

Inhalt

Luftgüte	8
Basisinformation	8
Emissionen im Flughafenumfeld	10
Überwachung von Immissionen im Großraum Berlin	11
Luftgüteüberwachung	13
Ergänzende Untersuchungen	16
Messreihen	19
Datenverfügbarkeit	19
Meteorologie	20
Stickoxide	22
Ozon	28
Kohlenmonoxid	30
Feinstaub PM ₁₀	32
Feinstaub PM _{2.5}	34
Benzol	36
Benz[a]pyren	38
Ruß	40
Zusammenfassung	43
Zusatzinformation	47
Ultrafeinstaub	47
Ultrafeinstaub-Messungen der FBB	49
Jahresmittelwerte weiterer VOC und PAK	57
Boxplot-Darstellung	58



Abbildungen

Verortung Luftgütemessstellen in und um Berlin	11
Verortung Luftgütemessstelle der FBB	15
Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung am Standort SXF	15
Darstellung der meteorologischen Tagesmittel von Temperatur,	
Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung	21
	23
	25
	26
Messdaten Ozon (O_3)	29
	31
	33
	35
	37
	39
Messdaten Ruß (EC)	41
Normierte Luftschadstoff-Konzentrationsniveaus	43
tel der Luftschadstoffe	45
Partikelgrößenabhängige Massen- und Anzahlkonzentration ei-	
nes Aerosols	48
UFP-Messgerät im Betrieb	50
Teilnahme am TROPOS-Kalibrierworkshop	50
Messmodi des UFP-Messgeräts	50
Darstellung UFP-Zeitreihen	52
Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl	54
Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl, 2019-21	56
Erläuterung zur Boxplot-Darstellung	58
	Verortung Luftgütemessstelle der FBB

Tabellen

1	Beurteilungswerte für Luftschadstoffe	9
2	Auswahl Luftgütemessstandorte für vergleichende Betrachtung	11
3	Gemessene Schadstoffkomponenten an den Standorten SXF und BDF	14
		14
4	Prozentuale Verfügbarkeit der Messdaten bzw. Anzahl der	
	gültigen Tage	19
5	Messdaten Stickoxide (NO_2 , NO_x , NO)	22
6	Messdaten Ozon (O_3)	28
7	Messdaten Kohlenmonoxid (CO)	30
8	Messdaten Feinstaub PM_{10}	32
9	Messdaten Feinstaub PM _{2.5}	34
10	Messdaten Benzol	36
11	Messdaten Benz[a]pyren	38
12	Messdaten Ruß (EC)	40
13	UFP-Messwerte @SXF; BDF und BFM	52
14	Messdaten volatile organische Kohlenwasserstoffe (VOC)	57
15	Messdaten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	57



→ 6 | F

Abkürzungen

ACTRIS Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds and Trace Gases

APU Auxiliary Power Unit

BDF Bohnsdorf (Messstandort der FBB)

BFM Blankenfelde-Mahlow (Messstandort des LfU)

BImSchG Bundes-Immissionsschutzgesetz
BImSchV Bundes-Immissionsschutzverordnung

ccm Kubikzentimeter (cm^3)

CO Kohlenmonoxid

CPC Condensation Particle Counter

DMA Differential Mobility Analyzer (Größenklassierer)

EC Elemental Carbon (Ruß)

FBB Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

 $\begin{array}{ll} \text{ft} & \text{Fuß (H\"{o}henangabe)} \\ \text{GMW} & \text{Gleitender Mittelwert} \end{array}$

GUAN German Ultrafine Aerosol Network (Ein Messnetz für ultrafeine Partikel)

GPU Ground Power Unit

HHB Hasenholz-Buckow (Messstandort des LfU)

LfU Landesamt für Umwelt Brandenburg

LTO Landing-Take-Off Zyklus

 $\begin{array}{lll} \text{Max} & \text{Maximum} \\ \text{Min} & \text{Minimum} \\ \text{MW} & \text{Mittelwert} \\ \text{NO}_2 & \text{Stickstoffdioxid} \\ \text{NO}_x & \text{Stickoxide} \\ \end{array}$

 O_3 Ozon

PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PM₁₀ Particulate Matter (aerodynamische Durchmesser $\leq 10 \, \mu \text{m}$) PM_{2.5} Particulate Matter (aerodynamische Durchmesser $\leq 2.5 \, \mu \text{m}$)

PGS Potsdam-Großbeerenstraße (Messstandort des LfU)
PZS Potsdam-Zeppelinstraße (Messstandort des LfU)

SLB Start- und Landebahn SMW Stundenmittelwert SO_x Schwefeloxide

SW Windrichtung: Südwest

SXF Flughafen Berlin-Schönefeld (Messstandort der FBB)

TMW Tagesmittelwert

VOC volatile (flüchtige) organische Kohlenwasserstoffe WCCAP World Calibration Centre for Aerosol Physics

WSW Windrichtung: Westsüdwest



Luftgüte Basisinformation

Luftgüte

Die Güte oder auch Qualität der Luft ist maßgeblich durch den Gehalt an Schadstoffen sowie meteorologische Einflüsse bestimmt. Als Luftschadstoffe oder auch Luftverunreinigung wird dabei jede Abweichung von der natürlichen Luftzusammensetzung aufgefasst. Für viele Luftschadstoffe gibt es durch Gesetze oder Verordnungen festgelegte Grenz- oder Richtwerte. Eine Aussage bzw. Bewertung der Luftgüte wird durch den Bezug der gemessenen Schadstoffkonzentrationen zu gültigen Grenz- oder Richtwerten möglich.

Rechtsgrundlagen der Luftreinhaltung

Die Europäische Union hat für ihre Mitgliedsstaaten mehrere Luftqualitätsrichtlinien mit dem Ziel der Vermeidung oder Verringerung schädlicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und Umwelt festgelegt. Maßgeblich für die Bewertung der Luftqualität ist die 2008/50/EGRichtlinie ropäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Eu-Luftqualitätsrichtli-(kurz: nie). Danach wird die Luftqualität in den Staaten der EU nach einheitlichen Methoden und Kriterien beurteilt. In der Bundesrepublik Deutschland wurden diese Richtlinien u.a. durch die Novellierung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) sowie durch die Einführung der 39. Verordnung zum BImSchG (39. BImSchV) in deutsches Recht umgesetzt. Tabelle 1 führt die aktuell geltenden Grenzbzw. Richtwerte auf.

Luftschadstoffquellen

Für den Gehalt an Schadstoffen in der Luft gibt es sowohl natürliche als auch anthropogene Ursachen.

Zu den natürlichen Ursachen zählen z.B. Vulkanausbrüche, Waldbrände sowie Sandstürme. Die Luftverunreinigungen aufgrund solcher Ereignisse sind auch in großer Entfernung messbar. Wesentliche anthropogene Quellen stellen Verbrennungsprozesse jedweder Art dar (Heizkraftwerke, Hausbrand, Verkehr, Luftfahrt). Weitere Verursacher sind Landwirtschaft, Industrieprozesse sowie der Verkehr, der auch durch Aufwirbelung von Partikeln, Brems- und Reifenabrieb zur Luftverschmutzung beiträgt.

Tabelle 1: Beurteilungswerte der gemessenen Luftschadstoffe.

Komponente	Beurteilungswert	Höhe des Beurteilungswertes	Zulässige Überschreitungen
Kohlenmonoxid (CO)			
Achtstundenwert	Grenzwert	$10 mg/m^3$	
Stickstoffdioxid (NO ₂)			
Jahresmittel	Grenzwert	$40~\mu g/m^3$	
Stundenmittel	Grenzwert	$200~\mu g/m^3$	18 mal im Jahr
Stundenmittel (3h)	Alarmwert	$400~\mu g/m^3$	
Ozon (O ₃)			
Achtstundenwert	Zielwert	$120~\mu g/m^3$	an 25 Tagen
Einstundenwert	In formations schwelle	$180~\mu g/m^3$	
Einstundenwert	Alarmschwelle	$240~\mu g/m^3$	
Feinstaub (PM ₁₀)			
Jahresmittel	Grenzwert	$40~\mu g/m^3$	
Tagesmittel	Grenzwert	$50 \ \mu g/m^3$	an 35 Tagen
Jahresmittel	Grenzwert	$25~\mu g/m^3$	
Benzol			
Jahresmittel	Grenzwert	$5 \mu g/m^3$	
Benz[a]pyren			
Jahresmittel	Grenzwert	$1 ng/m^3$	

Emissionen im Flughafenumfeld

Flughäfen sind stark frequentierte Verkehrsknotenpunkte, an denen verschiedene Verkehrsträger (Luft, Straße, Schiene) zusammenwirken. Der Schadstoffeintrag an und um Flughäfen ist daher durch eine Vielzahl verschiedener Emittenten geprägt, die einer der folgenden Kategorien zugehörig sind.

Flugverkehr

Eine wesentliche Emissionsquelle stellen Verbrennungsprozesse in Triebwerken und Hilfstriebwerken (APU) der Luftfahrzeuge dar. Als Verbrennungsprodukt entstehen SO_x , CO_2 und N_2 . Weitere Nebenprodukte der Verbrennung sind NO_x , CO sowie HC (unverbrannte Kohlenwasserstoffe), Feinstaub und ultrafeine Partikel. Emissionen werden bei Start und Landung sowie während des Rollens (Taxiing) und der Abfertigung der Luftfahrzeuge freigesetzt. Dabei ist die Menge der Triebwerksemissionen von Triebwerkstyp und gesetzter Leistungsstufe der Triebwerke abhängig. Die verschiedenen Triebwerksleistungsstufen während der Anflug-, Roll-, Start- sowie Steigflugphase werden durch den ICAO Landing-Take-Off-Cycle (LTO-Zyklus) vereinfacht abgebildet. Der LTO-Zyklus bilanziert dabei Triebwerksemissionen bis zu

einer Höhe von 3.000 ft (ca. 914 m). Aufgrund der stabilen Schichtungsverhältnisse der Atmosphäre tragen Triebwerksemissionen, die oberhalb einer Höhe von 400 m freigesetzt werden, nur unwesentlich zu bodennahen Immissionen bei.

Vorfeldaktivität

Die Aktivitäten auf dem Vorfeld konzentrieren sich vor allem an den Parkpositionen der Luftfahrzeuge. Vorfeldemissionen sind maßgeblich durch die Abläufe der Flugzeugabfertigung bedingt. Hierzu zählen in erster Linie die Bereitstellung von Energie für die Luftfahrzeuge, die u.a. für den Betrieb der Bordelektrik, die Klimatisierung der Flugzeugkabine sowie das Starten der Triebwerke erforderlich ist. Dies wird durch die Bereitstellung von Bodenstrom, den Betrieb von Bodenstromgeneratoren (Ground Power Units, GPU) sowie im Bedarfsfall der Hilfstriebwerke (Auxiliary Power Units, APU) erreicht. Weiterhin werden technisches Gerät sowie Spezialfahrzeuge für Be- und Entladung, Betankung, Enteisung von den Bodenverkehrsdiensten eingesetzt. Ferner finden Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten von Luftfahrzeugen sowie Triebwerken auf dem Flughafengelände statt, die u. a. Triebwerksprobeläufe zur Funktionsüberprüfung nach sich ziehen.

Landseitiger Verkehr

Auf der Landseite bedingt ein Flughafen ein erhöhtes Verkehrsaufkommen durch das An- und Abreisen der Passagiere. Dieses erfolgt sowohl über motorisierten Individualverkehr, wofür der Flughafen eine Vielzahl an Parkmöglichkeiten vorhält, als auch über den öffentlichen Personennahverkehr mit Bus und Bahn. Ferner tragen auch Besucher des Flughafens, Mitarbeiter und Beschäftigte sowie Dienstleister und Lieferanten zum flughafeninduzierten Verkehrsaufkommen bei.

Infrastruktur

Der Betrieb eines Blockheizkraftwerkes für die Energieversorgung des Flughafens ist mit weiteren Emissionen verbunden. Ebenso kann das Umschlagen von Treibstoff am Tanklager als auch an der Betriebstanksstelle mit Emissionen leicht flüchtiger organischer Kohlenwasserstoffe assoziiert werden. Bauaktivitäten auf dem Flughafengelände tragen ebenfalls zu einer Belastung der Luftqualität, vorwiegend durch den Betrieb der Baumaschinen, aber auch durch Staubemissionen bei Abriss- und Erdbauarbeiten bei.

Überwachung von Immissionen im Großraum Berlin

Die Überwachung der Luftquafünften lität ist $_{
m im}$ Teil des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) geregelt. Demnach sind die Bundesländer ermächtigt und verpflichtet die Untersuchungsgebiete festzulegen, die Einhaltung der Grenzwerte für festgelegte Luftschadstoffe zu überwachen und ggf. Maßnahmen zur Reduzierung der Luftverunreinigung einzuleiten.

Abbildung 1 zeigt die Messstellen des Berliner Messnetzes, das Messnetz des Landesamtes für Umwelt Brandenburg sowie die beiden Messstellen der FBB SXF und BDF.

Für eine bessere Einordnung der Messergebnisse an den FBB-Standorten SXF und BDF werden, soweit möglich, die Messungen von vier Messstationen des Brandenburger Messnetzes vergleichsweise herangezogen. Dabei handelt es sich um die Messstellen BFM, PZS, HHB und PGS. Der Standort PGS wird seit diesem Jahr für die Betrachtung der VOC-Werte ersatzweise für den Standort PZS herangezogen, da die-

se Parameter dort seit diesem Jahr nicht mehr erfasst werden.

Die Vergleichsstandorte liegen in unterschiedlicher Entfernung zum Flughafen und repräsentieren verschiedene räumliche Belastungskategorien. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die betrachteten Messstandorte, deren Lage und Kategorie. Nachfolgend werden in Abbildungen und Text die abgekürzten Standortbezeichnungen verwendet.

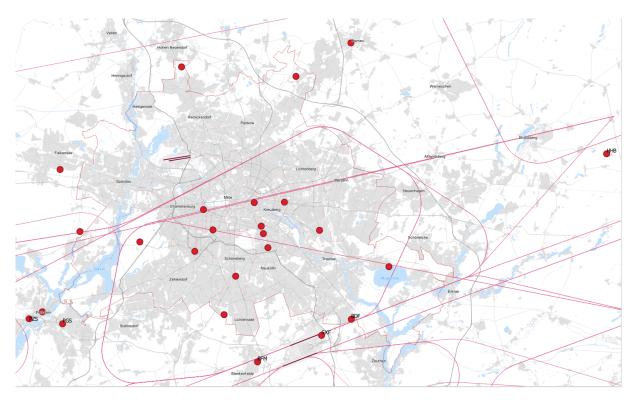


Abbildung 1: Standorte von Luftgütemessstellen der Landesmessnetze Berlin und teilweise Brandenburg in und um Berlin sowie die Luftgütemessstelle der FBB (SXF und BDF)

Tabelle 2: Auswahl von Luftgütemessstandorten für eine vergleichende Betrachtung der Messwerte

Messstandort	Abkürzung	Entfernung zum Flughafen	Betreiber	Kategorie
Schönefeld-Flughafen	SXF	0	FBB	Verkehr
Bohnsdorf	BDF	4 km	FBB	städtischer Hintergrund
Blankenfelde-Mahlow	BFM	3 km	LfU	städtischer Hintergrund
Potsdam, Zeppelinstraße	PZS	34 km	LfU	Verkehr
Potsdam, Großbeerenstraße	PGS	30 km	LfU	Verkehr
Hasenholz-Buckow	ННВ	>50 km	LfU	ländlicher Hintergrund





Luftgüteüberwachung Messprogramm der FBB

Messgrundlage

Die Messaktivitäten der FBB im Hinblick auf die Luftgüteüberwachung fußen auf dem Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Verkehrsflughafens Berlin-Schönefeld zum zukünftigen Verkehrsflughafen Berlin-Brandenburg BER. Darin ist u.a. festgesetzt, dass spätestens mit Inbetriebnahme der neuen Start- und Landebahn 07R/25L im Flughafenbereich eine Messstelle zur Erfassung der Immissionen zu errichten und dauerhaft zu betreiben ist. Die FBB erfüllt diese Anforderung seit Juli 2011 durch die Inbetriebnahme einer eigenen Luftgütemessstation im Sicherheitsbereich des Flughafens und die fortwährende Sicherstellung der Luftgüteüberwachung.

Messumfang

Der Umfang der zu überwachenden Luftschadstoffe wird ebenfalls durch den Planfeststellungsbeschluss vorgegeben. Hierzu zählt eine kontinuierliche Überwachung von Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Stickstoffmonoxid (NO) zur Ermittlung der Stickoxide (NO $_x$) sowie eine diskontinuierliche Erfassung von Benzol als Leitkomponente der BTEX sowie Feinstaub PM $_{10}$, Benz[a]pyren als Leitsubstanz polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) als auch Ruß. Über diese Vorgaben hinaus werden zusätzlich die Parameter Feinstaub PM $_{2.5}$ seit Messbeginn sowie Ozon (O $_3$) seit 2013 an der Messstation ermittelt.

Die Immission von Luftschadstoffen unterliegt dem Einfluss von Meteorologie und Witterungsbedingungen. Deshalb werden an der Luftgütemessstelle des Flughafens Schönefeld auch meteorologische Daten kontinuierlich erfasst. Zu diesen zählen die Richtung und Geschwindigkeit des Windes, Lufttemperatur, relative Luftfeuchte sowie Globalstrahlung. Die Windmessungen werden in einer Messhöhe von 10 m über Grund erfasst. Die Messgeber für Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Globalstrahlung sind eben-

falls am meteorologischen Mast der Luftgütemessstation angebracht. Sie befinden sich etwa 1 m über Dachniveau des Messcontainers.

Qualitätssicherung

Die Daten der kontinuierlich messenden Geräte werden online direkt an das LfU übertragen. Hier erfolgt die Qualitätskontrolle nach EU-Vorgaben. Die Messdaten durchlaufen den gleichen Validierungsprozess wie die Messdaten des automatischen Luftgütemessnetzes des LfU. Ebenso ist die Überwachung der Messgeräte durch die Online-Übertragung der Statuswerte in den Routineablauf des LfU integriert. Die Untersuchung der diskontinuierlichen bzw. quasikontinuierlichen Proben erfolgt im Landeslabor Berlin-Brandenburg. Die Kalibrierung der Gasmonitore erfolgt jährlich durch das LfU. Die enge Kooperartion mit dem LfU sichert ein höchstmögliches Maß an Transparenz und Vergleichbarkeit der Daten bei Einhaltung aller gesetzlichen Vorgaben.



Messstandorte

Die FBB betreibt zwei Luftgüte-Standorte:

Seit 2011 wird ein Messcontainer auf dem Vorfeld (SXF) betrieben. Der Messcontainer befindet sich, wie in Abbildung 2 dargestellt, auf dem Flughafengelände am östlichen Kopf der nördlichen Start- und Landebahn (SLB). Die Standortauswahl wurde in gemeinsamer Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU) und im Hinblick auf die Inbetriebnahme des BER getroffen. Die Abbildung 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und -richtung an der Luftgütemessstelle. Der Standort an der Betriebsgeländegrenze ist geeignet, um bei Betriebsrichtung West (ca. 2/3 des Jahres) mit Winden aus SW und WSW die Emissionen sowohl von den Vorfeldflächen als auch der beiden Start- und Landebahnen zu erfassen. Ebenso können bei Betriebsrichtung Ost (ca. 1/3 des Jahres) Emissionen außerhalb des Flughafengeländes erfasst und charakterisiert werden.

Seit März 2018 wird zusätzlich die Luftgüte in Bohnsdorf auf dem Eichbuschplatz gemessen (BDF). Dazu dient ein mobiler Messanhänger mit gleicher technischer Ausstattung wie am Standort SXF (siehe Abbildung 2).

Messmethodik

Sämtliche eingesetzten Messgeräte entsprechen den technischen Anforderungen an die Immissionsüberwachung und weisen eine Eignungsprüfung vor. Die Messmethodik für gasförmige und partikuläre Inhaltsstoffe unterscheidet sich dabei grundlegend. Die Konzentrationen gasförmiger Komponenten wie Stickoxiden, Ozon oder Kohlenmonoxid werden mithilfe der Absorption unterschiedlicher Wellenlängen im sichtbaren, ultravioletten bzw. infraroten Bereich des Lichtspektrums erfasst. Die Massenkonzentration partikulärer Stoffe wie PM_{10} und $PM_{2.5}$ wird erhoben, indem die Feinstaubmasse auf Filterpapieren abgeschieden und anschließend indirekt mittels Absorption von Betastrahlung oder direkt durch Wägung im Labor ermittelt wird. Hier erfolgt auch die Analytik von am Feinstaub angelagerten Stoffen wie Benz[a]pyren. Leicht flüchtige organische Stoffe wie Benzol werden vor Ort durch Adsorption an Aktivkohle angereichert und ebenfalls zur Analyse ins Labor gegeben.

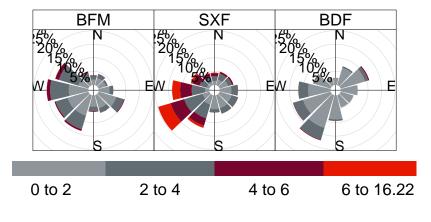
Tabelle 3: Gemessene Schadstoffkomponenten an den Standorten SXF und BDF

Komponente	Zustand	Messgerät	Messprinzip	Zeitliche Auflösung
CO	gasförmig	Horiba APMA-370	NDIR	3-sekündlich
NO, NO_2, NO_x	gasförmig	Horiba APMA-370	Chemielunineszenz	3-sekündlich
O_3	gasförmig	Horiba APMA-370	UV-Absorption	3-sekündlich
Feinstaub $(PM_{2.5})$	partikulär	Horiba APDA-371	β -Absorbtion	stündlich
Feinstaub (PM ₁₀)	partikulär	Horiba APDA-371	β -Absorption	stündlich
		Derenda LVS16	Filtergravimetrie	täglich
Benzol, weitere VOC	gasförmig	Horiba GPS5-8D	Anreicherung an Adsorbens mit anschließender Gaschromatographie	Wochenprobe
Ruß (EC)	partikulär	Derenda LVS16 (Massenanteil des PM_{10})	Thermogravimetrie	Wochen(misch)probe
Ruß (BC)	partikulär	Aethalometer AE33	optische Absorption	1-sekündlich
Benz[a]pyren, weitere PAK	partikulär	Derenda LVS16 (Massenanteil des PM_{10})	HPLC	Wochen(misch)probe



Abbildung 2: Lage der FBB -Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie BFM (flughafennahe Luftgütemessstelle des LfU)

Windrichtungsverteilung [%], 2021



Windgeschwindigkeit, m/s 30 min - MW

Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung an den FBB-Luftgütemessstellen SXF und BDF.



Ergänzende Untersuchungen

Bienenmonitoring

Die FBB führt seit 2011 im Rahmen des Umwelt-Untersuchungsprogramms ein Bienenmonitoring durch. Damit wird der Frage von Bürgern und Imkern der Flughafenregion nachgegangen, ob Honig aus regionaler Produktion im Flughafenumfeld unbelastet ist.

Es werden Pollen, Wachs und Honig auf Rückstände von Schadstoffen analysiert, die über die Luft und die Umwelt in die Nahrung gelangen können. Hierzu werden Bienenvölker an vier Standorten untersucht. Zwei Standorte befinden sich in unmittelbarer Nähe des Flughafens Schönefeld/BER, ein Standort am Flughafen Tegel und ein Referenzstandort fernab von Flug- und Straßenverkehr in der Schorfheide.

Die Analyse der Rückstände hat in der Vergangenheit gezeigt, dass der Flughafenbetrieb keinen Einfluss auf die Qualität des Lebensmittels Honig hat. Honig, Pollen und Wachs sind von den untersuchten Luftschadstoffen nicht belastet. Der genaue Umfang des Bienenmonitorings sowie die Ergebnisse können im aktuellen Bienenmonitoringbericht nachgelesen werden.

Weitere Informationen sind unter bienen.berlin-airport.de abrufbar.

Biomonitoring

Biomonitoring Beim steht die tatsächliche Einwirkung von Immissionen auf die belebte Umwelt Mittelpunkt. Ein Biomonitoring ermöglicht Aussagen, in welchem Maße Schadstoffe auf Gras als Futtermittel und Grünkohl als Lebensmittel einwirken und welchen Anteil daran der Luftverkehr hat. Zu diesem Zweck wurden genormte Grünkohlkulturen im Herbst 2011 und 2012 bzw. genormte Graskulturen im Sommer 2012, 2013 und 2015 als Bioindikatoren im Untersuchungsgebiet aufgestellt. Die Bioindikatoren wurden unmittelbar am

Flughafen Schönefeld, an der Autobahn, in und an Siedlungen und im landwirtschaftlichen Raum platziert. Zwei Messpunkte wurden in ausreichendem Abstand zum Flughafen, zu Siedlungen und Straßen aufgestellt, um die allgemeine Schadstoffbelastung in der Region (Hintergrundbelastung) zu messen. Die Grünkohlkulturen werden nach acht Wochen geerntet und im Labor analysiert, bei Graskulturen erfolgt dies mehrfach nach jeweils vier Wochen über einen Zeitraum von drei aufeinander folgenden Monaten. Durch den Vergleich mit weiteren aktuellen nationalen Untersuchungen sowie mittels Beurteilungs- und Prüfwerten für

Nahrungsmittel können die Ergebnisse der Analysen bewertet werden. Aus den Ergebnissen des Biomonitorings können auch gesundheitliche Risiken für den Menschen abgeleitet werden.

im Jahr 2022 werden die Untersuchungen mit Graskulturen fortgesetzt.

Den genauen Umfang der Untersuchungen sowie die Ergebnisse können im aktuellen Biomonitoringbericht nachgelesen werden. Weitere Informationen sind unter http://www.berlin-airport.de/de/_dokumente/unternehmen/umwelt/ Biomonitoring-Bericht-2011-2015. pdf abrufbar.





Messreihen 2021

Datenverfügbarkeit

Die Parameter NO_2 , NO, NO_x , CO, O_3 , PM_{10} und $PM_{2.5}$ werden kontinuierlich erfasst. Die Messgeräte liefern 3-Sekunden-Werte, welche bereits durch den Datalogger zu 3-Minuten-Mittelwerten und 30-Minuten-Mittelwerten aggregiert werden. Diese Werte bilden nach Va-

lidierung durch das LfU die Basis für die Berechnung der Stundenmittelwerte und Tagesmittelwerte.

Für die hier dargestellten Luftgüteparameter wurden im §36 A BImSch Datenqualitätsziele für die Luftqualitätsbeurteilung definiert. Demnach sind als Mindestdatenerfassung 90 % anzustreben. Die **Tabelle 4** gibt einen Überblick über die Datenverfügbarkeit der in diesem Bericht dargestellten Messgrößen. An allen Standorten wurden für alle Messungen die gesetzlich vorgeschriebene Datenverfügbarkeit erreicht.

Tabelle 4: Prozentuale Verfügbarkeit der Messdaten bzw. Anzahl der gültigen Tage.

Luftgüteparameter	SXF	BDF	BFM	PZS	ННВ
NO_2 , NO_x	100	100	100	97	100
NO	100	100	100	97	100
СО	99	95	100	99	-
O_3	97	100	99	-	97
$\overline{\mathrm{PM}_{10}}$	97*	99*	100*	97*	100
$\overline{\mathrm{PM}_{2.5}}$	96	99	100	99	97

^{*}Gravimetrische Messung: Probenahme mittels Low-Volume-Sampler mit PM10-Messkopf = Referenzverfahren



_

Meteorologie

Die Meteorologie hat einen wesentlichen Einfluss auf die Immission von Luftschadstoffen. Hohe Windgeschwindigkeiten bewirken im Allgemeinen eine Verteilung der Luftschadstoffe und führen damit zu niedrigeren Konzentrationen, während niedrige Windgeschwindigkeiten und Windstille eine Anreicherung der Luftschadstoffe begünstigen. An Küstenregionen und offenen, unbebauten Gebieten liegen oft stärkere Winde vor, weshalb diese Gebiete weniger mit Luftschadstoffen belastet sind.

Die Windrichtung beeinflusst ebenfalls den Gehalt an Luftschadstoffen. Weht Wind aus Richtung eines Industriegebietes in Richtung eines Stadtgebietes, sind hier höhere Schadstoffgehalte zu erwarten, als wenn der Wind aus Richtung eines landwirtschaftlich genutzten Gebietes kommt.

Eine weitere meteorologische Einflussgröße auf die Luftschadstoffe ist die Sonnenstrahlung. An heißen Sommertagen können durch den Straßenverkehr bedingte Schadstoffe, wie Stickstoffdioxid (NO₂) in Gegenwart von Sonnenstrahlung zu Ozon reagieren. Gleichzeitig stellt der Primärschadstoff Stickstoffmonoxid (NO) eine Senke für Ozon (O_3) dar, da NO durch O_3 zu NO_2 oxidiert wird. Somit können mitunter in Stadtrandlagen höhere Ozongehalte auftreten als in der Innenstadt mit höherem Verkehrsaufkommen.

Auch der Luftdruck beeinflusst die

Luftqualität. Hochdruckwetterlagen gehen meist einher mit geringen Windgeschwindigkeiten bzw. Windstille und begünstigen damit eine Anreicherung an Luftschadstoffen. Während Tiefdruckwetterlagen werden hingegen niedrigere Luftschadstoffe gemessen aufgrund der Verteilung und damit Verdünnung der Luftschadstoffe durch starke Winde und aufgrund der Auswaschung der Schadstoffe aus der Luft durch Regenereignisse.

Abbildung 4 zeigt die Tagesmittelwerte von Temperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit sowie -richtung im Jahresverlauf am Messstandort SXF.



Abbildung 4: Darstellung der meteorologischen Tagesmittel von Temperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung für das Jahr 2021 am Standort SXF.

Stickoxide

Stickstoffdioxid (NO₂)

Der Jahresgrenzwert für Stickstoffdioxid in Höhe von 40 $\mu g/m^3$ wurde an der Luftgütemessstelle SXF mit $17 \mu g/m^3$ auch im Jahr 2021 sicher eingehalten. Der Ein-Stunden-Grenzwert von 200 $\mu g/m^3$ wurde zu keiner Zeit überschritten. Dies gilt ebenso für den Standort BDF und die Vergleichsmessstellen des LfU (siehe Tabelle 5).

Die **Abbildung 5** A zeigt zeitlichen Verlauf den der NO₂-Tagesmittelwerte den FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie vergleichend die NO₂-Tagesmittelwerte den Luftgütemessstationen BFM, PZS und HHB des Luftgütemessnetzes Brandenburg. Die Konzentration an der Messstelle PZS liegt deutlich höher als an den anderen Stationen. Die Konzentrationen an den Stationen BDF und BFM liegen dicht beieinander. An der Messstation SXF liegen die Werte etwas höher als an den Messstationen BDF und BFM. An der ländlich gelegenen Messstation HHB wurden die geringsten NO₂-Werte gemessen. Unabhängig von der Höhe der Konzentration weisen die Verläufe der Kurven eine hohe Ähnlichkeit auf. Maxima und Minima liegen direkt übereinander. Diese parallelen Verläufe verdeutlichen den Einfluss von meteorologischen Bedingungen.

Die Darstellung der Boxplots¹ in **Ab**bildung 5B bietet die Möglichkeit des vereinfachten Vergleiches Belastung an NO₂ zwischen den Luftgütemessstationen und gibt einen Überblick über die statistische Verteilung der Messwerte. Das 25-Perzentil des Standortes PZS liegt oberhalb der 75-Perzentile der anderen Standorte bzw. in Höhe des 75-Perzentil-Niveaus des Standortes SXF. Der Einfluss des Straßenverkehrs als Quelle von NO, der Vorläufersubstanz von NO_2 , wird beim Vergleich dieser Standorte deutlich.

Die Abbildung 5C zeigt die Entwicklung der Jahresmittelwerte am Standort SXF und den LfU-Standorten BFM, PZS und HHB seit 2017. Am Standort PZS wurden jedes Jahr die höchsten Werte und am Standort HHB die niedrigsten Werte gemessen. Die Messwerte der Standorte SXF und BFM lagen in den Vorjahren dicht beieinander mit leicht höheren Werten am Standort SXF. Am Standort BDF lagen die Messwerte niedriger als an den Standorten SXF und BFM. Im Jahr 2021 sind die Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentration an den Standorten BDF und BFM etwa gleich groß und etwas niedriger als am Standort SXF. Der höchste Jahresmittelwert wurde auch in diesem Jahr am Standort PZS gemessen, wobei er dennoch etwas niedriger als im Vorjahr liegt.

Tabelle 5: Statistische Kenngrößen für Sticktoffdioxid (NO_2), Stickoxide (NO_x) und Stickstoffmonoxid (NO) an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	ННВ
Mittelwert, NO ₂	17	13	13	24	7
Max. SMW	89	80	73	100	41
Max. TMW	46	38	36	43	24
Stunden > 200	0	0	0	0	0
Stunden > 400	0	0	0	0	0
Mittelwert, NOx	19	16	18	44	9
Mittelwert, NO	2	2	3	13	1

¹Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Stickstoffdioxid (NO₂) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB

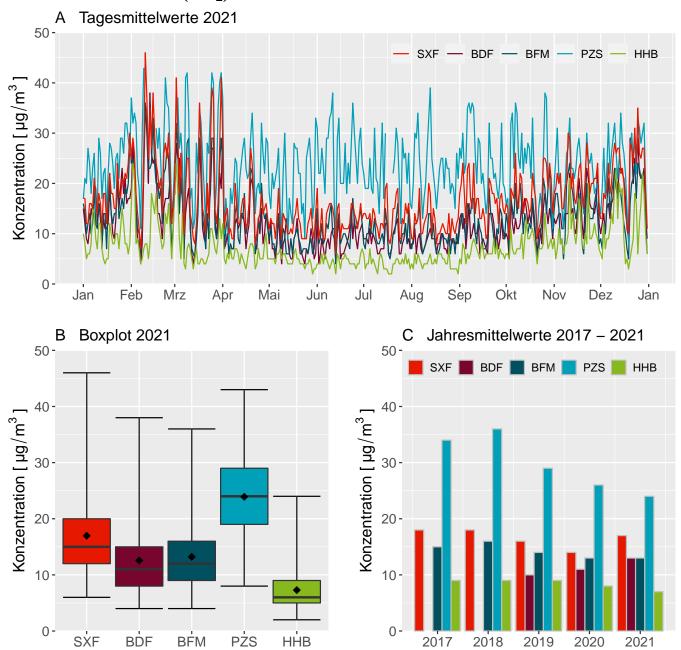


Abbildung 5: Darstellung der NO₂-Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BDF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich).

Stickstoffmonoxid (NO)

Für NO sieht der Gesetzgeber keine Grenzwerte vor. Dennoch werden hier die Jahresmittelwerte von 2021 in **Tabelle 5** sowie die zeitlichen Verläufe, Boxplots und Entwicklung der Jahresmittelwerte seit 2017 in den **Abbildungen 6 A-C** dargestellt.

Der Jahresmittelwert an der Verkehrsstation PZS ist mehr als sechsfach erhöht gegenüber den Stationen SXF und BDF und mehr als vierfach gegenüber BFM. Die niedrigsten Konzentrationen wurden am Standort HHB gemessen.

Die Abbildungen 6 A und B zeigen den zeitlichen Verlauf der Tagesmittelwerte sowie die statistische Verteilung in Form von Boxplots für

die einzelnen Stationen. Die deutlich höheren Werte am Standort PZS gegenüber den anderen Standorten zeigen den unmittelbaren Einfluss des Straßenverkehrs als Emissionsquelle von NO. Der parallele Verlauf der Kurven weist darauf hin, dass neben dem Einfluss der lokalen Quellsituation auch meteorologische Parameter einen Effekt auf die NO-Konzentration haben, wobei die Werte während der Sommermonate tendenziell niedriger liegen als während der Wintermonate.

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO seit 2017 wird in der **Abbildung 6 C** dargestellt. Am Standort PZS ist seit 2017 ein kontinuierlicher Rückgang des Jahresmittelwertes von NO zu beobachten. An den anderen Standorten zeigen

sich zwischen 2017 und 2018 keine wesentlichen Unterschiede, in 2019 bis 2021 hingegen liegen die Messwerte deutlich unter denen der Vorjahre. Der Standort SXF weist dieses Jahr den geringsten Jahresmittelwert innerhalb des betrachteten 5-Jahreszeitraums auf.

Stickstoffmonoxid (NO_x)

Für NO_x sind ebenfalls die zeitlichen Verläufe, Boxplots und Entwicklung der Jahresmittelwerte seit 2017 (siehe **Abbildungen 7A-C**) dargestellt. Die zeitlichen Verläufe und räumlichen Unterschiede verhalten sich ähnlich wie bei NO, allerdings sind die räumlichen Unterschiede der Konzentrationen für NO_x nicht so stark ausgeprägt wie für NO.

Stickstoffmonoxid (NO) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB

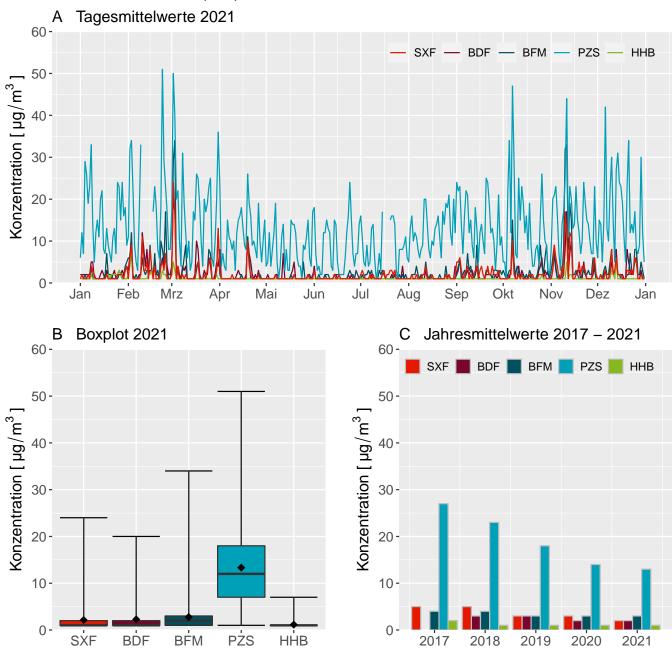


Abbildung 6: Darstellung der NO-Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte

Stickoxide (NO_x) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB

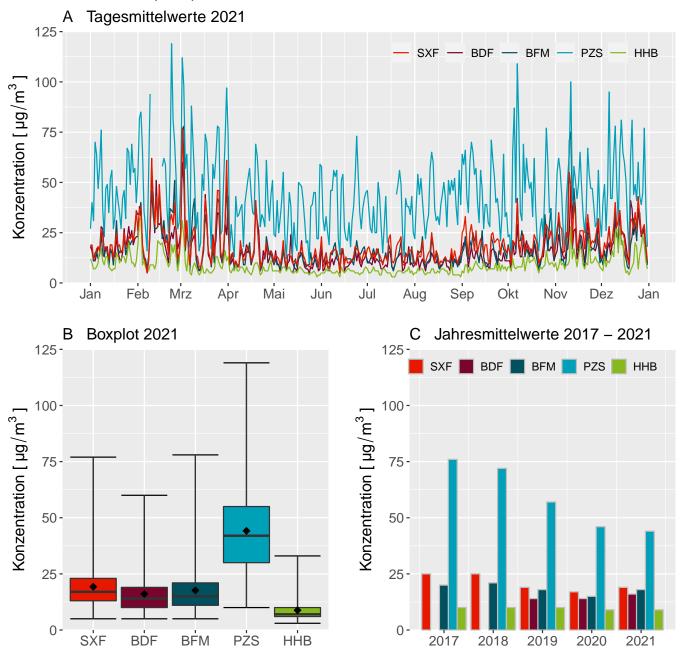


Abbildung 7: Darstellung der NO_x -Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BDF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)



Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen von Ozon, ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der FBB-Luftgütemessstation SXF und BDF, sind in der **Tabelle 6** aufgeführt. Ergänzend dazu werden die Ergebnisse der Messtationen BFM und HHB des LfU dargestellt.

Der Informationsschwellenwert in Höhe von $180\,\mu g/m^3$ wurde im Jahr 2021 an keiner der Messstellen überschritten. Der maximale Acht-Stunden-Mittelwert in Höhe von $120\,\mu g/m^3$ wurde, gemittelt über die letzten drei Jahre, an den Messstellen SXF, BDF und HHB 13 Mal und am Standort BFM 18 Mal überschritten. Als Zielwert definiert sind maximal 25 Überschreitungen pro Jahr, gemittelt über drei Jahre (§ 9 (1), 39. BImSchV).

Die Abbildung 8 A zeigt die Tages-

maximalwerte der gleitenden Acht-Stunden-Mittelwerte für die vier Standorte SXF, BDF, BFM und HHB. Alle vier Standorte weisen den für Ozon typischen saisonalen Verlauf mit höheren Werten im Sommer und niedrigeren Werten im Winter auf. Die Kurven verlaufen nahezu parallel. Ozon ist ein sekundär gebildeter Luftschadstoff, dessen Bildung eine photochemische Reaktion zugrunde liegt. Dies erklärt die höheren Werte während der Sommermonate mit einhergehender höherer Globalstrahlung im Vergleich zu den Wintermonaten, aber auch die starken Schwankungen innerhalb einer Saison.

Die **Abbildung 8B**² zeigt die statistische Verteilung der in **Abbildung 8A** dargestellten Tagesmaxima.

Bei der Betrachtung der **Abbildungen 8 A und B** wird deutlich, dass die Standorte untereinander zwar nur geringe Unterschiede aufweisen, in HHB jedoch die höchsten Werte gemessen wurden. Ohne Einwirkung von Licht (z.B. nachts) wird Ozon durch die Reaktion mit NO verbraucht. So sind in Quellnähe von NO (Straßenverkehr) im Mittel geringere Konzentrationen an Ozon vorzufinden als in quellfernen Gebieten (z.B. in ländlichen Regionen). Ein Vergleich mit den NO-Werten (Abbildungen 6 A und B) zeigt für NO einen umgekehrten Trend, mit höheren Werten am Standort SXF und geringeren am Standort HHB.

Die Entwicklung der Ozonwerte seit 2017 ist in **Abbildung 8 C** dargestellt. Die Jahresmittelwerte unterliegen zwischen den Jahren leichten Schwankungen. Ein Trend ist nicht erkennbar. Die Ozonwerte am ländlich gelegenen Standort HHB liegen jedes Jahr am höchsten.

Tabelle 6: Statistische Kenngrößen für Ozon (O_3) an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF*	BDF	BFM	ННВ
Mittelwert, O ₃	50	47	48	53
Max. SMW	171	153	163	167
Max. 8-h-Wert	160	140	153	149
8-h-MW > 120	13	8	9	5
8-h-MW > 120 , gemittelt über drei Jahre	13	13	18	13
SMW > 180	0	0	0	0
SMW > 240	0	0	0	0

^{*} Hinweis auf lineare Transformation%

²Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Ozon (O₃) @ SXF, BDF, BFM, HHB

A Gleitende 8h-Mittelwert-Tagesmaxima Ozon 2021

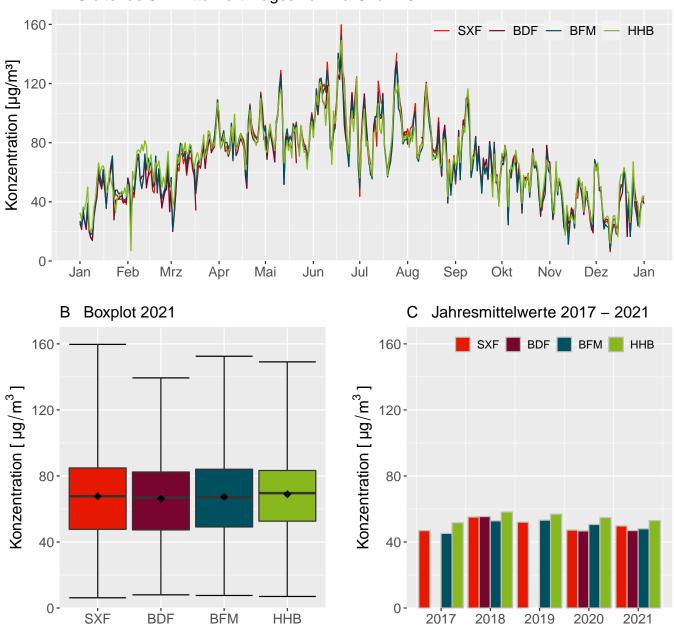


Abbildung 8: Darstellung der gleitenden 8h-Mittelwert-Tagesmaxima von O3 in 2021 für die Standorte SXF, BDF (DV 69%), BFM und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

2018

2019

2020

2021

Kohlenmonoxid

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert in Höhe von $10\,\mathrm{mg/m^3}$ im Jahresmittel wurde auch im Jahr 2021 am Standort SXF sowie den Vergleichsstandorten sicher eingehalten.

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen von Kohlenmonoxid (CO), ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF, sind in der **Tabelle 7** aufgeführt. Ergänzend dazu werden die Ergebnisse der Messstationen BFM und PZS des Brandenburger Messnetzes dargestellt.

Die Abbildung 9 A zeigt die zeitlichen Verläufe der CO-Konzentration an den Messstellen SXF, BDF, BFM sowie PZS. Die Kurven der Messstationen SXF, BDF und BFM liegen nah beieinander mit zwei Ausnahmen: In den Monaten Juni und Anfang Juli liegen die Messwerte am Standort BDF deutlich niedriger als an den anderen Standorten, am Standort SXF liegen die Messwerte im August höher als an den Stand-

orten BDF und BFM.

Am verkehrsnahen Standort PZS wurden das ganze Jahr über, mit Ausnahme der Monate Juli und August, die höchsten Messwerte gemessen. Die Kurven aller Standorte verlaufen weitestgehend parallel, was auf den Einfluss meteorologischer Parameter schließen lässt. Auch zeigt sich ein saisonaler Verlauf. Die CO-Konzentrationen sind im Sommer an allen Stationen niedriger als im Winter. Dieser Effekt ist am Standort BDF ausgeprägter als an den anderen Standorten.

Die Darstellung der Boxplots³ in **Abbildung 9 B** erleichtert den Vergleich der statistischen Kenngrößen bzw. der Streuung/Verteilung der Messwerte zwischen den Standorten. Vergleicht man die Maxima-Werte ergibt sich folgende Reihenfolge von den höchsten zu den niedrigsten Werten: PZS, BFM, BDF, SXF. Vergleicht man Median und Mittelwert und die Boxen (25-75-Perzentil-Bereich) ergibt sich folgende absteigende Reihenfolge: PZS, BFM SXF,

BDF. Obwohl am Standort BDF vereinzelt höhere Werte auftraten als am Standort SXF, ist der überwiegende Teil der Messwerte niedriger als die Messwerte am Standort SXF.

In Abbildung 9 C ist die Entwicklung der Jahresmittelwerte der CO-Konzentration der Standorte SXF und BDF sowie der Vergleichsstandorte BFM und PZS seit 2017 dargestellt. Der Standort SXF weist in 2017 und 2018 die niedrigsten Messwerte und im Jahr 2019 die höchsten Messwerte auf. Am Standort PZS verhält es sich umgekehrt: Die Messwerte in 2017 und 2018 liegen am höchsten und die Messwerte in 2019 am niedrigsten. Die Jahresmittelwerte von 2020 und 2021 liegen auf gleichem Niveau und sind leicht erhöht gegenüber 2019. Ähnlich verhält es sich am Standort BFM, hier liegen aber die Jahresmittelwerte von 2019 und 2020 am niedrigsten. Für den Standort BDF ist nur ein Vergleich zwischen den Jahren 2020 und 2021 möglich, wobei die Messwerte dieses Jahr höher liegen als im Vorjahr.

Tabelle 7: Statistische Kenngrößen für Kohlenmonoxid (CO) an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, mg/m ³	SXF	BDF	BFM	PZS
Mittelwert, CO	0,24	$0,\!22$	0,25	0,31
Max. SMW	0,95	0,84	1,63	1,25
Max. 8-h-GMWert	0,75	0,68	1,20	0,72
Max TMW	0,48	0,50	0,55	0,56

³Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Kohlenmonoxid (CO) @ SXF, BDF, BFM, PZS

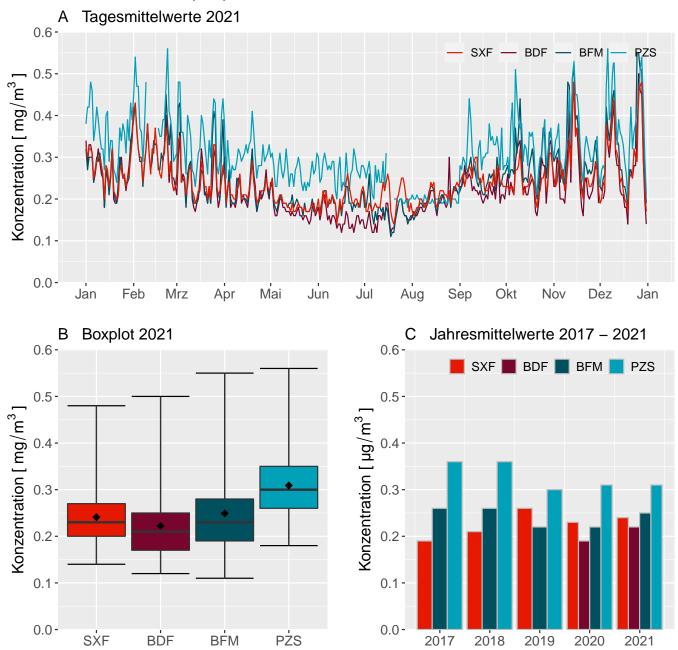


Abbildung 9: Darstellung der CO-Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BFM, PZS als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

Feinstaub PM₁₀

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen von Feinstaub (PM₁₀), ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der FBB-Luftgütemessstation SXF und BDF, sind in der **Tabelle 8** aufgeführt. Ergänzend dazu werden die Ergebnisse der Messstationen BFM, PZS und HHB des brandenburger Messneztes dargestellt.

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert in Höhe von $40~\mu g/m^3$ im Jahresmittel wurde an den FBB-Standorten SXF und BDF sowie an allen Vergleichsstandorten sicher eingehalten. Auch die gesetzlich zulässige Anzahl (35) an Überschreitungen von $50~\mu g/m^3$ Tagesmaximum wurde am Standort SXF und allen anderen Vergleichsstandorten deutlich unterschritten.

Die zeitlichen Verläufe der PM_{10} -Tagesmittelwerte werden in **Abbildung 10 A** dargestellt. Die Tagesmittelwerte der Standorte verlaufen parallel zueinander. Zudem sind die Konzentrationsunterschiede zwischen den Standorten relativ gering. Meteorologische Einflüsse haben demnach einen größeren Einfluss auf die PM10-Konzentration als räumliche. Saisonale Unterschiede sind erkennbar, aber schwach ausgeprägt. Die PM_{10} -Werte liegen während der Wintermonate tendenziell höher als während der Sommermonate.

Die Darstellung der Boxplots⁴ in **Abbildung 10 B** erleichtert den Vergleich der statistischen Kenngrößen bzw. der Verteilung der Messwerte zwischen den Standorten. An der verkehrsbezogenen Messstelle PZS wurden die höchsten Maximalwerte gemessen gefolgt von den Standorten BFM, HHB und BDF, respektive. Die niedrigsten Maximal-Werte wurden an der Messstelle SXF gemessen. Die Jahresmittelwerte der einzelnen Standorte liegen nah beieinander.

Die Entwicklung der PM_{10} -Belastung seit 2017 am Standort SXF sowie der Vergleichsmessstationen ist in **Abbildung 10 C** dargestellt. Die höchsten Werte wurden im Jahr 2018 gemessen. Danach sinken sie am Standort SXF von Jahr zu Jahr, während sie am Standort BDF steigen.

Tabelle 8: Statistische Kenngrößen für Schwebstaub (PM_{10}) an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg (Messungen mit Referenzverfahren)

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	ННВ
Mittelwert, PM ₁₀	14	16	16	18	15
Max. TMW	61	63	61	68	92
50-Perzentil	12	14	14	16	13
98-Perzentil	33	37	38	42	42
Tage $> 50 \ \mu g/m^3$	2	1	3	5	3

⁴Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Feinstaub (PM₁₀) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB Tagesmittelwerte 2021 100-BDF PZS HHB SXF **BFM** Konzentration [µg/m³] 75 50 25 0 -Jun Aug Jul Sep Dez Jan Feb Mrz Apr Mai Okt Nov Jan Boxplot 2021 Jahresmittelwerte 2017 - 2021 В 100 100 HHB **PZS** Konzentration [$\mu g/m^3$] 75-75 -Konzentration [µg/m³] 50-50-25 -25-

Abbildung 10: Darstellung der PM₁₀-Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BFM, PZS, HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

ннв

PŻS

вĖМ

0 -

SXF

вbF

2021

2020

2019

2018

Feinstaub PM_{2.5}

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen von Feinstaub (PM_{2.5}), ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF, sind in der **Tabelle 9** aufgeführt. Ergänzend dazu werden die Ergebnisse der Messstationen BFM, PZS und HHB des Brandenburger Messnetzes dargestellt. Die Werte der verschiedenen Stationen liegen nah beieinander.

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert für $PM_{2.5}$ von $25~\mu g/m^3$ im Jahresmittel wurde an allen Standorten sicher eingehalten.

Die **Abbildung 11 A** zeigt die zeitlichen Verläufe der PM_{2.5}-

Konzentration an den Standorten SXF, BDF, BFM, PZS und HHB. Die Kurven liegen nah beieinander und verlaufen weitestgehend parallel. Meteorologische Bedingungen sowie Ferntransport beeinflussen die Konzentrationen an $PM_{2.5}$ stärker als lokale Quellen.

Die Darstellung der Boxplots⁵ in **Abbildung 11 B** erleichtert den Vergleich der statistischen Kenngrößen und der Verteilung der Messwerte zwischen den Standorten. Die höchsten Maxima weist der Standort BFM auf, die niedrigsten der Standort SXF. Die Mediane sind an den Standorten SXF und HHB am niedrigsten, am höchsten ist der Median

am Standort BFM. Die Jahresmittelwerte sind an den Standorten BFM und PZS am höchsten, gefolgt von dem Standort HHB. Die niedrigsten Jahresmittelwerte weisen die Standorte SXF und BDF auf.

Die Entwicklung der PM_{2.5}-Belastung seit 2017 am Standort SXF sowie der Vergleichsstandorte ist in **Abbildung 11 C** dargestellt. Im Jahr 2019 war die PM_{2.5}-Belastung niedriger als in den Vorjahren. Dieser Abwärts-Trend setzt sich in den Jahren 2020 und 2021 fort. An allen Standorten sind die Jahresmittelwerte im Jahr 2020 am niedrigsten.

Tabelle 9: Statistische Kenngrößen für Feinstaub ($PM_{2.5}$) an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	ННВ
Mittelwert, $PM_{2.5}$	10	11	12	11	11
Max. TMW	37	37	47	39	40
50-Perzentil	8	9	10	10	9
98-Perzentil	29	30	32	30	29

⁵Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Feinstaub (PM_{2.5}) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB

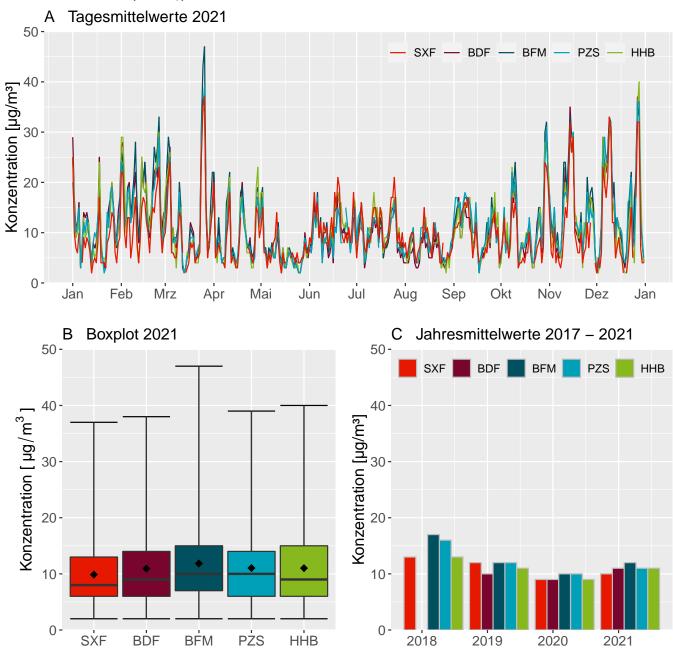


Abbildung 11: Darstellung der PM_{2.5}-Tagesmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BFM, PZS, HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

Benzol

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen der gemessenen Benzolkonzentration, ermittelt anhand der Messdaten der FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie der LfU-Messstandorte BFM, PZS und PGS, sind in **Tabelle 10** aufgeführt.

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert für Benzol in Höhe von $5 \mu g/m^3$ im Jahresmittel wurde an allen Messstellen sicher eingehalten.

Die Abbildung 12 A zeigt den zeitlichen Verlauf der Benzol-Wochenmittelwerte der FBB-Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie Vergleichsstandorte. Es zeigt sich ein saisonaler Verlauf mit niedrigeren Werten im Sommer und höheren Werten im Winter. Hausbrand stellt eine wesentliche Quelle für Benzol dar und bewirkt diesen saisonalen Verlauf. Die Meteorologie hat auch einen unmittelbaren Einfluss auf den Gehalt an Benzol in der Luft. Dies erklärt die Schwankungen der gemessenen Konzentrationen, insbesondere während der Wintermonate.

Die Darstellung der Boxplots⁶ in **Abbildung 12 B** ermöglicht einen Vergleich der statistischen Kenngrößen und Verteilung der Messwerte. Am Standort PGS wurden die höchsten

Werte gemessen, am Standort BDF die niedrigsten. Am Standort PZS ist die Streuung der Messwerte deutlich geringer als an den anderen Standorten. Die **Abbildung 12 A** zeigt, dass hier der saisonale Verlauf deutlich geringer ausgeprägt ist, als an den anderen Standorten. Hier spielt der Straßenverkehr als jahreszeitunabhängige Quelle eine entscheidende Rolle.

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von Benzol seit 2017 an den Standorten SXF, BFM und PZS ist in **Abbildung 12** C dargestellt. Seit 2017 zeigt sich für alle Messtellen ein Abwärtstrend.

Tabelle 10: Statistische Kenngrößen für Benzol an der Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	PGS
Mittelwert, Benzol	0,51	0,41	0,55	0,65	0,79
Max. WMW	1,12	1,30	1,29	1,04	1,71
50-Perzentil	0,43	0,35	0,45	0,62	0,75
98-Perzentil	1,06	1,14	1,25	1,03	1,59

⁶Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58



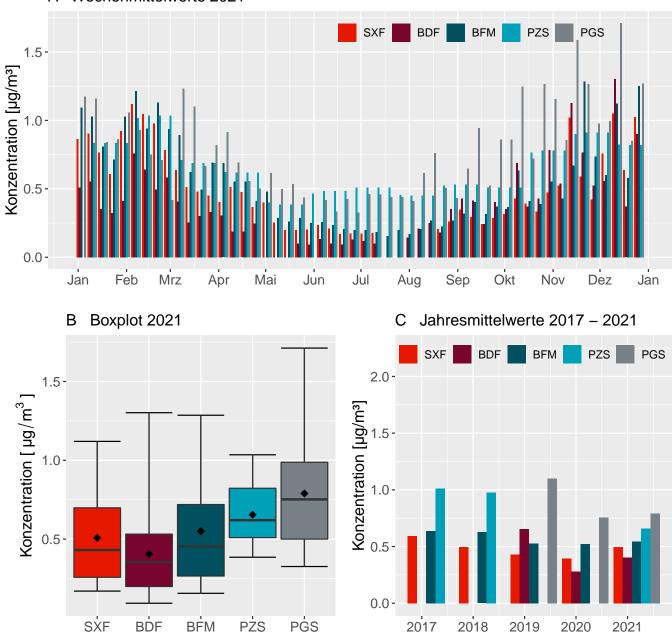


Abbildung 12: Darstellung der Benzol-Wochenmittelwerte 2021 für die Standorte SXF, BFM, PZS als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung der aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie weitere statistische Kenngrößen von Benz[a]pyren an den FBB-Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie vergleichend den LfU-Standorten BFM und PZS, ermittelt aus den Messdaten Luftgütemessstation der FBB und des LfU, sind in **Tabelle 11** aufgeführt.

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert für Benz[a]pyren in Höhe von 1 ng/m³ im Jahresmittel wurde am Standort SXF und an den anderen Standorten sicher eingehalten (siehe **Abbildung 13 B u. C** und **Tabelle 11**).

Die Darstellung der Wochenmittelwerte im Jahresverlauf (**Abbildung** 13 A) zeigt für alle vier Standorte einen ausgeprägten saisonalen Ver-

lauf mit hohen Werten im Winter und niedrigen Werten im Sommer. Im Sommer liegen die Werte teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze. In den Monaten November und Dezember wurden die drei höchsten Wochenmittelwerte der Messperiode gemessen.

Die Boxplot-Darstellung⁷ in **Abbildung 13 B** ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich der Standorte anhand der statistischen Verteilung der Messwerte. 50 Prozent der Messwerte (Median) liegen unter 0,23 ng/m³ (Bsp. SXF). Die Betrachtung des 98-Perzentils (**Tabelle 11**) zeigt, dass nur zwei Prozent der Messwerte größer 2.12 ng/m³ sind (Bsp. SXF). Aufgrund der wenigen deutlich erhöhten Werte im Winter ist die Streuung der Messwerte sehr hoch bei sehr ungleichmäßiger Verteilung.

So liegen die Mittelwerte deutlich über dem Median und teilweise sogar oberhalb des 75-Perzentils.

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von Benz[a]pyren seit 2017 an den Standorten SXF, BFM und PZS (mit Ausnahme von 2018 und 2020) und PGS ist in Abbildung 13 C dargestellt. Es ist kein Trend erkennbar. Im Jahr 2019 liegen die Werte (mit Ausnahme von BDF) deutlich unter denen der Vergleichsjahre. Die Jahresmittel in 2020 sind zwar höher als im Jahr 2019 aber niedriger als in den Jahren 2016 bis 2018. Im Jahr 2021 ist der Jahresmittelwert am Standort SXF niedriger als im Vorjahr während die anderen Standorte höhere Jahresmittelwerte aufweisen als im Vorjahr.

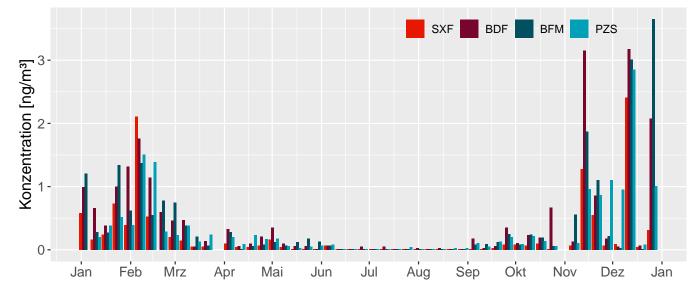
Tabelle 11: Statistische Kenngrößen für Benz[a]pyren an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, ng/m^3	SXF	BDF	BFM	PZS
Mittelwert, BaP	0,23	0,44	0,41	0,33
Max. WMW	2,41	3,18	3,65	2,85
50-Perzentil	0,05	0,12	0,12	0,13
98-Perzentil	2,12	3,15	3,02	1,56

⁷Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

Benzo[a]pyren @ SXF, BDF, BFM, PGS

A Wochenmittelwerte 2021



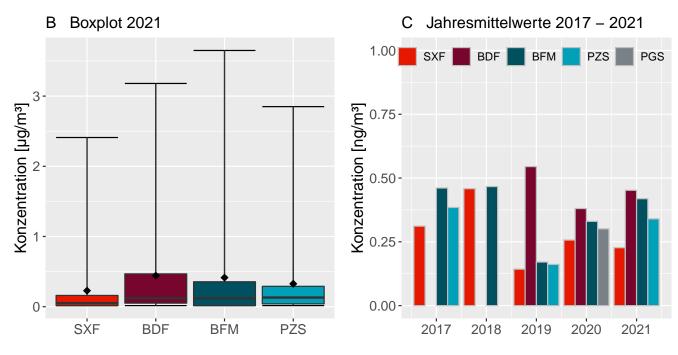


Abbildung 13: Darstellung der (A) Wochenmittelwerte 2021 der Benz[a]pyren-Konzentration sowie (B) der Messwertverteilung für die Standorte SXF, BFM und PZS; (C) Darstellung der Jahresmittelwerte der letzten fünf Jahre

Ruß

Die Jahresmittelwerte 2021 sowie statistische Kennzahlen der gemessenen Rußkonzentrationen an den FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie an den Standorten BFM und PZS des Luftgütemessnetzes Brandenburg sind in Tabelle 12 aufgeführt. Die Komponente Ruß obliegt derzeit keiner Grenzwertregelung. Der in der aufgehobenen 23. BImSchV für Ruß verankerte Grenzwert betrug ehemals $8 \mu g/m^3$. Die Jahresmittelwerte an allen vier Standorten liegen deutlich unter diesem ehemaligen Grenzwert.

Die **Abbildung 14 A** zeigt den zeitlichen Verlauf der Wochenmittelwerte der Rußkonzentration für das Jahr 2021 der Standorte SXF, BDF, BFM und PZS. Die höchsten Werte wurden im Oktober und November gemessen. Ein schwach ausgeprägter saisonaler Effekt ist erkennbar mit tendenziell höheren Werten im Winter. Die Schwankungen zwischen den Wochen sind auf meteorologische Bedingungen wie Windrichtung und Höhe der Durchmischungsschicht zurückzuführen.

Die Unterschiede zwischen den Standorten sind relativ gering, wobei die Standorte BDF und BFM die höchsten Maximalwerte aufweisen und am Standort SXF die niedrigsten Werte gemessn wurden (siehe auch **Abbildung 14B**). Mittelwert und Median liegen bei allen Standorten nah beieinander aufgrund der geringen Streuung der Messwerte.⁸

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte der Rußkonzentration der letzten fünf Jahre an den Standorten SXF, BDF, BFM und PZS/PGS kann Abbildung 14 C entnommen werden. An den Standorten SXF, BDF und BFM liegt der Jahresmittelwert im Jahr 2020 niedriger als in den Vorjahren. Im Jahr 2021 bleiben die Werte am Standort SXF trotz des Anstieges des Flugverkehrs auf dem Vorjahresniveau. An den Standorten BDF und BFM ist ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Tabelle 12: Statistische Kenngrößen für Ruß an der Luftgütemessstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg

stat. Kenngröße, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS
Mittelwert, Ruß	1,4	1,7	1,8	1,6
Max. WMW	2,3	3,7	3,5	2,7
50-Perzentil	1,4	1,7	2,1	2,1
98-Perzentil	2,2	2,9	3,4	2,5

⁸Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**, Seite 58

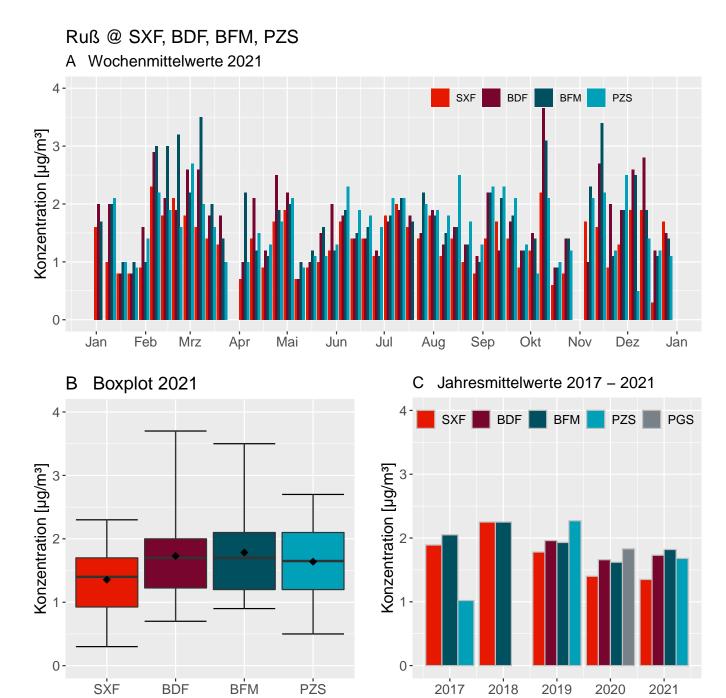


Abbildung 14: Darstellung der (A) Wochenmittelwerte der Ruß-Konzentration sowie (B) der Messwertverteilung für die Standorte SXF, BDF, BFM und PZS; (C) Darstellung der Jahresmittelwerte der letzten fünf Jahre



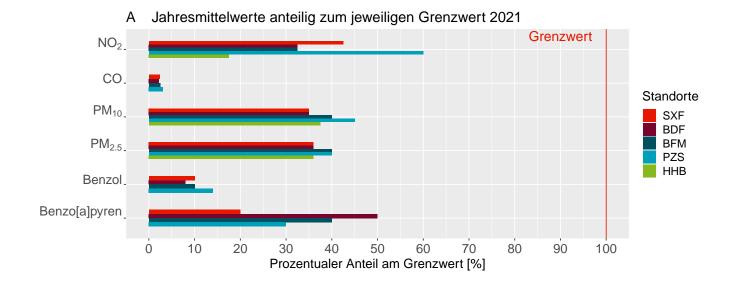
Zusammenfassung

Die gesetzlichen Grenz- und Zielwerte wurden im Jahr 2021 für alle gemessenen Parameter an den FFB-Luftgütestandorten sicher eingehalten.

Die **Abbildung 15 A** zeigt zusammenfassend die Jahresmittelwer-

te der relevanten Schadstoffe als prozentualen Anteil zum jeweiligen Grenzwert. In der **Abbildung 15 B** wird die Anzahl der gemessenen Überschreitungen als prozentualer Anteil der jeweils zulässigen Anzahl an Überschreitungen für Ozon und

 PM_{10} dargestellt. Bei Ozon handelt es sich um einen Zielwert, wobei die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre, maßgeblich ist.



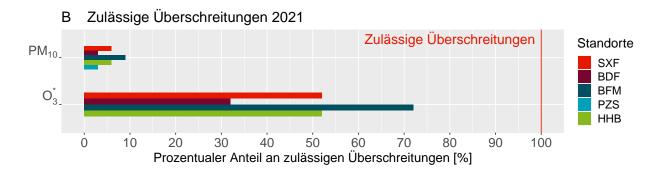


Abbildung 15: Relation der an den Standorten SXF, BDF, BFM, PZS, PGS und HHB ermittelten Jahresmittelwerten in 2021 zum jeweiligen Grenzwert bzw. *Zielwert (Ozon, Dreijahresmittel)

Die Abbildung 16 A und B zeigen die Entwicklung der Verkehrszahlen (Anzahl der Passagiere und Anzahl der Flugbewegungen) sowie die Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen am Standort SXF seit 2012. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Luftschadstoffen untereinander und mit den Verkehrszahlen zu gewährleisten, wurden sowohl die Anzahl der Verkehrszahlen als auch die Konzentrationen auf das Jahr 2012 genormt.

Von 2013 bis 2018 stiegen die Flugbewegungen am Standort Schönefeld kontinuierlich an. Bei den Passagierzahlen ist ein leichter Rückgang seit 2017 zu verzeichnen, die Flugbewegungen sind seit 2018 rückläufig. Beide Parameter liegen in 2019 wieder auf dem Niveau von 2016. Im Jahr 2020 sanken die Flugbewegungen und die Passagierzahlen auf ca. 50% des Niveaus von 2012 und stiegen im Jahr 2021 auf ca. 150% im Vergleich zu 2012. Die Anzahl der Flugbewegungen erreichte damit das Niveau von 2019.

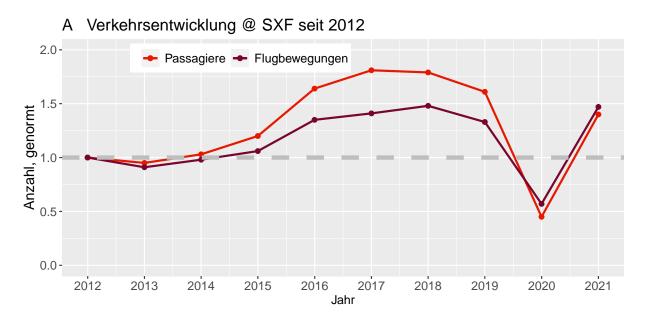
Die Entwicklung der Flugbewegungen ist nicht im zeitlichen Verlauf der Luftschadstoff-Konzentrationen erkennbar. Mit Ausnahme von NO₂ und Benzol weisen die Schadstoffe ein Maximum im Jahr 2014 auf. Im Jahr 2017 lagen die Jahresmittelwerte von Ruß und $PM_{2.5}$ leicht über denen von 2012. NO_2 und PM_{10} sind auf dem Niveau von 2012 während Benz[a]pyren, Kohlenmonoxid und Benzol deutlich niedriger als 2012 liegen. In 2018 liegen die Messwerte von Ruß, Benz[a]pyren und PM_{10} höher als in den letzten drei Jahren. NO₂ und PM_{2.5} liegen auf gleichem Niveau wie in den Vorjahren. Im Jahr 2019 erreichten die Jahresmittelwerte von Benzol und Benz[a]pyren ein Minimum, während die anderen Schadstoffe nur wenig vom Jahresmittelwert aus 2012 abwichen. Im Jahr 2021 lag die Konzentration an CO geringfügig über dem Niveau von 2012. Alle anderen Schadstoffe liegen unterhalb des Niveaus von 2012.

Der drastische Rückgang der Ver-

kehrszahlen im Jahr 2020 spiegelt sich nicht in gleichem Maße in der Entwicklung der Schadstoffkonzentration wider. Zwar sind mit Ausnahme von Benzo[a]pyren die Jahresmittelwerte aller Schadstoffe geringer als im Vorjahr, jedoch fällt der Rückgang der Jahresmittelwerte prozentual deutlich geringer aus als der Rückgang der Verkehrszahlen. Der Jahresmittelwert von Benzol ist im Jahr 2020 etwa 50% niedriger als im Jahr 2012, allerdings lagen auch die Jahresmittelwerte der Vorjahre schon deutlich unter dem Niveau von 2012.

Die Entwicklung der letzten Jahre zeigt, dass eine Erhöhung der Verkehrszahlen nicht unmittelbar zu einer Erhöhung der Immission von Schadstoffen führen muss. Umgekehrt hat der drastische Rückgang der Verkehrszahlen im Jahr 2020 nur zu einem leichten Rückgang der Immission geführt.

Diese Untersuchung wird in den Folgejahren fortgeführt.



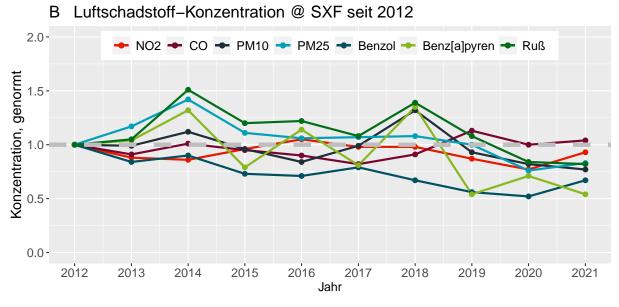


Abbildung 16: Normierte Darstellung der (A) Verkehrsentwicklung sowie der (B) Jahresmittelwerte am Standort SXF seit 2012



Zusatzinformation

Ultrafeinstaub

Allgemeine Informationen

Ultrafeinstaub (UFP) bezeichnet zusammenfassend Aerosole und Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 100 nm. Aufgrund der geringen Größe und der damit verbundenen geringen Masse der Partikel, ist eine Massenbestimmung von UFP nicht möglich. Stattdessen werden die Partikel gezählt. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die partikelgrößenabhängige Massenkonzentration (schwarze Kurve) und Anzahlkonzentration (rote Kurve) eines typischen Aerosols.

Es gibt derzeit keine gesetzlichen Regelungen hinsichtlich eines Grenz-, Schwellen- oder Informationswertes. Deshalb ist die Messung von UFP auch nicht Teil einer verpflichtend und routinemäßig durchgeführten Immissionsüberwachung. Vielmehr ist UFP fortlaufend Thema von Forschung und Wissenschaft. Toxikologische Studien geben zwar Hinweise auf eine gesundheitliche Relevanz von UFP. Aber es gibt derzeit noch keine Ergebnisse zu einer Dosis-Wirkungs-Beziehung und somit auch keinen Grenzwert. Hierzu besteht weiterhin Forschungsbedarf.

In den letzten Jahren ist das Thema UFP zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Dieses Interesse unterstützt die FBB und möchte mit ihren UFP-Messungen einen aktiven Beitrag zur Charakterisierung der Außenluft im Flughafenumfeld leisten. Seit Oktober 2016 misst die FBB als erster deut-

scher Flughafen UFP an der stationären Luftgütemessstation am Standort SXF. Die Messungen erfolgen weitestgehend kontinuierlich, wobei es Unterbrechungen für Qualitätskontrollen (siehe Qualitätssicherung, S. 49) bzw. notwendige Reparaturen geben kann. Die Messtechnik sowie erste Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

Seit März 2018 hat die FBB darüber mobile hinaus eine Luftgütemessstation in Bohnsdorf aufgestellt. Hier wird neben den klassischen Luftgüteparametern ebenfalls UFP gemessen. Darüberhinaus misst das LfU seit Mai Messstelle Blankenfeldean der Mahlow (BFM) ebenfalls die UFP-Anzahlkonzentration.



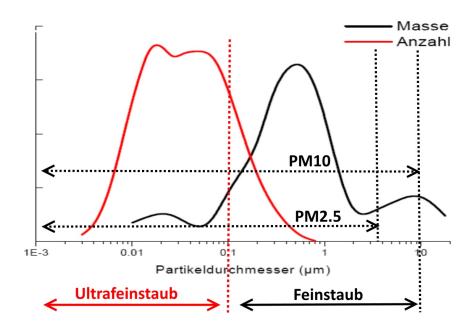


Abbildung 17: Partikelgrößenabhängige Massen- und Anzahlkonzentration eines typischen Aerosols

Ultrafeinstaub-Messungen der FBB

Messtechnik

Als UFP-Messgerät kommt das SMPS+C, Modell 5.420 der Firma GRIMM zum Einsatz. Die Abbildung 18 zeigt das in der stationären Luftgütemessstation der FBB eingebaute UFP-Messgerät. Mit diesem Gerät sind 24/7 Echtzeit-Messungen mit hoher zeitlicher Auflösung möglich. Es lässt sich in drei verschiedenen Messmodi betreiben, die im Folgenden vorgestellt werden.

Messmodi

Einerseits kann die Gesamtpartikelanzahl gemessen werden, wobei Partikel innerhalb eines Größenbereiches von 5 nm bis 1.000 nm erfasst werden (Messmethode a). Mit diesem Messmodus wurde die UFP-Messung von Oktober 2018 bis Dezember 2018 betrieben.

Des Weiteren gibt es die Möglichkeit, vor der Zähleinheit einen Größenklassierer einzubauen. Dies ermöglicht eine Messung der größenabhängigen Partikelanzahl (Messmethode b). Es gibt zwei

verschiedene Größenklassierer: M-DMA und L-DMA. Mit dem M-DMA wird ein Größensprektrum von 5 nm bis 350 nm, mit dem L-DMA ein Größensprektrum von 10 nm bis 1.094 nm erfasst. Die größenklassierte Messung mit einem L-DMA wurde am Standort SXF von Januar bis Mai 2018 und am Standort BFM vom 15. März bis Dezember 2018 durchgeführt.

Die **Abbildung 20** zeigt die drei Messmodi und die Anwendung im Messprogramm der FBB als Übersicht.

Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der UFPMessung zur Gewährleistung von
Transparenz und Vergleichbarkeit
mit anderen Messergebnissen nimmt
einen großen Stellenwert ein. Als
Partner für die Qualitätssicherung
steht der FBB das Leibnitz-Institut
für Troposphärenforschung zur Seite.
Das TROPOS ist Mitglied des WeltKalibrierzentrums für Aerosolphysik
(WCCAP: World Calibration Centre for Aerosol Physics) und ebenso

Teil der Europäischen Forschungsinfrastruktur für Untersuchungen von Aerosolen, Wolken und Spurengasen (ACTRIS: Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds and Trace gases). Innerhalb des ACTRIS wurden Standards für UFP-Messungen definiert. Gemäß diesen Standards sind die UFP-Messsysteme des TROPOS als Referenzmesssysteme anerkannt. Damit ist das TROPOS anerkannte Anlaufstelle zur Kalibrierung und Qualitätskontrolle von UFP-Messungen. Als solches fungierte es auch im Rahmen des GUAN.

Die Qualitätssicherung erfolgt einbis zweimal jährlich in Form eines Instrumentenabgleiches mit dem Referenzsystem des TROPOS. Hierzu findet jährlich ein einwöchiger Workshop in den Laboren des TROPOS statt. Zudem werden Vergleichsmessungen und Tests in den Messstationen der FBB durchgeführt. Darüber hinaus werden in kürzeren Abständen beide Geräte für ein bis zwei Tage parallel in einer der beiden FBB-Messstationen betrieben.





Abbildung 18: UFP-Messgerät in der stationären Luftgütemessstation der FBB



Abbildung 19: Kalibrierworkshop im Labor des Leibnitz-Institutes für Troposphärenforschung

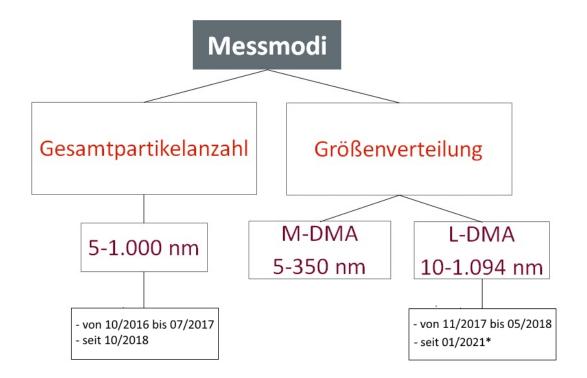


Abbildung 20: Übersicht der Messmodi des UFP-Messgeräts und deren Anwendung für die Messungen der FBB. Datenerhebung erfolgt im Rahmen des Forschungsprojektes ULTRAFLEB, für mehr Informationen siehe https://www.tropos.de/forschung/grossprojekte-infrastruktur-technologie/ultrafleb

Messwerte 2021

Die Abbildung 21 A zeigt den zeitlichen Verlauf der 30-min-Mittelwerte der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF und BFM (Luftgütemessnetz Brandenburg) für den Zeitraum Januar bis Dezember 2021. Während des gesamten Zeitraums wurde die Gesamtpartikelanzahl ohne vorgeschalteten Größenklassierer (DMA) gemessen (Messmethode a). Die gemessenen Werte liegen am Standort SXF höher als an den Standorten BDF und BFM, die in etwa auf gleichem Niveau liegen.

Die Darstellung der Boxplots in Abbildung 21 B ermöglicht einen Vergleich der statistischen Kenngrößen zwischen den Standorten und verdeutlicht die Unterschiede der UFP-Belastung zwischen den Standorten SXF, BDF und BFM. Die statistische Streuung der Messwerte am Standort SXF ist ausgesprochen breit. Der

Median 9 liegt mit 8.744 #/ccm nicht viel höher als der Median der beiden Messstellen BDF und BFM. Der Mittelwert hingegen ist mehr als doppelt so hoch als an den Standorten BDF und BFM.

Diese breite Streuung erklärt sich durch die vereinzelt extrem hohen Werte in der zweiten Jahreshälfte (siehe Abbildung 21 A. Eine entscheidende Rolle spielt hier auch die unmittelbare Nähe zur Quelle, insbesondere der direkt an der Messstelle vorbeiführenden Betriebsstraße. Vorbeifahrende Fahrzeuge erzeugen kurzzeitig (wenige Sekunden) einen enormen Anstieg der Partikelanzahl. Startende und landende Flugzeuge hingegen bewirken einen wesentlich geringeren Anstieg der Partikelanzahl, der sich allerdings über einige Minuten erstreckt.

An den Standorten BDF und BFM ist die Variabilität der Messwerte geringer als am Standort SXF. Mittel-

wert und Median liegen nahe beieinander (siehe **Tabelle 13**).

Die Entwicklung der Jahresmittelwerte¹⁰ seit 2017 wird in **Abbildung 21** C dargestellt. Das Jahr 2020 stellt für den Standort SXF das Jahr mit der geringsten UFP-Belastung dar. An den Standorten BFM und BDF hingegen sind in diesem Jahr die höchsten Werte im Jahresvergleich gemessen worden. Im Jahr 2021 liegt am Standort SXF der UFP-Jahresmittelwert höher als in den vergangen drei Jahren, an den Standorten BDF und BFM niedriger als im Vorjahr.

Der drastische Rückgang des Flugverkehrs im Jahr 2020 und der Anstieg des Flugverkehrs im Jahr 2021 sind deutlich an der gemessenen UFP-Anzahlkonzentration sowie der statistischen Streuung der Messwerte am Standort SXF zu erkenen. An den Standorten BDF und BFM spiegelt sich die Entwicklung des Flugverkehrs im Jahresvergleich nicht wider.

¹⁰Für die Bildung der Jahresmittelwerte wurden nur die gemessene Gesamtpartikelanzahl einbezogen. Der Zeitraum, in dem größenverteilt gemessen wurde, fließt nicht in die Jahresmittelbildung ein. Der Grund dafür ist die Unterschätzung der Gesamtpartikelanzahl bei der Messung der Größenverteilung (siehe LG-Bericht 2018).



⁹Median bedeutet, 50 % aller Messwerte liegen unterhalb dieses Wertes (siehe hierzu auch **Abbildung 24**).

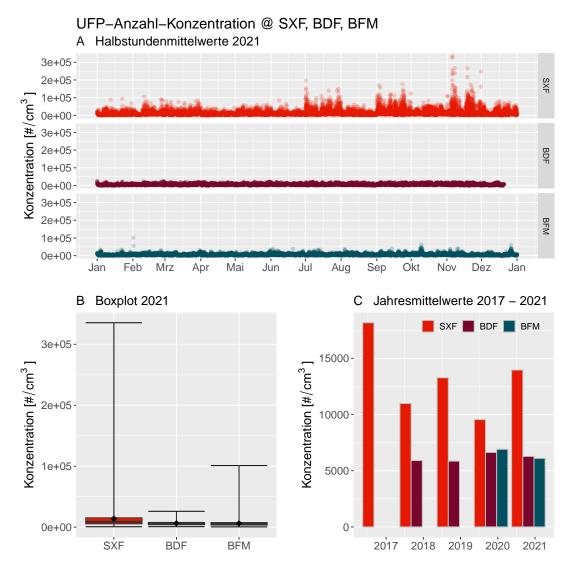


Abbildung 21: Halbstundenmittelwerte Gesamtpartikelanzahl UFP an den Standorten SXF, BDF und BFM 2021

Tabelle 13: UFP-Messwerte an den Standorten SXF, BDF und BFM, 2021

	Ort	Mittel	Median		Maximum
	SXF	13.953	8.744	15.316	
	BDF	6.270	5.517	7.749	
	BFM	6.092	5.089	7.541	
-					

a: Gesamtpartikelanzahl

Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl 2021

Die Abbildung 22 zeigt den Einfluss der Windrichtung auf die Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF und BFM unterschieden zwischen Tag und Nacht für den Messzeitraum 2021. ¹¹ Als Nacht wurde der Zeitraum von 0 bis 6 Uhr definiert, in dem kein bzw. stark reduzierter Flugverkehr stattfindet.

Um anhand der Windrichtung mögliche Quellen besser erkennen zu können, wurden die Abbildungen auf einer Karte an dem jeweiligen Standort platziert. Am Standort SXF zeigen sich deutlich erhöhte Messwerte bei Windrichtungen aus Richtung der Nordbahn und der Vorfeldflächen. Im Vergleich zu den Vorjahren (siehe Abbildung 23) hat sich die Ausprägung der Percentilrose in südliche Richtung verschoben, was auf den Einfluss der Südbahn zurückzuführen ist. Am Standort BDF zeigen sich höhere Messwerte sowohl bei Windrichtungen aus Richtung des Flughafens (SW), als auch bei Windrichtungen aus NO. Am Standort BFM sind

höhere Messwerte aus Richtung Flughafen (O) zu erkennen.

Während der Nachtstunden ohne Flugverkehr sind an den Standorten BDF und BFM keine erhöhten Werte aus Flughafenrichtung zu beobachten

Am Standort SXF sind die Konzentrationsunterschiede zwischen Tag und Nacht deutlich stärker ausgeprägt als an den Standorten BDF und BFM.



 $^{^{11}}$ Für den Standort BFM liegen Messdaten vom 31.05. bis 31.12.2020 vor

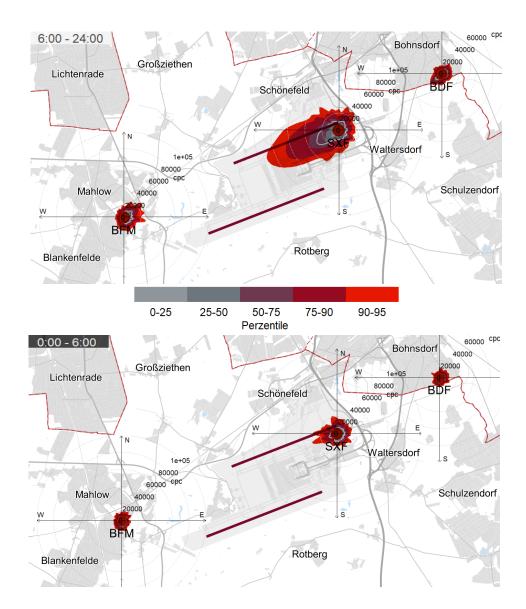


Abbildung 22: Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF und BFM, unterschieden zwischen Tag und Nacht, 2021

Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl Jahresvergleich 2019 bis 2021

Die **Abbildung 23** zeigt die UFP-Belastung in Abhängigkeit von der Windrichtung an den Standorten SXF, BDF und BFM verglichen zwischen den Jahren 2019, 2020 und 2021.¹²

Wie auch schon in **Abbildung 21 C** zu erkennen ist, zeigt sich ein deutlicher Rückgang der UFP-Belastung am Standort SXF im Jahr 2020 und eine deutliche Zunahme im Jahr 2021. Hier ist der Einfluss des Flugverkehrsaufkommens deutlich erkennbar. An den Standorten BDF und BFM sind kaum Unterschiede zwischen den Jahren zu beobachten.

Allerdings zeigt die Percentilrose am Standort BFM im Jahr 2021 eine stärkere Ausprägung in Flughafenrichtung und besonders ausgeprägt in Richtung der beiden Start- und Landebahnen. Es fehlt leider der Vergleich zum Jahr 2019, da die Messungen erst im Mai 2020 begonnen haben.

Die windrichtungsabhängige Darstellung lässt einen Einfluss des Flughafens auf die UFP-Belastung auch an den Standorten BDF und BFM erkennen. Der Jahresvergleich verdeutlicht aber auch, dass andere Einflüsse, wie z.B. die Meteorolo-

gie und andere umliegende Quellen ebenfalls einen Einfluss auf die UFP-Belastung ausüben. Diese Einflüsse sind so groß, dass der drastische Rückgang des Flugverkehrs im Jahr 2020 nicht zu einer Reduzierung der UFP-Belastung am Standort BDF führte und umgekehrt der Anstieg des Flugaufkommens in 2021 nicht mit einem Anstieg der UFP-Konzentration im Jahresmittel am Standort BDF einherging (trotz des erkennbaren Einflusses des Flughafens bei windabhängiger Betrachtung).



 $^{^{12}\}mathrm{Messzeitraum}$ Standort BFM im Jahr 2020: vom 31.05. bis 31.12.

Partikel-Anzahl-Konzentration #/ccm, @SXF & @BDF & @BFM 2019-2021

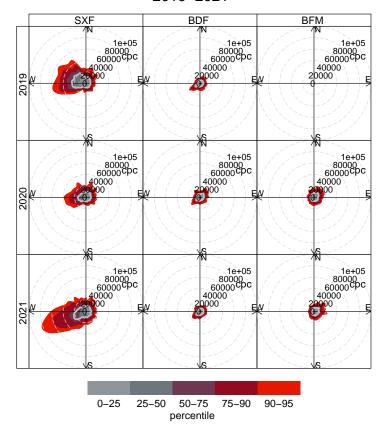


Abbildung 23: Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF und BFM, 2019-2021

Jahresmittelwerte weiterer VOC und PAK

Im Rahmen der Immissionsüberwachung von Benzol respektive Benz[a]pyren werden weitere ringförmige sowie aliphatische volatile organische Kohlenwasserstoffe als auch weitere polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe analysiert, die keiner Grenzwertregelung unterliegen. Diese sind der Vollständigkeit halber in den **Tabellen 14 und 15** aufgeführt.

Tabelle 14: Jahresmittelwerte volatiler organischer Kohlenwasserstoffe (VOC) an den Standorten SXF, BDF, BFM, PZS und PGS

VOC, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	PGS
Benzol	0,49	0,40	0,54	0,66	0,78
Ethylbenzol	0,10	0,06	0,13	0,39	0,31
Toluol	0,46	0,55	0,68	1,50	1,45
m/p-Xylol	0,28	0,18	0,34	1,03	1,77
o-Xylol	0,09	0,03	0,12	0,44	0,28

Tabelle 15: Jahresmittelwerte polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) an den Standorten SXF, BDF, BFM und PZS

PAK, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS
Benz(a)anthracen	0,17	0,31	0,28	0,26
Benzo(a)pyren	0,23	0,45	0,42	0,34
Benzo-(b)-fluoranthen	0,32	0,53	0,49	0,43
Benzo-(j)-fluoranthen	0,47	0,86	0,80	0,62
Benzo-(k)-fluoranthen	0,14	0,22	0,22	0,19
Dibenz(a,h)anthracen	0,02	0,03	0,03	0,02
Indeno(1.2.3-cd)pyren	0,20	0,33	0,33	0,31



Boxplot-Darstellung

Boxplot-Darstellungen sind eine gängige Methode, um die Verteilung oder auch Lage eines Datensatzes zu visualisieren. Hierfür wird die Fünf-Punkte-Zusammenfassung des Datensatzes, bestehend aus Minimum (Min), 25-Perzentil-Wert (P25), Median, 75-Perzentil-Wert (P75) und Maximum (Max) herangezogen.

Abbildung 24 A zeigt beispielhaft die Tagesmittelwerte der 2016er NO₂-Messreihe für den Messstandort SXF im Jahresverlauf. Abbildung 24 B zeigt den gleichen Datensatz, wie Abbildung 24 A, wobei die Messwerte nun der Größe nach angeordnet sind. Minimum, 25-Perzentil-Wert (P25), Medi-

an, 75-Perzentil-Wert (P75) und Maximum teilen den gesamten, der Größe nach geordneten Datensatz auf der x-Achse in vier gleich große Teilmengen (Quartile). Auf der y-Achse kann der jeweils zugehörige Messwert abgelesen werden. Abbildung 24 C zeigt die eigentliche Boxplot-Darstellung. Dabei repräsentiert die farbige Box die mittleren 50 Prozent der Daten – also das zweite und dritte Quartil, die durch den Median voneinander abgegrenzt werden. Der untere Whisker (vertikale Linie) zeigt das erste Quartil (Minimum bis P25), der obere das vierte Quartil (P75 bis Maximum).

Boxplot-Darstellungen bieten sich an, um verschiedene Datensätze miteinander zu vergleichen. Durch die Ausdehnung bzw. Stauchung der Quartile kann abgeschätzt werden, ob die Quartils-Datenmenge eng beieinander liegt oder gestreut ist. Eine weite Streuung kann allerdings auch durch nur einen einzigen Wert innerhalb des Quartils verursacht sein. Zusätzlich zur Darstellung der Fünf-Punkte-Zusammenfassung als Boxplot, wird in Abbildung 24 C der Mittelwert des gesamten Datensatzes als gefüllte Raute dargestellt.

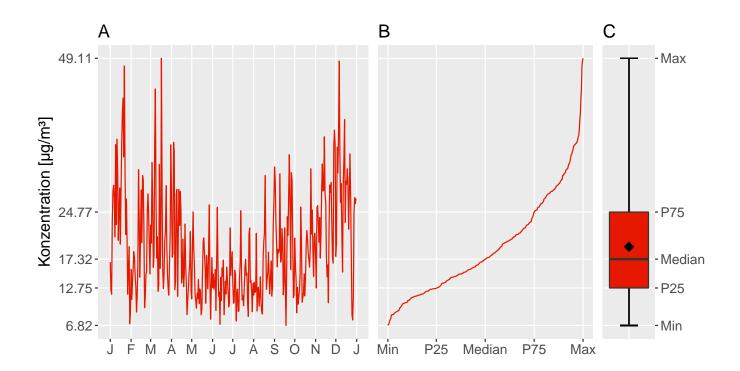


Abbildung 24: Erläuterung zum Boxplot (NO₂-Messreihe 2018 für den Standort SXF als (A) Zeitreihe, (B) der Größe nach geordnet und (C) als Boxplot-Darstellung)

Umweltabteilung Team Immissionsschutz Dr. Uta Wolf-Benning & Sebastian Aust Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 12521 Berlin http://www.berlin-airport.de/

Vorsitz des Aufsichtsrates: Jörg Simon Vorsitz der Geschäftsführung: Aletta von Massenbach Geschäftsführer Personal: Michael Halberstadt Geschäftsführer Operations: Thomas Hoff Andersson

Sitz der Gesellschaft: Schönefeld Registergericht: Amtsgericht Cottbus HRB 9380 CB

Titelbild, Fotos S. 18, 46: Uta Wolf-Benning Foto S. 7: Stephanie Brandt Fotos S. 12, 27, 42: Sebastian Aust Foto S. 17: Robert Preußner

Stand: Juni 2022

