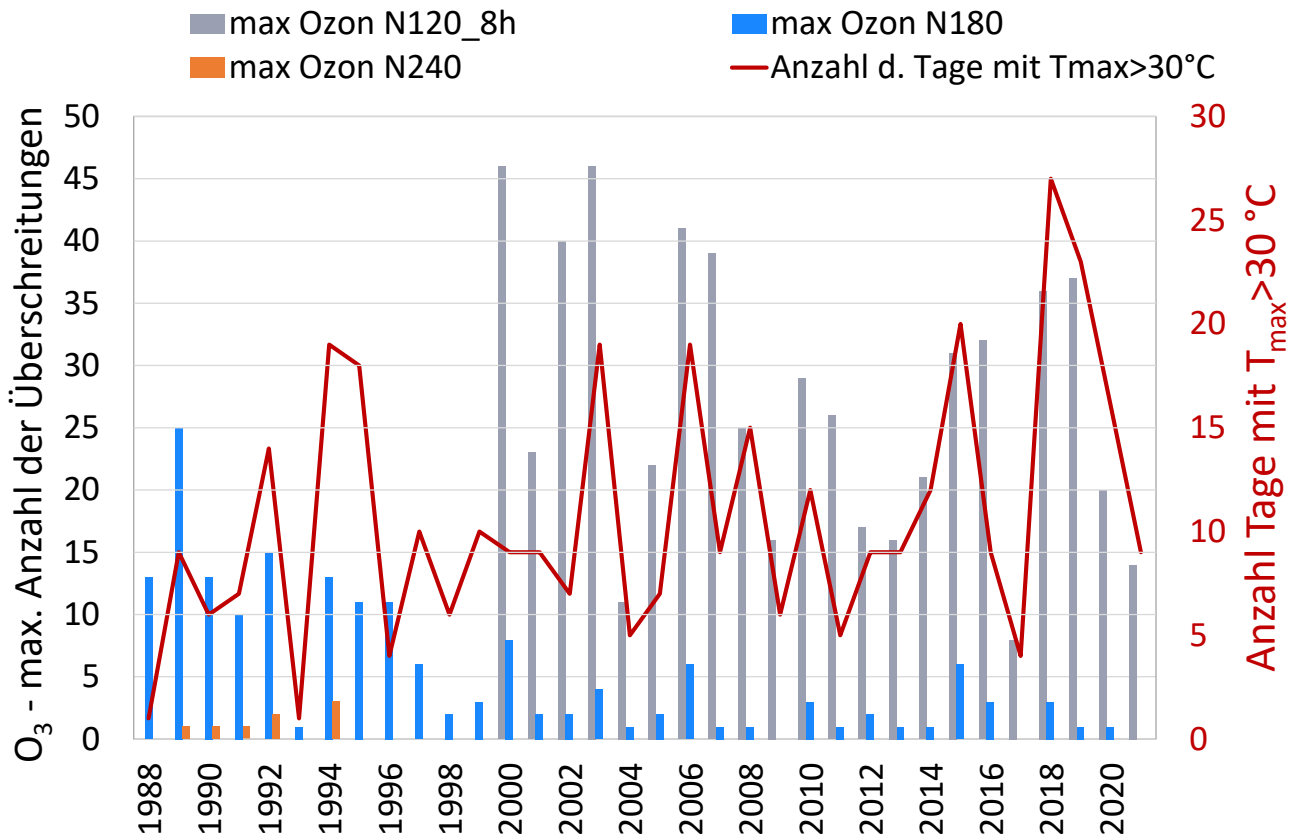


Abbildung 14: Dargestellt sind die maximale Anzahl der Überschreitungen des Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit (N120_8h, ab dem Jahr 2000, vorher keine Daten), der Informationsschwelle (N180) und der Alarmschwelle (N240) eines Kalenderjahres als Balken. Zusätzlich zeigt die Abbildung den Verlauf der Anzahl von Tagen eines Kalenderjahres mit einem Temperaturmaximum von über 30 °C als Linie.

5.5 Kennwerte und Beurteilung der Belastung für Kohlenstoffmonoxid und Benzol

Tabelle 13: Kennwerte für Kohlenstoffmonoxid

Lage	Station	Jahresmittel	Maximaler 8-Stundenwert
		in mg/m ³	in mg/m ³
Straße	Schildhornstr. 76 (MC117)	0,3	1,0
	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,3	1,5

Erklärung:

Der Grenzwert für den höchsten 8-Stundenmittelwert pro Tag beträgt 10 mg/m³.
Der Kurzzeit-Grenzwert wurde eingehalten.

Tabelle 14: Kennwerte für Benzol

Lage	Station	Jahresmittel
		in µg/m ³
Innerstädtischer Hintergrund	Neukölln (MC042)	0,8
Straße	Frankfurter Allee 86 b (MC174)	0,9

Erklärung:

Der Grenzwert für das Jahresmittel für Benzol beträgt 5 µg/m³ (39.BImSchV).
Der Grenzwert für Jahresmittel wurde eingehalten.

Kohlenstoffmonoxid und Benzol

Die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurden für Kohlenmonoxid und Benzol im Jahr 2021 weit unterschritten (siehe Tabelle 13 und Tabelle 14). Es kommt jedoch weiterhin vor, dass verhaltensbedingte Emissionen, wie beispielsweise Grillen, zu kurzzeitig lokal erhöhten CO-Belastungen führen. Die Benzol-Emissionen konnten erfolgreich durch die Verringerung des Benzolgehaltes in Kraftfahrzeugtreibstoffen und die „Gaspendingungen“ an Tankstellen reduziert werden. Bei der Gaspendingung wird bei der Verteilung von Ottokraftstoffen zurückströmendes Gas (Pendelgas) gereinigt und der Austritt von flüchtigen organischen Verbindungen reduziert.

5.6 Langzeittrend von Schwefeldioxid (SO₂)

Die Entwicklung der SO₂-Belastung in Berlin ist in Abbildung 15 für den Zeitraum von 1976 bis 2019 dargestellt. Die blau gestrichelte Linie beruht auf Daten, welche bis 2000 im Jahresbericht des BLUME (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, 2001) als SO₂-Gebietsmittel veröffentlicht wurden, jedoch nicht in digitaler Form vorliegen. Seit 1989 liegen die als Punkte dargestellten Jahresmittelwerte der einzelnen Messstationen in digitaler Form in der Datenbank des BLUME vor. Auf Grundlage dieser Daten wurde unter Anwendung der Differenzenmethode der mittlere Verlauf der SO₂-Entwicklung aller Messstationen (rote Linie) und der Messstationen des städtischen Raums (innerstädtischer Hintergrund und Verkehr, gelbe Linie) berechnet.

Die Luftbelastung ist durch die meisten direkt emittierten Schadstoffe in den letzten 20 Jahren stark gesunken. Beim Schwefeldioxid, das hauptsächlich aus Kraftwerken, Industrie und Kohleöfen stammte, ist dieser Rückgang am deutlichsten. Die Emissionen sind durch die Sanierung oder Stilllegung von Industrieanlagen und die Installation von Rauchgasentschwefelungsanlagen in Kraftwerken Ende der 1980er Jahre in West-Berlin und nach 1990 auch in den neuen Bundesländern und osteuropäischen Nachbarländern stark gesunken. Auch der fast vollständige Ersatz von Kohleheizungen durch Gasheizungen oder Fernwärme und der Einsatz von schwefelarmen Kraftstoff haben zur Verbesserung der Luftqualität beigetragen. Seit 2004 hat sich die Schwefeldioxidimmission im gesamten Stadtgebiet, sowohl in der Innenstadt als auch in den Außenbezirken auf Jahresmittelwerte zwischen 1-4 µg/m³ eingependelt. Damit ist die Konzentration von Schwefeldioxid im Vergleich zu 1989 um 96 % zurückgegangen.

Aufgrund des starken Rückgangs lagen die Konzentrationen auch für sehr empfindliche automatische Messgeräte in der Nähe der Nachweisgrenze. Daher wurde die letzte Messreihe für SO₂ an der Frankfurter Allee (MC174) im Juni 2020 eingestellt. Dieser Schritt ist laut 39. BImSchV zulässig, da die SO₂-Konzentrationen schon seit Jahren unter der unteren Beurteilungsschwelle lagen. Die SO₂-Belastung wird deshalb ab 2020 nicht mehr durch Messungen bestimmt, sondern mit Modellrechnungen oder Methoden der objektiven Schätzung. Es wird abgeschätzt, dass der SO₂-Jahresmittelwert in Berlin im Jahr 2021 maximal 2 µg/m³ betrug.

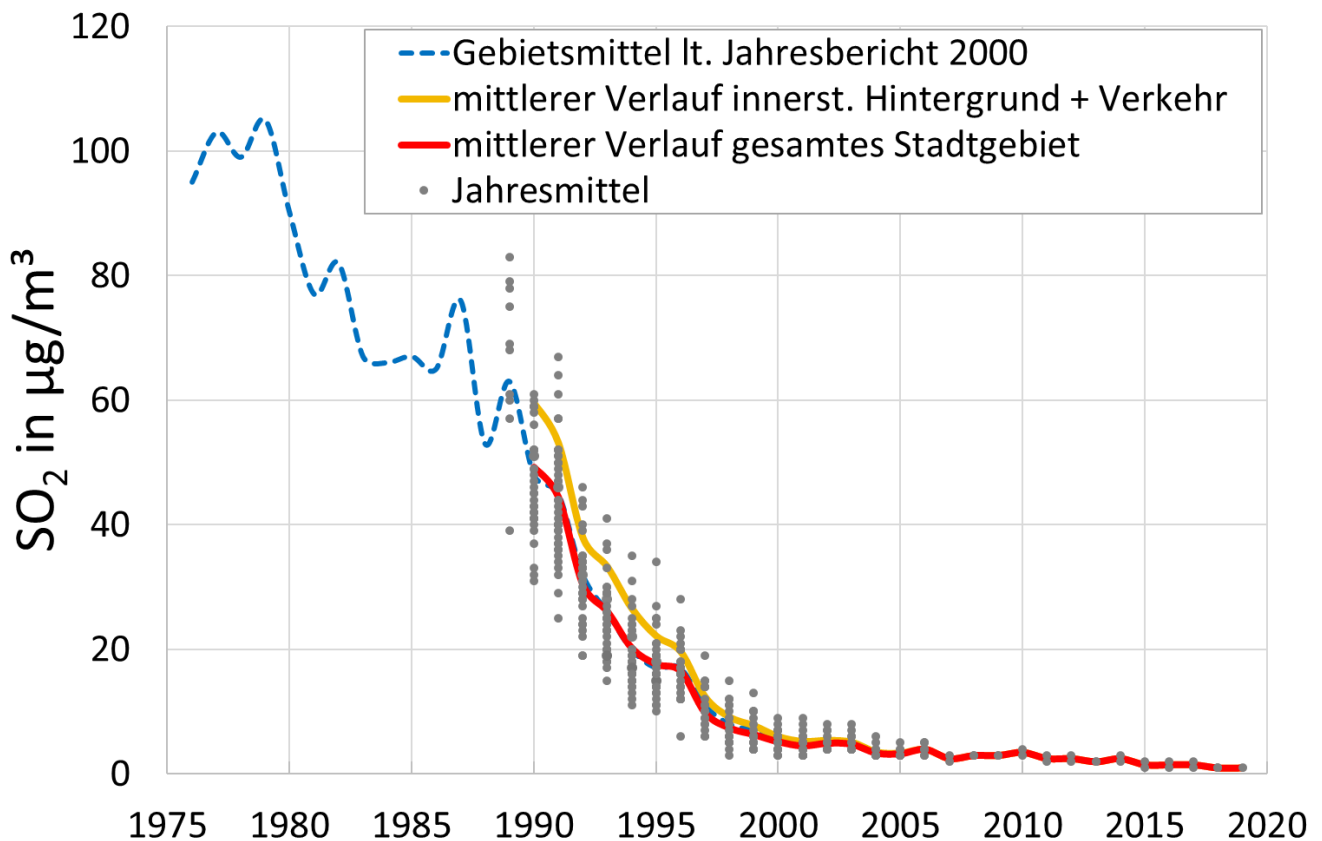


Abbildung 15: Entwicklung der SO₂-Belastung in Berlin zwischen 1976 und 2019. Dargestellt sind das dem Jahresbericht 2000 entnommene Gebietsmittel als blau gestrichelte Linie und die Jahresmittelwerte der einzelnen automatischen Stationen als graue Punkte. Auf Grundlage dieser Jahresmittelwerte wurden mit dem Differenzenmodell der mittlere Verlauf der SO₂-Belastung des gesamten Stadtgebietes und des innerstädtischen Gebietes (innerstädtischer Hintergrund und Verkehr) berechnet.

6 INHALTSSTOFFE VON PARTIKELN

So vielfältig wie die Quellen für Partikel in der Atmosphäre so vielfältig ist ihre stoffliche Zusammensetzung. Die Inhaltsstoffe spiegeln die Herkunft der Partikel wider und sind damit eine wichtige Grundlage für die Ursachenanalyse der Partikelbelastung. Sie spielen auch eine wichtige Rolle, um die gesundheitliche Relevanz der Partikelbelastung einschätzen zu können. Im folgenden Kapitel wird zunächst die Partikelzusammensetzung in Berlin im Jahr 2021 dargestellt. Beispielhaft wird die zeitliche Entwicklung von Partikelinhaltsstoffen gezeigt. In einem weiteren Abschnitt wird auf die Bestimmung von Ruß anhand automatischer Messungen eingegangen und es werden offene Fragen, die damit im Zusammenhang stehen, diskutiert.

6.1 Partikelinhaltsstoffe im Jahr 2021 und langjährige Entwicklung

Partikel können zum einen direkt als Primärpartikel in die Atmosphäre gelangen. Diese werden als feste oder flüssige Teilchen bei Verbrennungsprozessen oder durch mechanische Prozesse wie Abrieb und Aufwirbelung gebildet. Wichtige Quellen für Primärpartikel sind z.B. Dieselruß, Reifenabrieb, Baustellen oder durch Aufwirbelung durch Wind. Primärpartikel decken den gesamten Größenbereich ab, in dem Partikel in der Atmosphäre vorkommen. Dieser reicht von wenigen Nanometern bis zu etwa 100 Mikrometer (μm), wobei Teilchen mit Größen oberhalb von $30 \mu\text{m}$ durch Sedimentation sehr schnell wieder aus der Atmosphäre ausgeschieden werden.

Zusätzlich werden in der Atmosphäre aus gasförmigen Luftverunreinigungen wie Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffoxiden (NO_x), Ammoniak (NH_3) oder flüchtigen organischen Verbindungen sogenannte Sekundärpartikel wie Ammoniumsulfate oder Ammoniumnitrat gebildet.

Als Grundlage für die Beurteilung der Herkunft sowie die Planung und Wirkungsbewertung von Maßnahmen werden in Berlin regelmäßig die folgenden Inhaltsstoffe von Partikeln bestimmt:

- Als Indikator für Verbrennungsprozesse:
 - elementarer Kohlenstoff (EC)
 - organischer Kohlenstoff (OC) (stammt aber auch aus biogenen Quellen)
- Als Indikator für Aufwirbelung von mineralischen Stoffen (Sand, Erde, Straßenabrieb):
 - Calcium (Ca)
 - Kalium (K)
- Als Indikator für Seesalz (wird über den Meeren als sogenanntes Sea Spray freigesetzt)
 - Natrium (Na)
 - Chlorid (Cl)
 - Magnesium (Mg)
- Als Indikator für Sekundärpartikelbildung:
 - Ammonium (NH_4) (aus Ammoniak, überwiegend aus der Landwirtschaft)
 - Nitrat (NO_3) (aus Stickstoffoxiden, überwiegend aus Verkehr und Kraftwerken)
 - Sulfat (SO_4) (aus Schwefeldioxid, überwiegend aus der Kohleverbrennung in Kraftwerken)

Zur Bestimmung dieser Inhaltsstoffe von Partikeln werden für jeden dritten Tag im Jahr auf Filtern gesammelte Proben der Fraktionen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} an einer Verkehrsstation und einer Station im städtischen Hintergrund chemisch analysiert.

Die Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen die mittlere Zusammensetzung der Partikel der Größenfraktionen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} für das Jahr 2021 für eine Station im städtischen Hintergrund (MC042 in der Nansenstraße) und an einer Hauptverkehrsstraße (MC174 in der Frankfurter Allee). Zu beachten ist dabei, dass die Fraktion $\text{PM}_{2,5}$ d.h. die Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von $2,5 \mu\text{m}$ in der Fraktion PM_{10} enthalten sind, denn diese umfasst alle Partikel bis zu einem aerodynamischen Durchmesser von $10 \mu\text{m}$, also auch die kleinere $\text{PM}_{2,5}$ -Partikel.

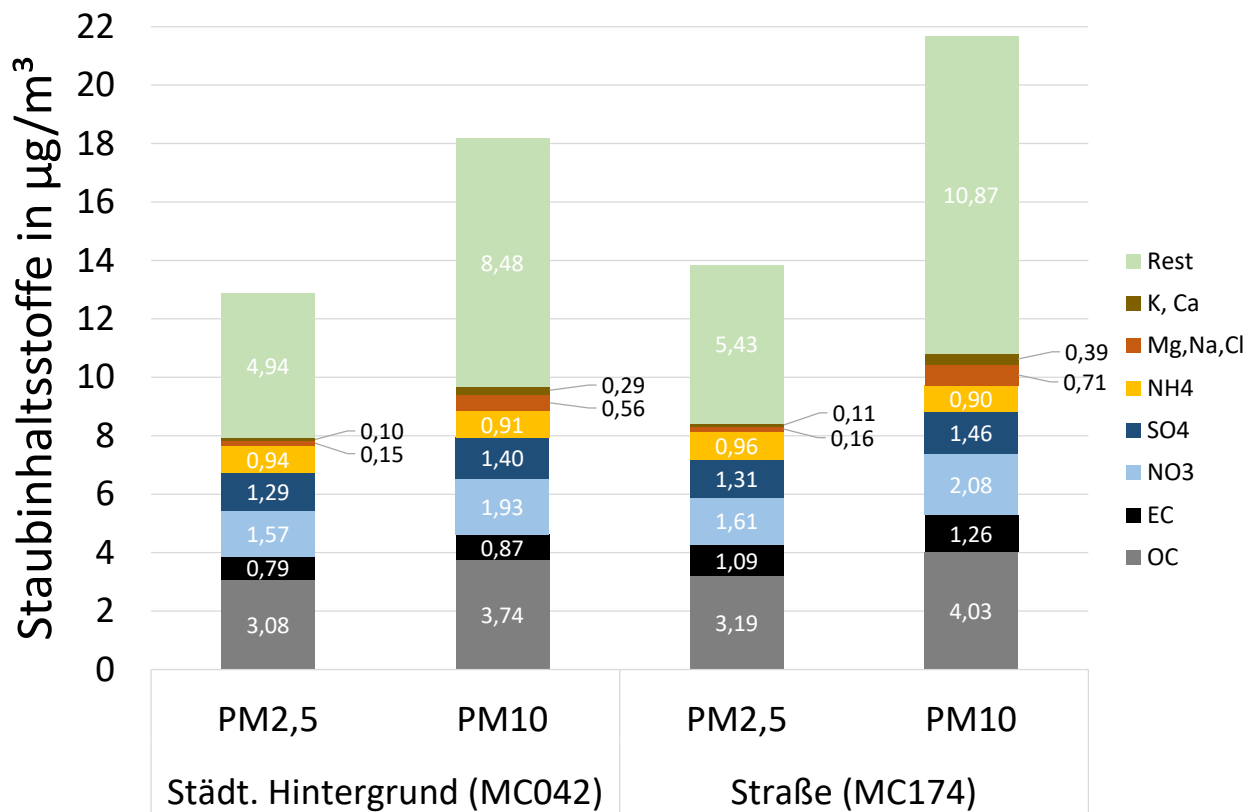


Abbildung 16: Mittlere Zusammensetzung der Partikelmassenkonzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] an den Stationen Berlin Neukölln (MC042, städtischer Hintergrund) und Frankfurter Allee (MC174, Hauptverkehrsstraße) für die Fraktionen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} im Jahr 2021

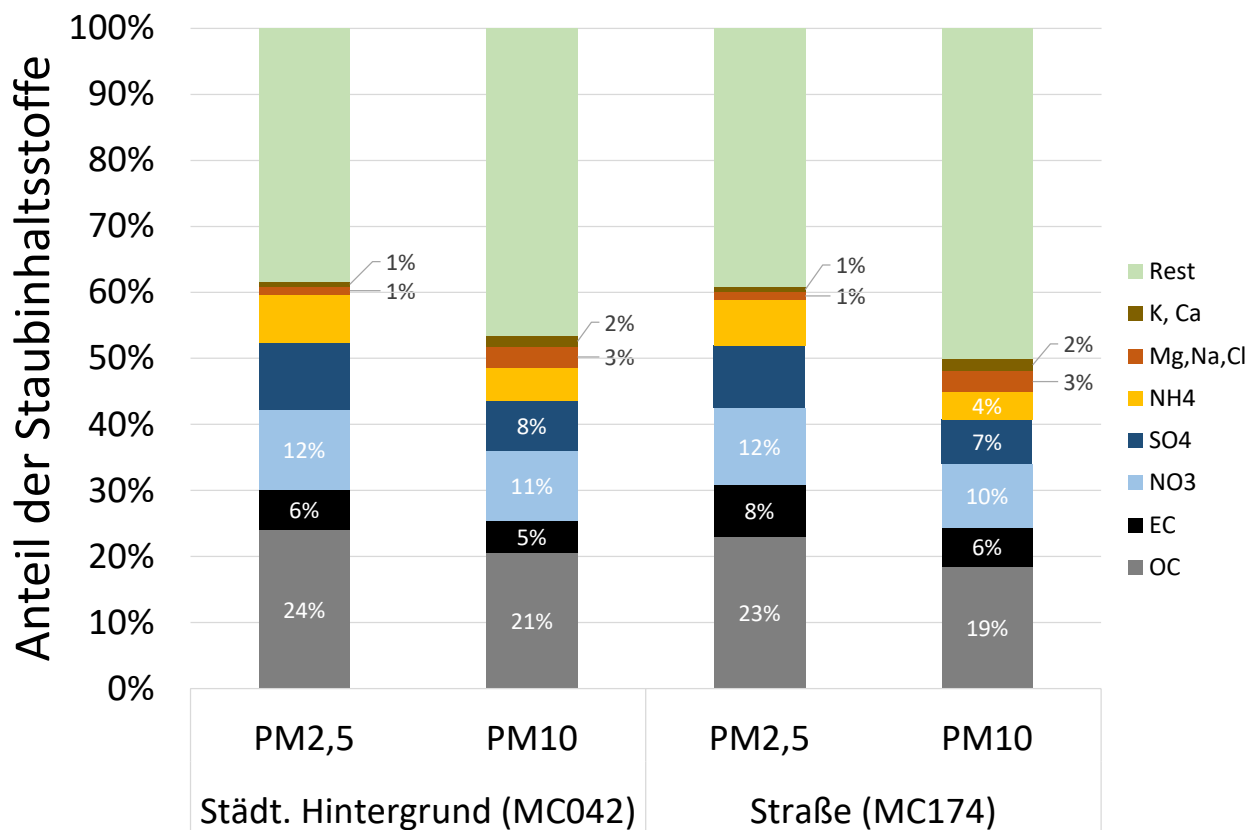


Abbildung 17: Mittlere Anteile der Staubinhaltsstoffe an der Partikelmassenkonzentration in Prozent an den Stationen Berlin Neukölln (MC042, städtischer Hintergrund) und an der Frankfurter Allee (MC174, Hauptverkehrsstraße) für die Fraktionen $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} im Jahr 2021

Mit den oben als Indikatoren genannten Stoffen lassen sich etwa 50 bis 60 % der Partikelmasse in der Atmosphäre erklären. Die in den Abbildungen als „Rest“ bezeichnete Partikelmasse umfasst u.a. chemisch gebundenes Wasser, chemisch gebunden Sauerstoff, Carbonate und Silikate sowie Eisen, Aluminium und Schwermetalle. Dieser Rest ist bei größeren Partikeln größer, wie der Vergleich zwischen der Zusammensetzung von $PM_{2,5}$ und PM_{10} zeigt. Dies deutet darauf hin, dass die Aufwirbelung von mineralischen Stoffen (Sand, Erde, Straßenabrieb) eine wichtige Quelle ist. Diese bestehen zu einem großen Anteil aus Silikaten und Carbonaten. Durch die Aufwirbelung von Straßenstaub entstehen eher gröbere Partikel, so dass der Rest-Anteil bei den PM_{10} -Partikeln und besonders an der Straße deutlich höher als bei Partikeln $PM_{2,5}$. Entsprechend ist auch der Beitrag von Calcium und Kalium in der PM_{10} -Fraktion höher.

Als weitere Primärpartikel tragen kohlenstoffhaltige Partikel durch organischen Kohlenstoff (OC) und elementaren Kohlenstoff (EC) etwa 25 % zur PM_{10} -Fraktion und ca. 30 % zur $PM_{2,5}$ -Fraktion bei. Da diese Partikel zu einem großen Teil aus Verbrennungsprozessen stammen, handelt es sich überwiegend um sehr kleine Partikel. Die Zusatzbelastung durch elementaren Kohlenstoff im $PM_{2,5}$ als Indikator für Dieselruß an der Straße (als Differenz zur Konzentration im städtischen Hintergrund) ist nach Einführung des Partikelfilters für Diesel-Fahrzeugen heute mit $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur noch gering. Vor 2010 war die Zusatzbelastung noch vier bis fünf Mal höher. Organische Verbindungen in den Partikeln stammen aus einer größeren Vielzahl von Quellen, u.a. tragen auch biogene Quellen wie Pollen zum OC-Gehalt von Partikeln bei. Auch das Gummi von Reifenabrieb findet sich bei den Analysen als OC in der Partikelmasse wieder. OC findet sich daher sowohl in sehr feinen als auch in gröberen Partikeln. Dies erklärt die etwa 20 bis 25 % höheren OC-Konzentrationen in der PM_{10} -Fraktion.

Neben den Primärpartikel sind sekundär gebildete Partikel ein bedeutsamer Bestandteil. Nitrat, Sulfat und Ammonium tragen im Mittel mit 20 bis 30 % zur Partikelmasse bei. Da diese Partikel über weite Strecken in der Atmosphäre transportiert werden, gibt es praktisch keine Unterschiede zwischen den Konzentrationen im dem städtischen Hintergrund und an Straßen. Die Partikel sind aufgrund ihre Entstehungsprozesse meist sehr klein und finden sich daher überwiegend in der $PM_{2,5}$ -Fraktion. Durch Adsorption an gröbere Partikel, z.B. Seesatz, und im geringen Maße über die Emission aus Düngemittlern oder Gips findet sich in der PM_{10} -Fraktion zusätzliches Nitrat und Sulfat. Für Ammonium wird kein zusätzlicher Beitrag im PM_{10} gegenüber $PM_{2,5}$ beobachtet.

Wie sich die Reduktion gasförmiger Vorläuferstoffe auf Partikelbestandteile auswirkt, zeigt beispielhaft die zeitliche Entwicklung von Nitrat in Abbildung 18, die einen sehr ähnlichen Verlauf wie die Entwicklung der NO_2 -Konzentrationen an Straßen in Abbildung 8 auf Seite 20 aufweist. Die Reduktion der Stickstoffoxidemissionen im Kfz-Verkehr wirkt sich damit zweifach positiv für den Gesundheitsschutz aus: Es konnte sowohl die Belastung durch gasförmiges Stickstoffdioxid als auch durch die Partikel gesenkt werden.

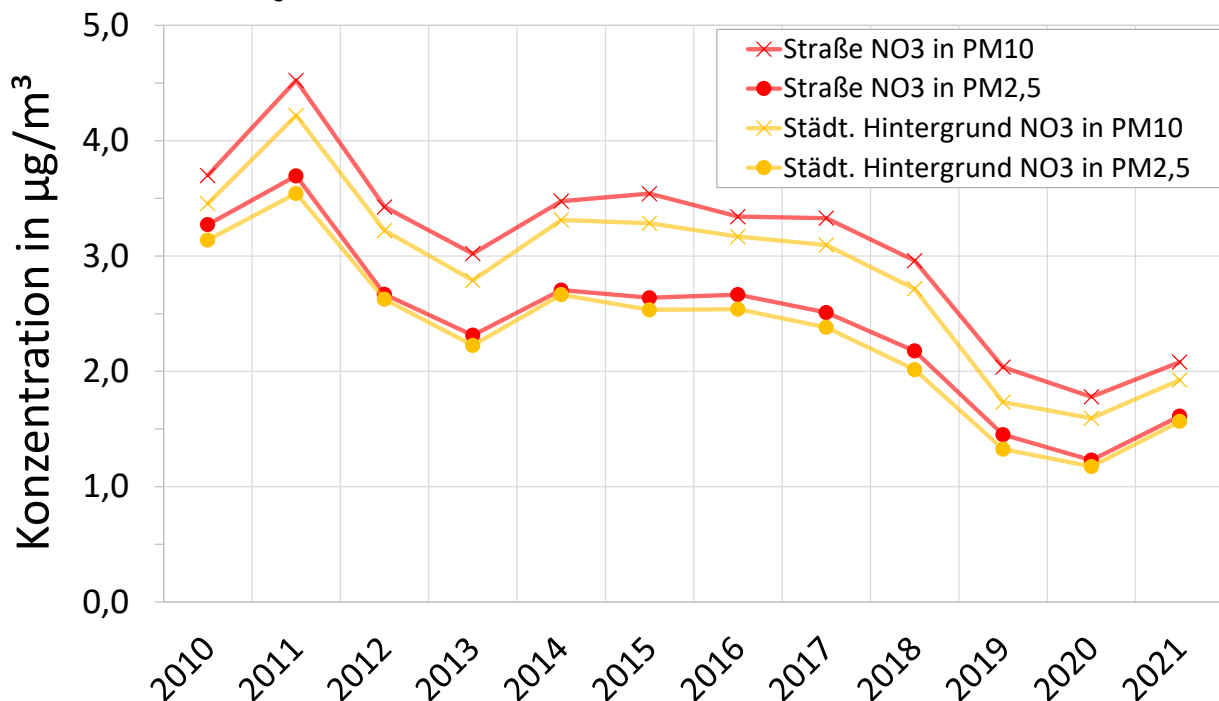


Abbildung 18: Zeitliche Entwicklung der partikelförmigen Nitratkonzentrationen in Berlin

6.2 Bestimmung von Ruß anhand von EBC-Messungen und offene Fragen

Das Berliner Luftgütemessnetz führt seit vielen Jahren umfangreiche Messungen von „Ruß“ durch. Es ist seit längerem bekannt, dass diese Komponente gesundheitsschädlich ist, wobei sie möglicherweise nicht als direkter Hauptfaktor fungiert, sondern als universeller Träger für eine Vielzahl von insbesondere aus der Verbrennung stammenden

chemischen Bestandteilen mit relevanter Toxizität für den menschlichen Körper (Health effects of black carbon, 2012). Eine allgemein akzeptierte Definition dieser Größe ist schwierig, da die erhaltenen Messergebnisse stark von der verwendeten Messmethodik abhängen. Inzwischen hat sich als normative Grundlage die DIN EN 16909 aus dem Jahr 2017 etabliert, nach welcher Partikelproben im thermisch-optischen Laborverfahren analysiert werden. Die so ermittelte „Ruß“-Konzentration wird über den Gehalt an elementarem Kohlenstoff (EC) abgebildet. Die o.g. Norm wurde jedoch nur für PM_{2,5}-Proben und vorwiegend an Hintergrundstandorten validiert. Der Anwendungsbereich ist somit eingeschränkt. Im Rahmen der europäischen Arbeitsgruppe CEN/TC 264/WG 35 wird derzeit eine Erweiterung der Norm auf Standorte in anderen Belastungsregimen und auf PM₁₀-Proben geprüft.

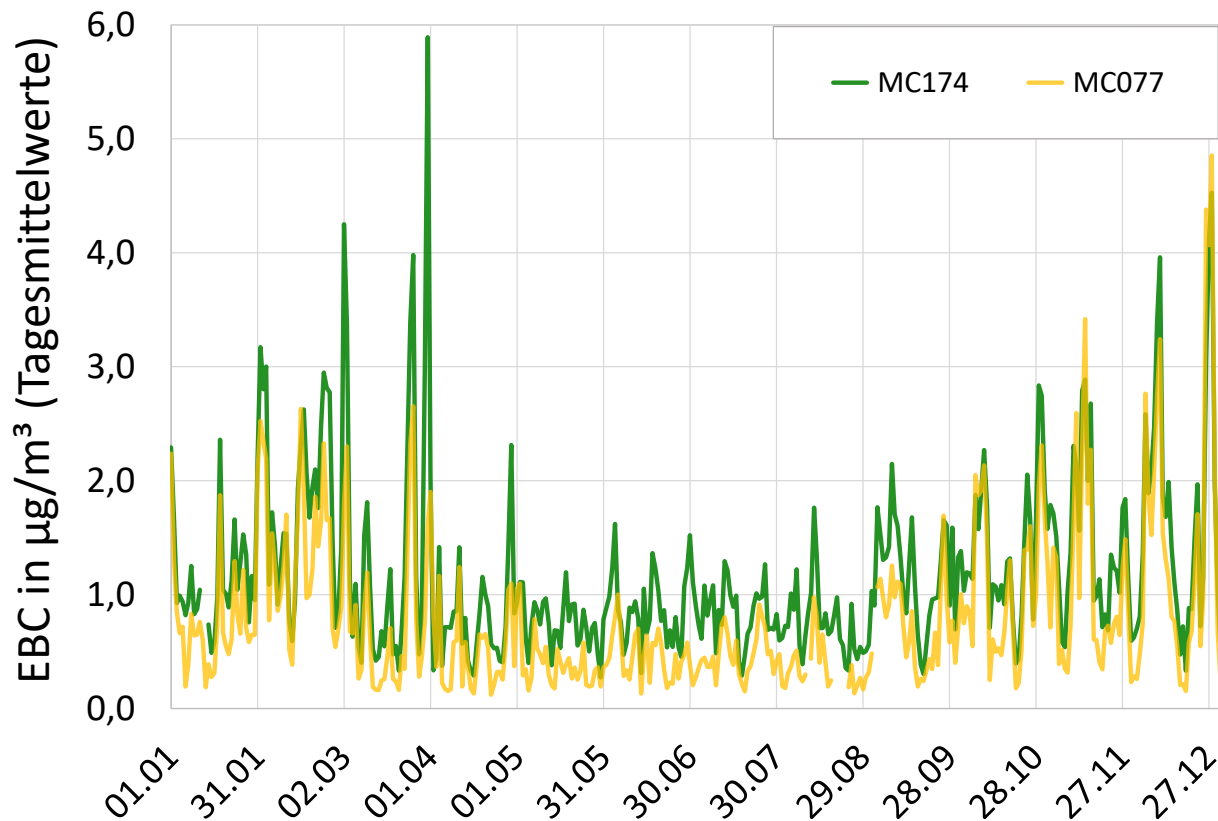


Abbildung 19: Tagesmittelwerte der EBC-Konzentrationen an zwei Messstellen im Jahr 2021

EC-Werte werden im Berliner Luftgütemessnetz mit Hilfe von Ruß- und Benzol Immissionssammlern (siehe Kapitel 2) an 23 Standorten im Berliner Stadtgebiet (siehe Kapitel 5) bestimmt. Zusätzlich erfolgt die Ermittlung an zwei Messstationen auf Basis einer täglichen Beprobung, wobei hier aus Effizienzgründen jeder dritte Tag einer EC-Analyse zugeführt wird. Die Ermittlung dieser EC-Werte ist aufwendig, da zunächst eine Filterprobe generiert und diese dann im Labor analysiert werden muss. Die Daten liegen dadurch erst mit einem gewissen zeitlichen Versatz vor. Das Berliner Luftgütemessnetz betreibt deshalb zusätzlich Multiwellenlängen-Aethalometer, die über optische Absorptionsmessungen bei multiplen Wellenlängen den sogenannten äquivalenten schwarzen Kohlenstoff (EBC = equivalent black carbon) direkt und zeitlich hoch aufgelöst ermitteln. In Abbildung 19 sind die Verläufe der Tagesmittelwerte im Jahr 2021 an der Verkehrsmessstation MC174 und der Messstation MC077 am Stadtrand dargestellt, wobei die allgemein akzeptierte Wellenlänge 880 nm zur Quantifizierung verwendet wurde. In Tabelle 15 findet sich eine Übersicht der Jahresdaten an allen im Jahr 2021 betriebenen Messstationen.

Tabelle 15: EBC-Jahresauswertung 2021 an vier Messstationen auf Basis von Tageswerten

Lage	Verkehr	Städt. Hintergrund		Stadtrand
	MC174	MC042	MC010	MC077
EBC-Jahresmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	1,2	0,8	0,7	0,8
Maximum EBC-Tagesmittel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	5,9	4,2	3,0	4,9
Mittlerer Anteil von EBC an PM10 [%]	5,1	4,6	4,4	4,4
Datenverfügbarkeit [%]	99,5	98,4	99,2	98,1

Die EBC-Konzentrationen an der Verkehrsstation MC174 lagen nahezu über das gesamte Jahr über denen an der Stadtrandstation MC077. Der Einfluss des Straßenverkehrs wurde also durch die Messungen sehr schlüssig abgebildet. Diese lokale Komponente der EBC-Belastung kann, im Gegensatz zu den auch durch Ferntransport beeinflussten PM-Konzentrationen, für kleinräumige Auswertungen genutzt werden. So konnte u.a. nachgewiesen werden, dass infolge des Corona-Lockdowns und des einhergehenden verringerten Kfz-Verkehrs ein relevanter Anteil von EBC aus dem Straßenverkehr reduziert wurde (Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz, 2020). Die in Tabelle 15 dargestellten Parameter lassen auf eine ähnliche EBC-Belastung an städtischen Hintergrundstationen sowie an der Stadtrandstation schließen, was bemerkenswert ist, da am Stadtrand ein höherer Beitrag durch Einzelöfen unterstellt werden kann. Die Tatsache, dass in den Übergangs- und Wintermonaten an der Stadtrandmessstation MC077 höhere EBC-Werte erfasst wurden, bestätigt jedoch, dass hier weitere EBC-Quellen, wie Holzverbrennung in den Vordergrund rücken. So wurde das maximale EBC-Tagesmittel an der Messstation MC077 am 28.12.2021 ermittelt. Bei der Betrachtung von Jahresmittelwerten scheint dieser Effekt durch die geringeren Verkehrsbeiträge jedoch kaum sichtbar zu sein. Die in den Übergangs- und Wintermonaten teils gleichhohen EBC-Konzentrationen an den beiden sehr unterschiedlich geprägten Messstationen MC174 und MC077 unterstützen die bisherigen Beobachtungen, dass es sich bei der Quelle Holzverbrennung um eine über dem Stadtgebiet eher gleichverteilte Komponente handelt. Im Rahmen der Holzverbrennungsquantifizierung spielen jedoch auch organische Partikelbestandteile eine entscheidende Rolle. Um den Beitrag der Holzverbrennung zu PM_{10} -Konzentrationen abschätzen zu können, wurden die multiplen Wellenlängen-Messungen der Aethalometer genutzt, da verschiedene Quellen in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen unterschiedlich stark Licht absorbieren und somit eine messtechnische Differenzierung ermöglicht wird (Clemen, et al., 2018). Auf Grundlage dieser Messungen wurden in den Jahren 2017 bis 2019 auch Holzverbrennungsanteile in den Jahresberichten des Berliner Luftgütemessnetzes veröffentlicht. Es zeigte sich dabei, dass die Holzverbrennung einen relevanten Beitrag zu den PM_{10} -Konzentrationen liefert, der im Mittel einen Anteil von etwa 12 % an den PM_{10} -Konzentrationen (Überschreitungstage) ausmacht. Es ist dabei zu erwähnen, dass dieser Anteil trotz sinkender PM_{10} -Konzentrationen relativ gleichbleibend ist, was die Tatsache unterstreicht, dass Holzverbrennung eine zunehmend relevantere Quelle für Partikelbelastungen darstellt. Es gibt zudem Hinweise darauf, dass diese Quellenteile neben dem Beitrag zu PM_{10} auch weitere toxikologisch relevante Auswirkungen haben und beispielsweise oxidativen Stress im Körper fördern könnten.

Die umfangreiche Datenbasis, die das Berliner Luftgütemessnetz besitzt, stellt eine außergewöhnlich gute Ausgangsposition dar, um Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Berliner Bevölkerung abzuleiten. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Ermittlung der Parameter EC und EBC aufwendig ist und eine umfassende Strategie erfordert. Es existieren weiterhin offene Fragen zur Messmethodik, die in einschlägigen Normungsgremium adressiert werden müssen. Hierzu zählen:

- Prüfung der Ausweitung der DIN EN 16909 für EC-Messungen auf PM_{10} und einen höheren Messbereich: In Ermangelung dieser abschließenden Prüfung verwendet das Berliner Luftgütemessnetz abweichend zur DIN EN 16909 eine Pyrolysekorrektur per Reflexion (TOR-Verfahren). In der DIN EN 16909 wird die Pyrolysekorrektur per Transmission (TOT-Verfahren) normiert. Das Temperaturprofil (EUSAAR2-Protokoll) ist bei beiden Verfahren gleich. Die Messdaten beider Verfahren werden aufgezeichnet und stehen somit für vergleichende Auswertungen zur Verfügung.
- Festlegung einer Kalibrierstrategie für die optischen EBC-Messungen: In Ermangelung einer entsprechenden Normierung und/oder Handlungsempfehlung wird der herstellseitig implementierte Kalibrierfaktor für die EBC-Quantifizierung verwendet. Auswertungen des Berliner Luftgütemessnetzes zeigen, dass dieser eine gute Vergleichbarkeit zum TOR-Verfahren ergibt, weshalb ein konsistenter Datensatz generiert wurde (Clemen & Kaupp, 2018). Zur Anpassung an das in der o.g. Norm festgelegte TOT-Verfahren müssten umfangreiche quantitative Anpassungen erfolgen, da diese Umrechnungsfaktoren dynamisch und standortspezifisch sind.

BEGRIFFSBESTIMMUNGEN UND ABKÜRZUNGEN

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/m ³ (=40 ppb) als 1-Stunden-Mittelwert und 80 µg/m ³ während einer gegebenen Zeitspanne unter ausschließlicher Verwendung der 1-Stunden-Mittelwerte zwischen 8 und 20 Uhr (MEZ) an jedem Tag (ausgedrückt in (µg/m ³)*Stunden)
BlmSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BlmSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BLUME	Berliner Luftgütemessnetz
Chemolumineszenz	Verfahren zur Messung von Stickstoffoxiden, das auf der Lichtemission bei der Reaktion von Stickstoffmonoxid mit Ozon zu Stickstoffdioxid und Sauerstoff beruht
EBC	äquivalenter schwarzer Kohlenstoff (equivalent black carbon)
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.
JM	Jahresmittelwert
Klimamittel	Mittelwert eines meteorologischen Parameters über einen Zeitraum von 30 Jahren
MC	Messcontainer
MS	Messstelle
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. Als Leitkomponente wird Benzo(a)Pyren verwendet.
PM ₁₀ , PM _{2,5}	Massenkonzentration von Partikeln der Fraktion mit aerodynamischen Durchmessern kleiner oder gleich 10 bzw. 2,5 µm. (PM = particulate matter)
PS	Passivsammler
SM	Schwermetalle
Stickstoffoxide	Stickstoffoxide (NO _x) 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.....	9
Abbildung 2:	Temperaturverlauf der Tages- und Monatsmittelwerte (oben) sowie die Abweichung der Monatsmittelwerte vom Klimamittel (1991-2020, unten) im Jahr 2021 in Berlin-Dahlem.	13
Abbildung 3:	Monatliche Sonnenstundenanzahl im Jahr 2021 und im Monatsmittel von 1991 bis 2020 für Berlin-Dahlem.....	13
Abbildung 4:	Monatlicher Gesamtniederschlag im Jahr 2021 und im Monatsmittel von 1991-2020 für Berlin-Dahlem.	14
Abbildung 5:	Windrichtungsverteilung für die warme Jahreszeit (April bis September), die kalte Jahreszeit (Januar, Februar, März, Oktober, November und Dezember) und das gesamte Jahr 2021 sowie für das gesamte Jahr nur unter Berücksichtigung von Schwachwindwetterlagen mit einer Windgeschwindigkeit (WG) geringer als 3 m/s. Zur Einordnung ist in grau die Windrichtungsverteilung für den Mittelungszeitraum zwischen 2002 und 2020 in Berlin-Dahlem dargestellt.....	15
Abbildung 6:	NO ₂ -Jahresmittelwerte aufsteigend sortiert. An die EU zur Beurteilung der Luftgüte gemeldete Passivsammler sind durch * gekennzeichnet.	18
Abbildung 7:	Entwicklung der NO ₂ -Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte (JM) der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die einzelnen Jahresmittelwerte der acht zur Beurteilung der Luftgüte an die EU übermittelten Passivsammler (PS) sind als schwarze Punkte dargestellt. Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen und der Passivsammlerdaten dar.	19
Abbildung 8:	NO ₂ -Zeitreihen der Jahresmittelwerte (JM) der einzelnen Straßenstationen	20
Abbildung 9:	NO _x -Jahresmittelwerte aufsteigend sortiert. Wurde der kritische Wert für den Vegetationsschutz an einer Station überschritten, wird der Wert rechts neben dem Balken rot dargestellt.	22
Abbildung 10:	Entwicklung der PM ₁₀ -Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen dar. Zusätzlich ist jeweils die maximale Anzahl an jährlichen Überschreitungen des PM ₁₀ -Tagesmittels von 50 µg/m ³ als Balken dargestellt.	24
Abbildung 11:	Entwicklung der PM _{2,5} -Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte), im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung in den drei Belastungsregimen dar. Die Verläufe der gravimetrischen Messungen am MC174, MC042 und MC077 sind als dunkelrote, orange und dunkelgrüne gestrichelte Linie dargestellt.....	26
Abbildung 12:	EC- und OC-Jahresmittelwerte aufsteigend nach ihrer Summe sortiert.....	30
Abbildung 13:	Entwicklung der O ₃ -Belastung in Berlin auf Grundlage der Jahresmittelwerte der automatischen Messstationen am Stadtrand (grüne Punkte) im innerstädtischen Hintergrund (gelbe Punkte) und an Straßen (rote Punkte). Die auf Grundlage der jährlichen Differenzen gebildeten Linien stellen den mittleren Verlauf der Belastung im innerstädtischen Hintergrund und am Stadtrand dar.	33

Abbildung 14:	Dargestellt sind die maximale Anzahl der Überschreitungen des Zielwertes zum Schutz der menschlichen Gesundheit (N120_8h, ab dem Jahr 2000, vorher keine Daten), der Informationsschwelle (N180) und der Alarmschwelle (N240) eines Kalenderjahres als Balken. Zusätzlich zeigt die Abbildung den Verlauf der Anzahl von Tagen eines Kalenderjahres mit einem Temperaturmaximum von über 30 °C als Linie.	34
Abbildung 15:	Entwicklung der SO ₂ -Belastung in Berlin zwischen 1976 und 2019. Dargestellt sind das dem Jahresbericht 2000 entnommene Gebietsmittel als blau gestrichelte Linie und die Jahresmittelwerte der einzelnen automatischen Stationen als graue Punkte. Auf Grundlage dieser Jahresmittelwerte wurden mit dem Differenzenmodell der mittlere Verlauf der SO ₂ -Belastung des gesamten Stadtgebiets und des innerstädtischen Gebietes (innerstädtischer Hintergrund und Verkehr) berechnet.....	36
Abbildung 16:	Mittlere Zusammensetzung der Partikelmassenkonzentration [µg/m ³] an den Stationen Berlin Neukölln (MC042, städtischer Hintergrund) und Frankfurter Allee (MC174, Hauptverkehrsstraße) für die Fraktionen PM _{2,5} und PM ₁₀ im Jahr 2021	38
Abbildung 17:	Mittlere Anteile der Staubinhaltsstoffe an der Partikelmassenkonzentration in Prozent an den Stationen Berlin Neukölln (MC042, städtischer Hintergrund) und an der Frankfurter Allee (MC174, Hauptverkehrsstraße) für die Fraktionen PM _{2,5} und PM ₁₀ im Jahr 2021.....	38
Abbildung 18:	Zeitliche Entwicklung der partikelförmigen Nitratkonzentrationen in Berlin	39
Abbildung 19:	Tagesmittelwerte der EBC-Konzentrationen an zwei Messstellen im Jahr 2021	40

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Standorte der Luftgütemesscontainer und gemessene Komponenten (Stand 07/2021)	6
Tabelle 2:	RUBIS- und Passivsammlerstandorte (Stand Dezember 2021)	8
Tabelle 3:	Immissionswerte für Luftverunreinigungen nach der 39. BImSchV	10
Tabelle 4:	Datenverfügbarkeit im Jahr 2021	11
Tabelle 5:	Kennwerte für Stickstoffdioxid, Stickstoffmonoxid und Summe der Stickstoffoxide	16
Tabelle 6:	Kennwerte für PM ₁₀ und PM _{2,5}	23
Tabelle 7:	Mittelwert über alle AEI-Stationen in Deutschland (national) (Luftqualität 2021 - Vorläufige Auswertung, 2022) und Mittelwerte der Berliner AEI-Stationen (ab 2010)	25
Tabelle 8:	Kennwerte für Benzen(a)pyren (BaP) in PM ₁₀	28
Tabelle 9:	Kennwerte für die Schwermetalle Arsen, Cadmium, Nickel und Blei in PM ₁₀	28
Tabelle 10:	Kennwerte für EC und OC	29
Tabelle 11:	Kennwerte für Ozon	31
Tabelle 12:	Kennwerte für AOT	31
Tabelle 13:	Kennwerte für Kohlenstoffmonoxid	35
Tabelle 14:	Kennwerte für Benzol	35
Tabelle 15:	EBC-Jahresauswertung 2021 an vier Messstationen auf Basis von Tageswerten	41

LITERATURVERZEICHNIS

- Berliner Verkehrsbetriebe. (2022). *Geschäftsbericht 2021*. Abgerufen am 22. 11. 2022 von <https://unternehmen.bvg.de/wp-content/uploads/2022/07/BVG-Geschäftsbericht-2021.pdf>
- BfR. (2014). *Analyse des quantitativen Einflusses der Holzverbrennung auf die Feinstaubkonzentration in Berlin und Brandenburg anhand des Tracers Levoglucosan*. Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). Von https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/luft/luftreinhaltung/projekte-zum-luftreinhaltplan/abschlussbericht_holzverbrennung.pdf abgerufen
- Clemen, S., & Kaupp, H. (2018). Zwei Jahrzehnte Rußmessungen im Berliner Luftgütemessnetz. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 78 (2018) Nr. 3*. Von https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/luft/luftqualitaet/clemenkaupp2018_russ-berlin_gefahrstoffe_03_2018_x170.pdf abgerufen
- Clemen, S., Tang, C.-L., Kerschbaumer, A., Rauterberg-Wulff, A., Grunow, K., & Kaupp, H. (2018). Quantifizierung des Holzverbrennungsbeitrages zu PM10 in Berlin mit einem automatischen Messverfahren. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 78 (2018) Nr. 5*. Von https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/luft/luftqualitaet/holzverbrennung-berlin_gefahrstoffe_05_2018_x888-clemen.pdf abgerufen
- Deutscher Wetterdienst. (30. 12 2021). *Deutschlandwetter im Jahr 2021*. Abgerufen am 27. 12. 2022 von https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2021/20211230_deutschlandwetter_jahr2021_news.html
- DIN EN 16909:2017-06. (2017). *Außenluft - Messung von auf Filtern gesammeltem elementarem Kohlenstoff (EC) und organisch gebundenem Kohlenstoff (OC)*. Berlin: Beuth-Verlag.
- Europäische Kommission. (2004). *MEMO/04/86: Erweiterung und Umwelt - Fragen und Antworten*. Abgerufen am 15. 10. 2020 von https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/MEMO_04_86
- Janssen, N., Gerlofs-Nijland, M., Lanki, T., Salonen, R., Cassee, F., Hoek, G., . . . Krzyzanowski, M. (2012). *Health effects of black carbon*. Regional Office for Europe: World Health Organisation. Von <https://apps.who.int/iris/handle/10665/352615> abgerufen
- Krafftahrt-Bundesamt (Hrsg.). (2022). Abgerufen am 22. 11. 2022 von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Jahresbilanz_Neuzulassungen/jahresbilanz_node.html?yearFilter=2021
- Schmidtke, J., & Schmidt, K. (2018). *Ableitung sicherer Tendaussagen zur Entwicklung der Luftqualität in Deutschland - Abschlussbericht*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz. (2011). *Umweltzone Berlin Untersuchungen zur Wirkung der Stufe 2*. Abgerufen am 20. 08. 2022 von https://www.berlin.de/senuvk/umwelt/luftqualitaet/umweltzone/download/umweltzone_wirkungsanalyse_stufe2.pdf
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung. (2001). *Luftgütemessdaten 2000*. Berliner Luftgütemessnetz. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. (2013). *Luftreinhaltplan 2011 bis 2017 für Berlin*. Referat Immissionsschutz. Berlin: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt. Von https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/luft/luftreinhaltung/archiv/luftreinhaltplan_berlin_2011-2017.pdf abgerufen
- Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz. (19. 05. 2020). Ist die Luft wegen der Corona-Beschränkungen besser geworden? Abgerufen am 22. 11. 2022 von <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/weitere-meldungen/2020/ist-die-luft-wegen-der-corona-beschaenkungen-besser-geworden-929793.php>
- Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz. (03. 05. 2022). *Pressemitteilung: Autofreie Friedrichstraße: Der Fußverkehr erhält den Vorrang*. Abgerufen am 22. 11. 2022 von <https://www.berlin.de/sen/uvk/presse/pressemitteilungen/2022/pressemitteilung.1202275.php>
- Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz. (kein Datum). *Umweltgerechtigkeit*. Abgerufen am 22. 11. 2022 von <https://www.berlin.de/sen/uvk/umwelt/nachhaltigkeit/umweltgerechtigkeit/>
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2019). *Luftreinhaltplan für Berlin 2. Fortschreibung*. Referat Immissionsschutz. Berlin: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. Von <https://datenbox.stadt-berlin.de/ssf/s/readFile/share/7072/-4050281172714309571/publicLink/Luftreinhaltplan.pdf> abgerufen
- Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. (2021). *Luftgütemessdaten - Jahresbericht 2020*. Berliner Luftgütemessnetz. Berlin: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. Von https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/umwelt/luft/luftqualitaet/luftdaten-archiv/monats-und-jahresberichte/jahresbericht2020.pdf abgerufen

- TÜV RHEINLAND ENERGY GMBH. (27. 06. 2019). *TÜV-Begutachtung der Positionierung verkehrsnaher Probenahmestellen zur Messung der NO₂-Konzentrationen an ausgewählten Standorten*. Abgerufen am 24. 01. 2022 von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/tuev_bericht_probenahmestellen_no2_bf.pdf
- Umweltbundesamt. (2018). *Ozon-Belastung*. Abgerufen am 28. 08. 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/ozon-belastung#textpart-3>
- Umweltbundesamt. (2019). *Luftqualität 2018*. Fachgebiet II 4.2. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Von <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-2018> abgerufen
- Umweltbundesamt. (2022). *Luftqualität 2021 - Vorläufige Auswertung*. Fachgebiet II 4.2. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/220502_hgp_luftqualitaet.pdf abgerufen
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Regional Office for Europe: World Health Organization. Von <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> abgerufen



Öffentlichkeitsarbeit
Am Kölnischen Park 3
10179 Berlin

www.berlin.de/sen/uvk
twitter.com/senuvkberlin
instagram.com/senuvkberlin

Berlin, 03/2023