

Luftgütebericht 2020

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	48
Jahresmittelwerte weiterer VOC und PAK	56
Boxplot-Darstellung	57

Abbildungen

1	Verortung Luftgütemessstellen in und um Berlin	11
2	Verortung Luftgütemessstelle der FBB	15
3	Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung am Standort SXF	15
4	Darstellung der meteorologischen Tagesmittel von Temperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung	21
5	Messdaten Stickstoffdioxid (NO_2)	23
6	Messdaten Stickstoffmonoxid (NO)	25
7	Messdaten Stickoxide (NO_x)	26
8	Messdaten Ozon (O_3)	29
9	Messdaten Kohlenmonoxid (CO)	31
10	Messdaten Feinstaub PM_{10}	33
11	Messdaten Feinstaub $\text{PM}_{2.5}$	35
12	Messdaten Benzol	37
13	Messdaten Benz[a]pyren	39
14	Messdaten Ruß (EC)	41
15	Normierte Luftschadstoff-Konzentrationsniveaus	43
16	Normierter Verlauf der Verkehrsentwicklung sowie Jahresmit- tel der Luftschadstoffe	45
17	Partikelgrößenabhängige Massen- und Anzahlkonzentration ei- nes Aerosols	47
18	UFP-Messgerät im Betrieb	49
19	Teilnahme am TROPOS-Kalibrierworkshop	49
20	Messmodi des UFP-Messgeräts	49
21	Darstellung UFP-Zeitreihen	51
22	Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl	53
23	Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl	55
24	Erläuterung zur Boxplot-Darstellung	57

Tabellen

1	Beurteilungswerte für Luftschadstoffe	9
2	Auswahl Luftgütemessstandorte für vergleichende Betrachtung	11
3	Gemessene Schadstoffkomponenten an den Standorten SXF und BDF	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 GUAN und SXF	51
14	Messdaten volatile organische Kohlenwasserstoffe (VOC) . . .	56
15	Messdaten polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	56

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
ft	Fuß (Höhenangabe)
GMW	Gleitender Mittelwert
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
Max	Maximum
Min	Minimum
MW	Mittelwert
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide
O ₃	Ozon
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PM ₁₀	Particulate Matter (aerodynamische Durchmesser $\leq 10 \mu m$)
PM _{2.5}	Particulate Matter (aerodynamische Durchmesser $\leq 2.5 \mu m$)
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



↑  Abflug
Departure 

 Ankunft 1
Arrival 1 →

← Ankunft 2 
Arrival 2

Terminal T2 →
↑ 400 m

↖   Gepäckermittlung
Baggage Tracing

↑ P1

←    →

Willkommen
im Terminal 1
Welcome to Terminal 1
T1
↑ 1
↓ 1

↑ Abflug
Departure

↓  Gleise
Platforms 3-4

T1

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 Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa (kurz: Luftqualitätsrichtlinie). 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 Grenz- bzw. 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 <i>mg/m³</i>	
Stickstoffdioxid (NO₂)			
Jahresmittel	Grenzwert	40 <i>µg/m³</i>	18 mal im Jahr
Stundenmittel	Grenzwert	200 <i>µg/m³</i>	
Stundenmittel (3h)	Alarmwert	400 <i>µg/m³</i>	
Ozon (O₃)			
Achtstundenwert	Zielwert	120 <i>µg/m³</i>	an 25 Tagen
Einstundenwert	Informationsschwelle	180 <i>µg/m³</i>	
Einstundenwert	Alarmschwelle	240 <i>µg/m³</i>	
Feinstaub (PM₁₀)			
Jahresmittel	Grenzwert	40 <i>µg/m³</i>	an 35 Tagen
Tagesmittel	Grenzwert	50 <i>µg/m³</i>	
Feinstaub (PM_{2.5})			
Jahresmittel	Grenzwert	25 <i>µg/m³</i>	
Benzol			
Jahresmittel	Grenzwert	5 <i>µg/m³</i>	
Benz[a]pyren			
Jahresmittel	Grenzwert	1 <i>ng/m³</i>	

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 den 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, Enteisierung 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 Betriebstankstelle 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 Luftqualität ist im fünften 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.

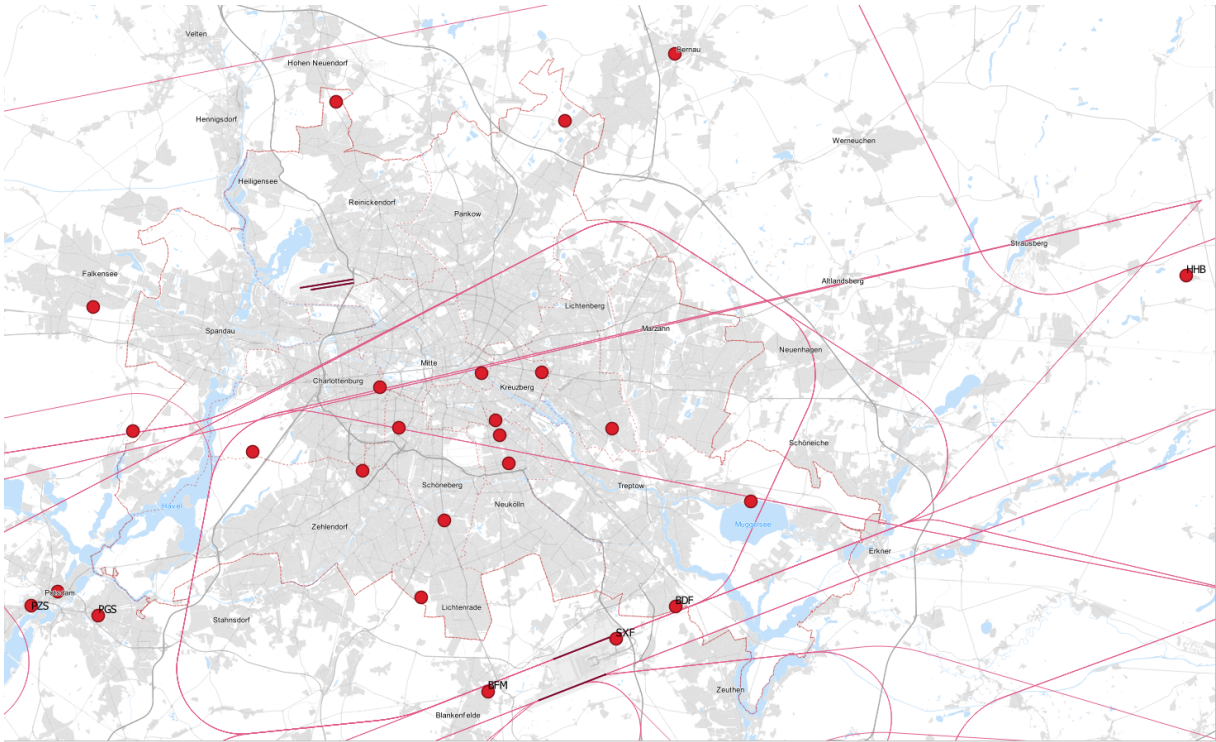


Abbildung 1: Standorte von Luftgütemessstellen der Landesmessnetze Berlin und teilweise Brandenburg in und um Berlin sowie die Luftgütemessstelle der FBB (SXF und BDF)

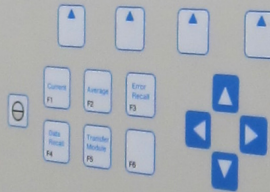
Tabelle 2: Auswahl von Luftgütemessstandorten für eine vergleichende Betrachtung der Messwerte

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	HHB	>50 km	LfU	ländlicher Hintergrund



Feinstaub (PM10)

HORIBA
AFDA-371
Environmental Dust Monitor



PUSH
OPEN

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) so-

wie Stickstoffmonoxid (NO) zur Ermittlung der Stickoxide (NO_x) sowie eine diskontinuierliche Erfassung von Benzol als Leitkomponente der BTEX sowie Feinstaub PM₁₀, 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 (O₃) 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

ebenfalls 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 Kooperation mit dem LfU sichert ein höchstmögliches Maß an Transparenz und Vergleichbarkeit der Daten bei Einhaltung aller gesetzlichen Vorgaben.

Messstandort

Der Messcontainer für die Luftgüte befindet sich wie in **Abbildung 2** (Markierung A) 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 so-

wohl 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.

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 Kohlenmon-

oxid werden mithilfe der Absorption unterschiedlicher Wellenlängen im sichtbaren, ultravioletten bzw. infraroten Bereich des Lichtspektrums erfasst. Die Massenkonzentration partikulärer Stoffe wie PM₁₀ 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	Chemilumineszenz	3-sekündlich
O ₃	gasförmig	Horiba APMA-370	UV-Absorption	3-sekündlich
Feinstaub (PM _{2.5})	partikulär	Horiba APDA-371	β-Absorption	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 (Masseanteil des PM ₁₀)	Thermogravimetrie	Wochen(misch)probe
Ruß (BC)	partikulär	Aethalometer AE33	optische Absorption	1-sekündlich
Benz[a]pyren, weitere PAK	partikulär	Derenda LVS16 (Masseanteil des PM ₁₀)	HPLC	Wochen(misch)probe

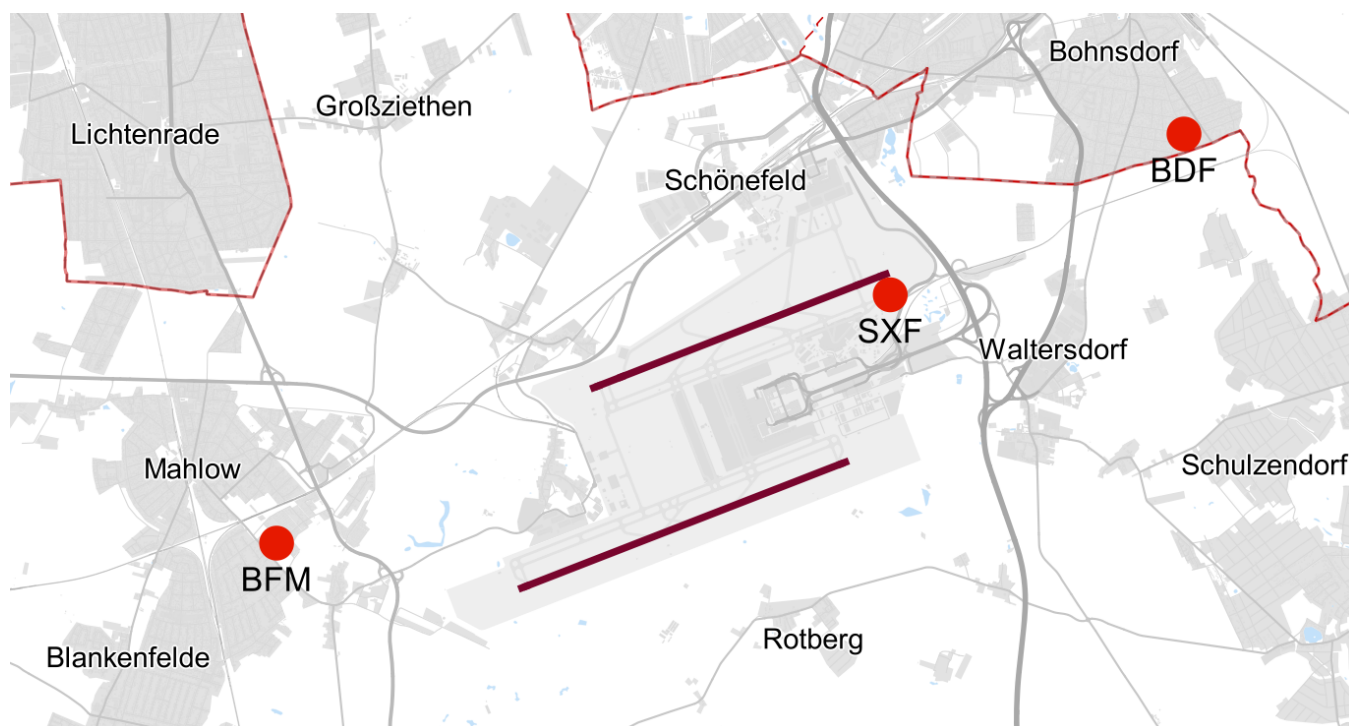


Abbildung 2: Lage der FBB -Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie BFM (flughafennahe Luftgütemessstelle des LfU)

Windrichtungsverteilung [%], 2020

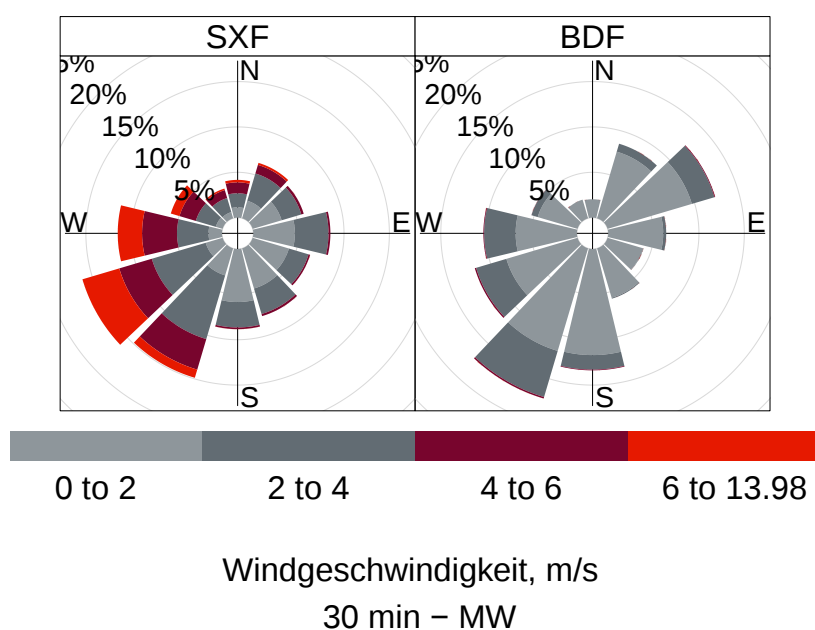


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung von Windgeschwindigkeit und -richtung an den FBB-Luftgütemessstellen SXF und BDF.

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 Schadstof-

fen analysiert, die über die Luft und die Umwelt in die Nahrung gelangen können. Hierzu werden Bienen-völker 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

Beim Biomonitoring steht die tatsächliche Einwirkung von Immissionen auf die belebte Umwelt im 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 Bioin-

dikatoren 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 na-

tionalen 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.

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 2020

Datenverfügbarkeit

Die Parameter NO₂, NO, NO_x, CO, O₃, PM₁₀ 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 Validierung 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. Mit Ausnahme von O₃ am Standort SXF und PM_{2.5} sowie Stickoxide am Standort BDF 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	PGS	HHB
NO ₂ , NO _x	99	88	100	98	100	
NO	99	89	97	98	100	
CO	99	-	99	97	-	
O ₃	83,5	96	99	-	99	
PM ₁₀	99*	100*	99*	100	99*	
PM _{2.5}	100	89	100	99	100	

*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 (NO_2) 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.

Tagesmittelwerte 2020 @ SXF



Abbildung 4: Darstellung der meteorologischen Tagesmittel von Temperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und Windrichtung für das Jahr 2020 am Standort SXF.

Stickoxide

Stickstoffdioxid (NO₂)

Der Jahresgrenzwert für Stickstoffdioxid in Höhe von 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an der Luftgütemesssstelle SXF mit 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auch im Jahr 2020 sicher eingehalten. Der Ein-Stunden-Grenzwert von 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde zu keiner Zeit überschritten. Dies gilt ebenso für den Vergleichsstandort BDF und die Vergleichsmessstellen des LfU.

Die **Abbildung 5 A** zeigt den zeitlichen Verlauf der NO₂-Tagesmittelwerte der FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie vergleichend die NO₂-Tagesmittelwerte der 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 SXF und BFM liegen dicht bei-

einander. An der Messstation BDF (Bohnsdorf) wurden niedrigere NO₂-Konzentrationen als an den Messstationen SXF und BFM gemessen. 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 Boxplots in **Abbildung 5 B** bietet die Möglichkeit des vereinfachten Vergleiches der Belastung an NO₂ zwischen den Luftgütemessstationen und gibt einen Überblick über die statistische Verteilung der Messwerte. Hinweise zum Lesen von Boxplots siehe **Abbildung 24**. Das 25-Perzentil des Standortes PZS liegt ober-

halb der 75-Perzentile der anderen Standorte. Der Einfluss des Straßenverkehrs als Quelle von NO, der Vorläufersubstanz von NO₂, wird beim Vergleich dieser Standorte deutlich.

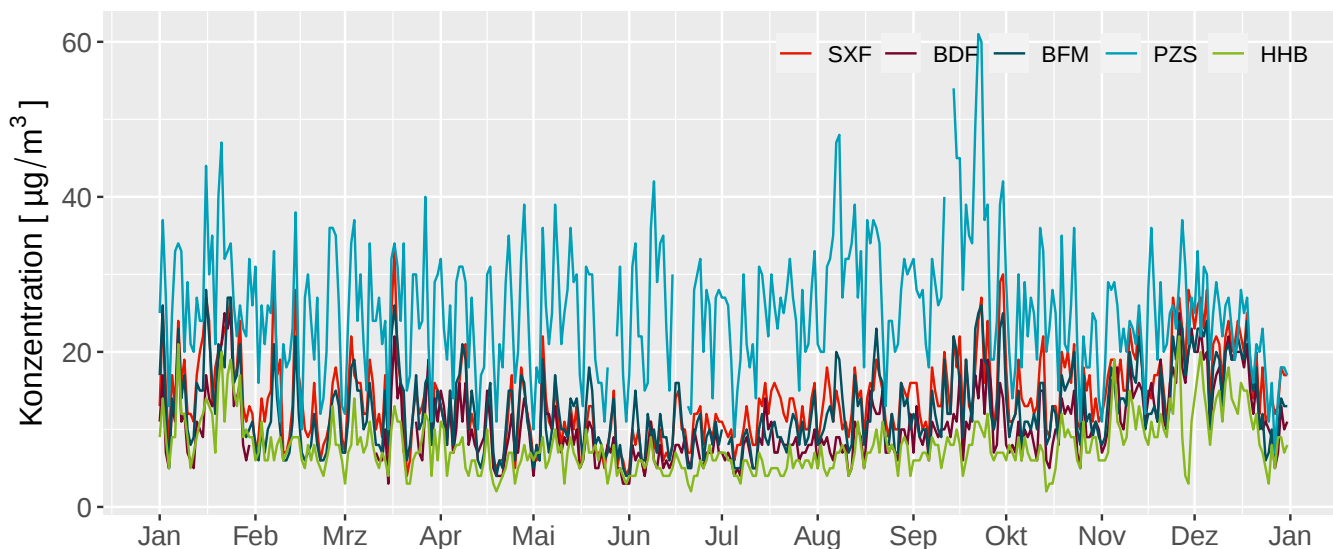
Die **Abbildung 5 C** zeigt die Entwicklung der Jahresmittelwerte am Standort SXF und den LfU-Standorten BFM, PZS und HHB seit 2016. Am Standort PZS wurden jedes Jahr die höchsten Werte und am Standort HHB die niedrigsten Werte gemessen. Die Messwerte der Standorte SXF und BFM liegen dicht beieinander, wobei am Flughafen in den letzten fünf Jahren die Werte etwas über denen in Blankenfelde-Mahlow lagen. Die Messwerte vom Standort BDF liegen nur wenig höher als die vom Standort HHB. Alle Messstationen weisen im Jahr 2020 die niedrigsten Messwerte innerhalb des Fünf-Jahres-Vergleiches auf.

Tabelle 5: Statistische Kenngrößen für Stickstoffdioxid (NO₂), Stickoxide (NO_x) und Stickstoffmonoxid (NO) an der Luftgütemesssstelle SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg.

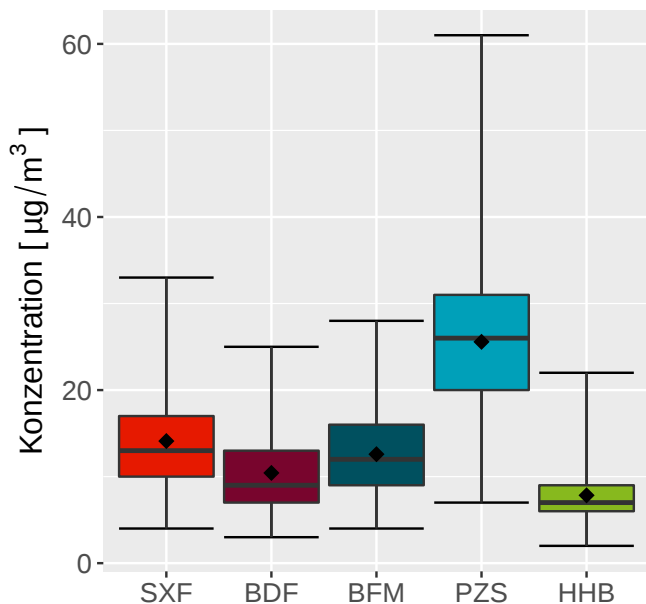
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	HHB
Mittelwert, NO ₂	14	10	13	26	8
Max. SMW	65	64	78	131	45
Max. TMW	33	25	28	61	22
Stunden > 200	0	0	0	0	0
Stunden > 400	0	0	0	0	0
Mittelwert, NO _x	18	14	17	47	10
Mittelwert, NO	3	2	3	15	2

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

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

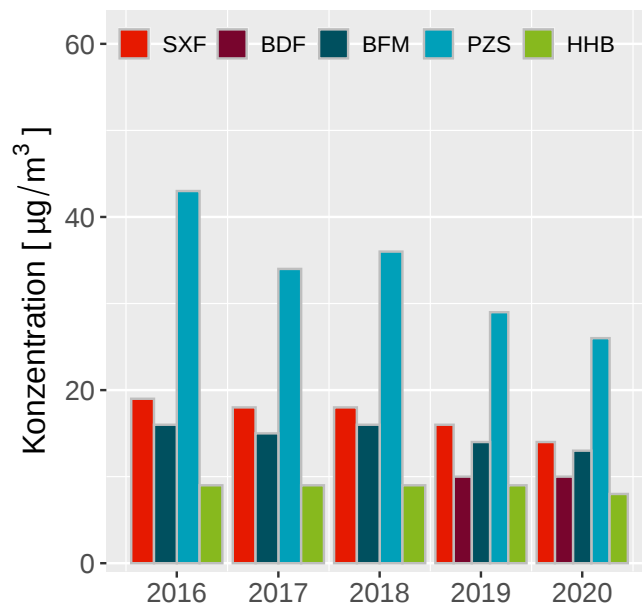


Abbildung 5: Darstellung der NO₂-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BDF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich).

Stickstoffmonoxid (NO)

Für NO sieht der Gesetzgeber keine Grenzwerte vor. Dennoch werden hier die Jahresmittelwerte 2020 in **Tabelle 5** sowie die zeitlichen Verläufe, Boxplots und Entwicklung der Jahresmittelwerte seit 2016 in den **Abbildungen 6 A-C** dargestellt.

Der Jahresmittelwert an der Verkehrsstation PZS ist ca. fünffach erhöht gegenüber den Stationen SXF, BDF und BFM, wo die Mittelwerte nahezu gleich hoch sind. Die niedrigsten Werte wurden an der Station HHB gemessen.

Die **Abbildungen 6 A und B** zeigen den zeitlichen Verlauf der Ta-

gesmittelwerte 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.

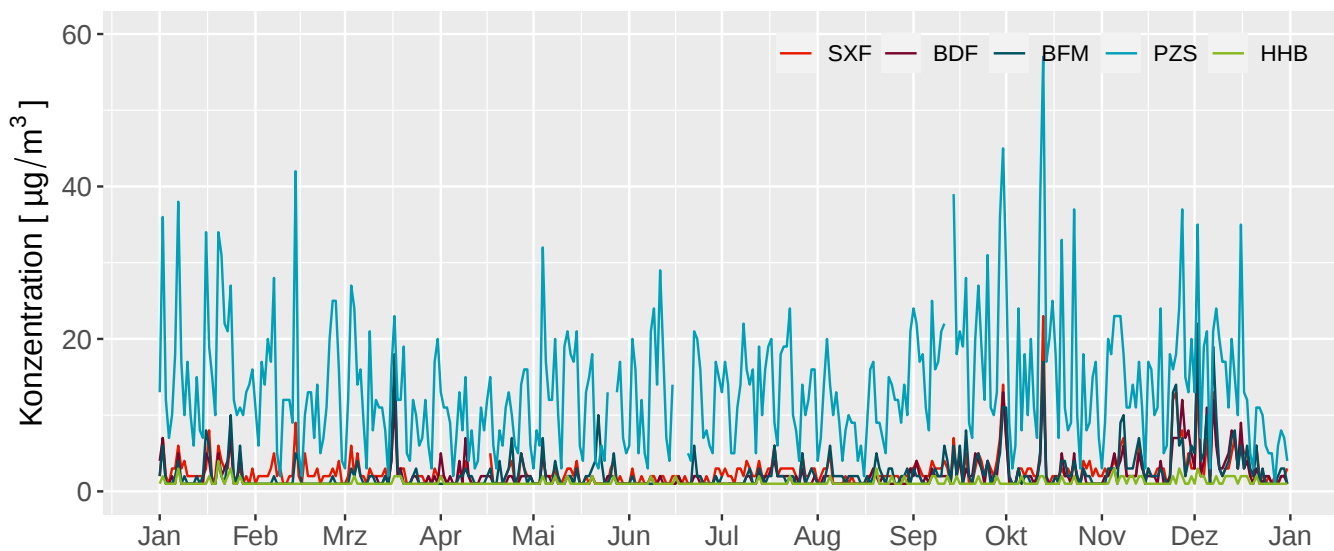
Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO seit 2016 wird in der **Abbildung 6 C** dargestellt. Am Standort PZS ist seit 2016 ein kontinuierlicher Rückgang des Jahresmit-

telwertes von NO zu beobachten. An den anderen Standorten sind zwischen 2016 und 2018 keine wesentlichen jährlichen Unterschiede, in 2019 und 2020 hingegen liegen die Messwerte deutlich unter denen der Vorjahre.

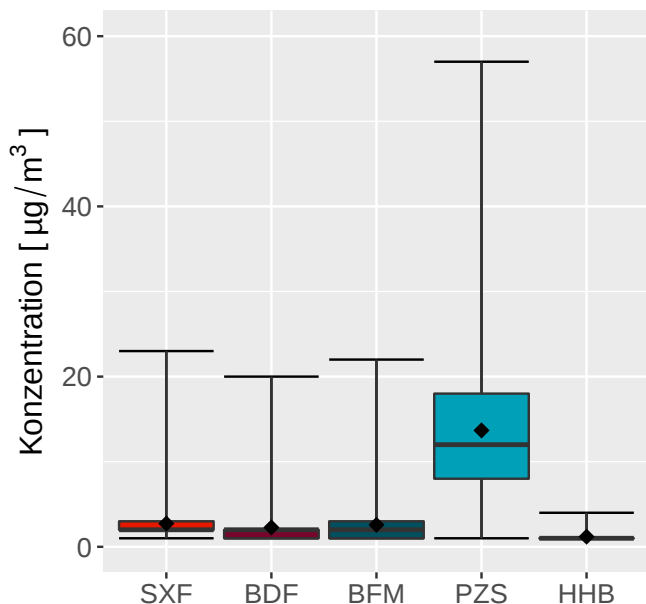
Für NO_x sind ebenfalls die zeitlichen Verläufe, Boxplots und Entwicklung der Jahresmittelwerte seit 2016 (siehe **Abbildungen 7 A-C**) dargestellt. Die zeitlichen Verläufe und räumlichen Unterschiede verhalten sich ähnlich wie bei NO, allerdings sind die räumlichen Unterschiede für NO_x nicht so stark ausgeprägt wie für NO.

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

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

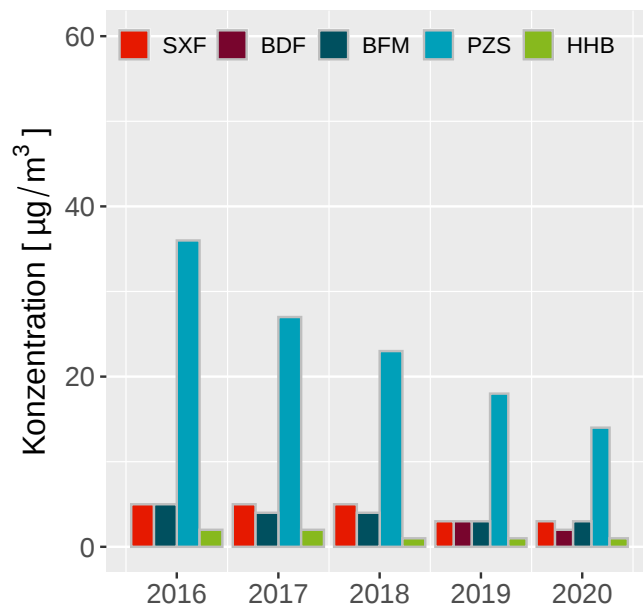
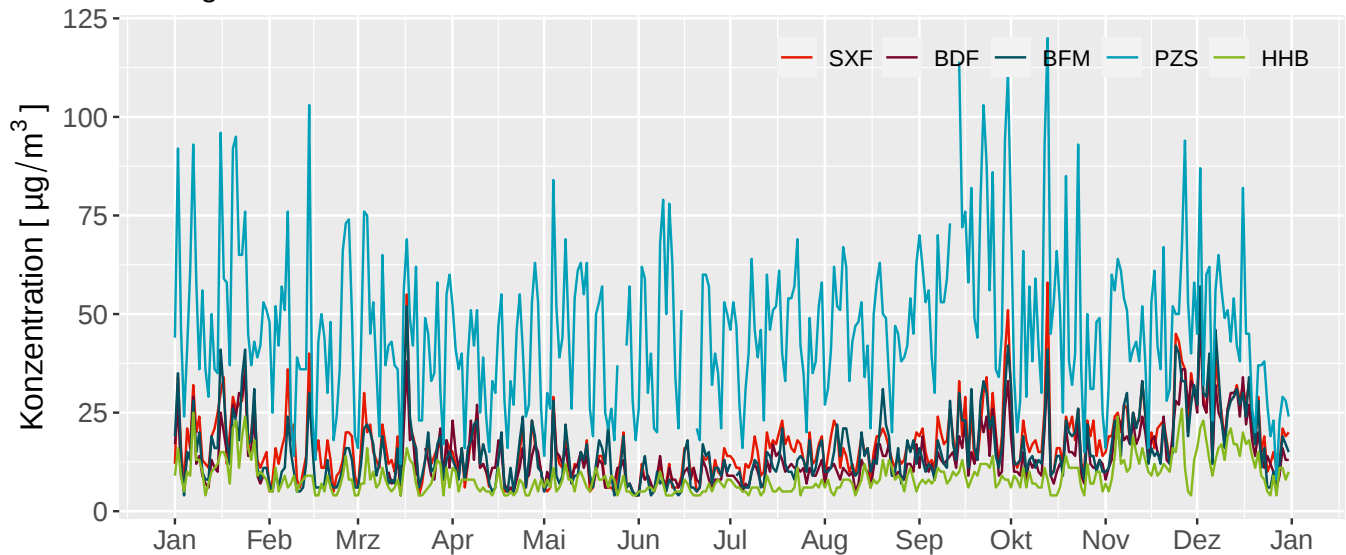


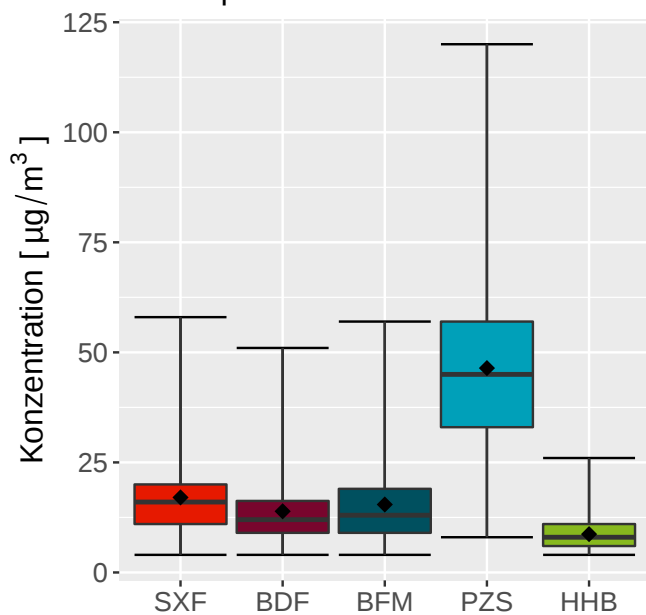
Abbildung 6: Darstellung der NO-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte.

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

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

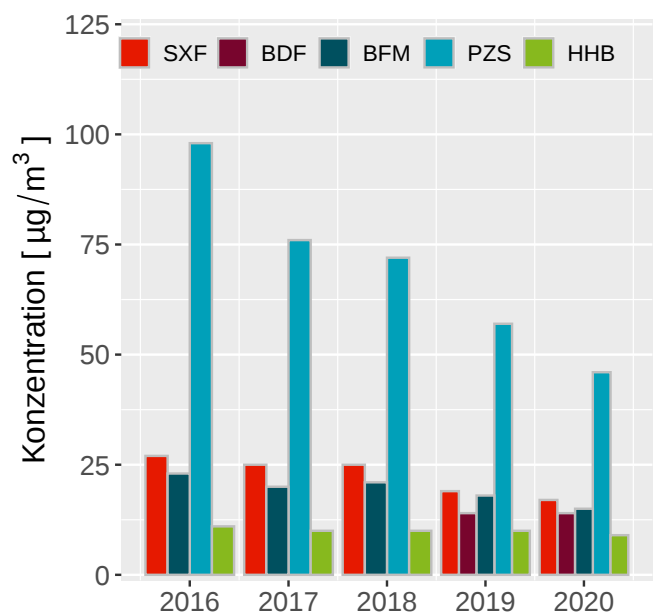


Abbildung 7: Darstellung der NO_x-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BDF, BFM, PZS und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich).

Ozon

Die Jahresmittelwerte 2020 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 Messstationen BFM und HHB des LfU dargestellt.

Die Datenverfügbarkeit für Ozon an der Messstelle SXF beträgt in diesem Jahr 83,5 % und liegt damit unter den in der 39. BImSchV Anlage 1 Teil A geforderten 90 %. Die technischen Probleme und dadurch bedingten Messunterbrechungen sind im Sommerhalbjahr aufgetreten. In dieser Zeit weist der typische saisonale Verlauf von Ozon höhere Werte auf als im Winterhalbjahr. Insofern ist davon auszugehen, dass der ermittelte Jahresmittelwert zu niedrig ist. Aufgrund der Beobachtungen der vergangenen Jahre kann aber angenommen werden, dass der Jahresmittelwert sowie auch die Tagesmittelwerte auf dem Niveau des Standortes BFM oder wenig höher liegen.

Der Informationsschwellenwert in Höhe von $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde im Jahr 2020 an keiner der Messstellen

überschritten. Der maximale Acht-Stunden-Mittelwert in Höhe von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde, gemittelt über die letzten drei Jahre, an den Messstellen SXF, BFM und HHB 23mal¹, 24mal, 26mal und 19mal überschritten. Als Zielwert definiert sind maximal 25 Überschreitungen pro Jahr, gemittelt über drei Jahre (§ 9 (1), 39. BImSchV).

Die **Abbildung 8 A** zeigt die Tagesmaximalwerte der gleitenden Acht-Stunden-Mittelwerte für die vier Standorte SXF, BDF, BFM und HHB. Alle vier Standorten 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 8 B** zeigt die statistische Verteilung der in **Abbil-**

dung 8 A 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 in Hasenholzbuckow.

Die Entwicklung der Ozonwerte seit 2016 ist in **Abbildung 8 C** dargestellt. Die Jahresmittelwerte unterliegen zwischen den Jahren leichten Schwankungen. Ein Trend ist nicht erkennbar. Die Ozonwerte im ländlichen Hasenholz (Buckow) liegen jedes Jahr am höchsten.

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

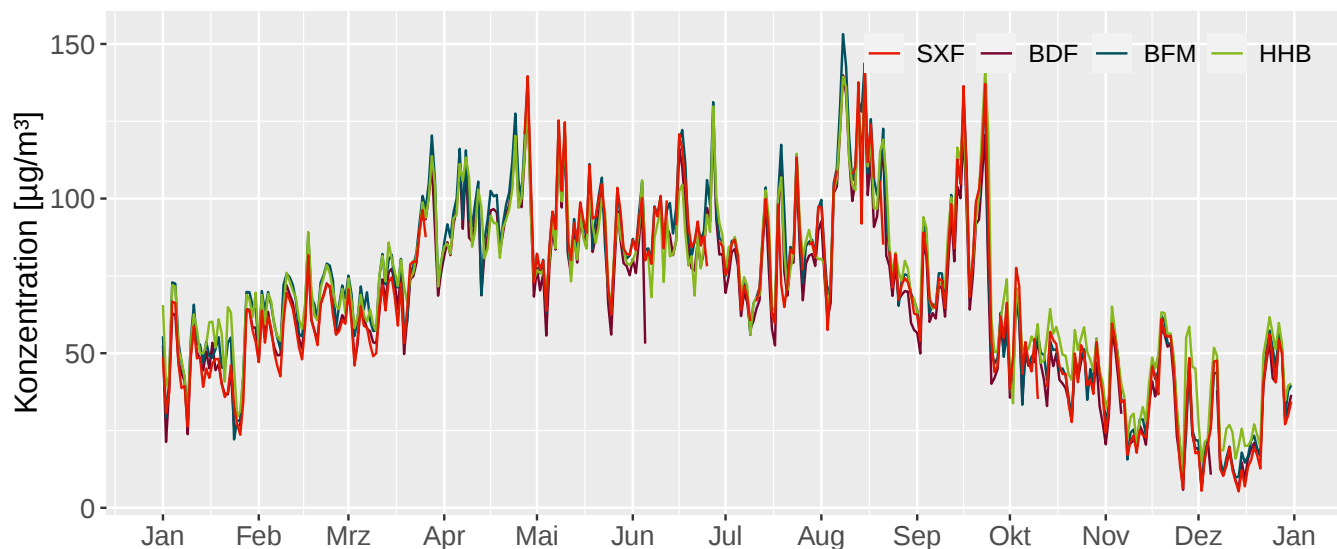
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF*	BDF	BFM	HHB
Mittelwert, O_3	47*	47	51	55
Max. SMW	158*	147	158	199
Max. 8-h-Wert	151*	140	153	142
8-h-MW > 120	23 ¹ *	24	26	19
SMW > 180	0 *	0	0	0
SMW > 240	0 *	0	0	0

* Datenverfügbarkeit 83,5%

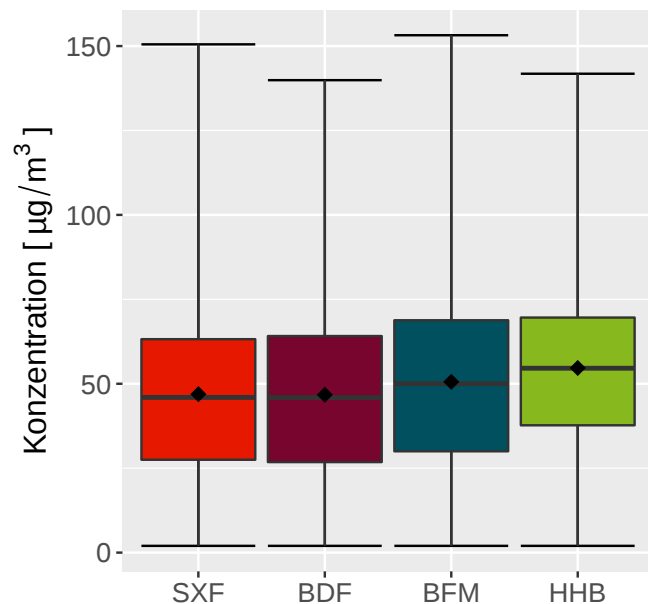
¹in 2020 wurden am Standort SXF 8 Überschreitungen gemessen, aufgrund der geringen DV im Sommer wurden für die Berechnung des 3-Jahresmittelwert 17 Überschreitungen in 2020 (BFM) herangezogen

Ozon (O_3) @ SXF, BDF, BFM, HHB

A Gleitende 8h-Mittelwert-Tagesmaxima Ozon 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

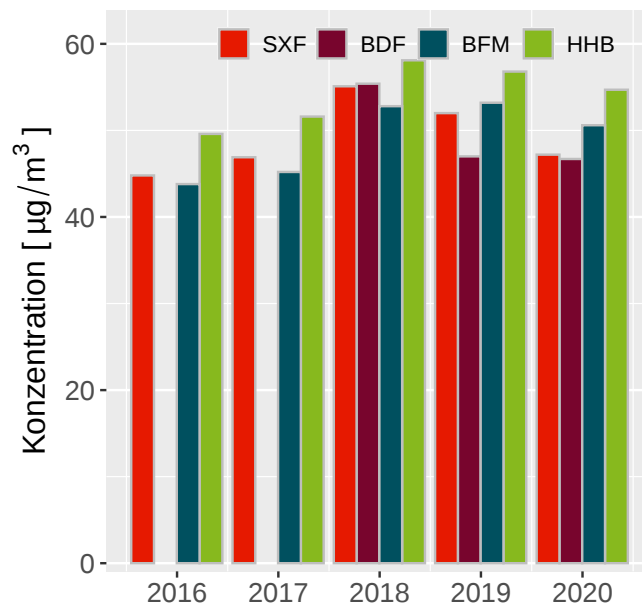


Abbildung 8: Darstellung der gleitenden 8h-Mittelwert-Tagesmaxima von O_3 in 2020 für die Standorte SXF, BDF (DV 69%), BFM und HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

Kohlenmonoxid

Der gesetzlich vorgeschriebene Grenzwert in Höhe von 10 mg/m^3 im Jahresmittel wurde auch im Jahr 2020 am Standort SXF sowie den Vergleichsstandorten sicher eingehalten.

Die Jahresmittelwerte 2020 sowie weitere statistische Kenngrößen von Kohlenmonoxid (CO), ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der Luftgütemessstation SXF, 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, BFM so-

wie PZS. Die Kurvenverläufe der Messstationen SXF und BFM liegen nah beieinander, wobei am Standort BFM die niedrigsten und am Standort PZS die höchsten Werte gemessen wurden. Die Kurven 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 BFM ausgeprägter als an den Standorten SXF und PZS.

Die Darstellung der Boxplots in **Abbildung 9 B** erleichtert den Vergleich der statistischen Kenngrößen

bzw. der Streuung/Verteilung der Messwerte zwischen den Standorten. Die 25-Perzentil-Grenze der Messwerte in PZS liegen auf dem Niveau der 75-Perzentil-Grenze der Messwerte in SXF und BFM.

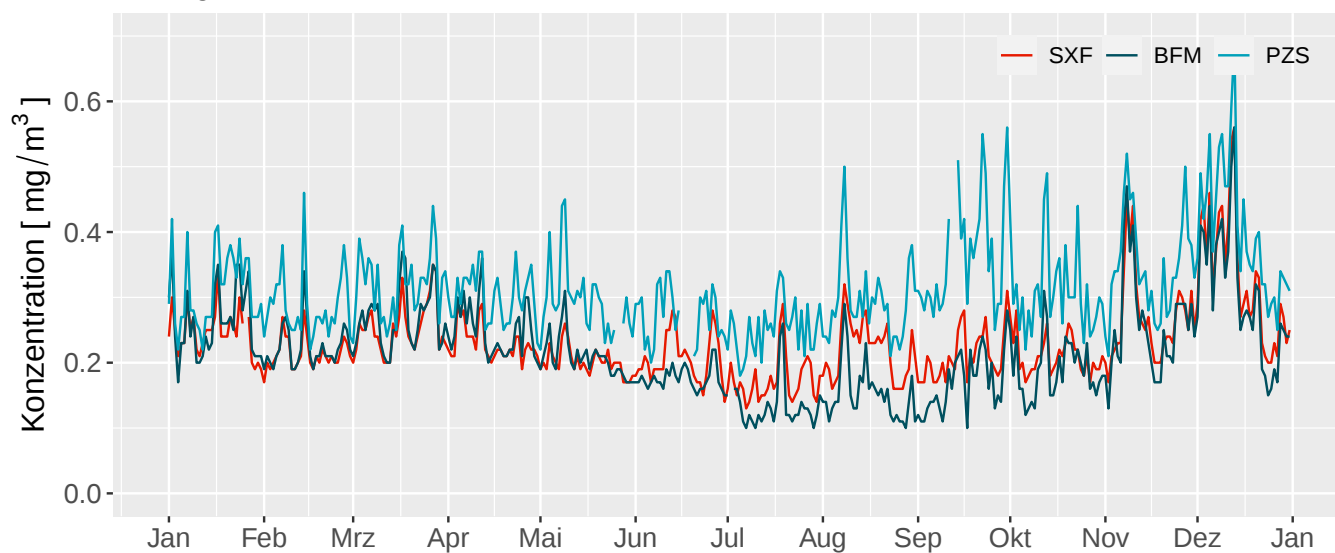
In **Abbildung 9 C** ist die Entwicklung der Jahresmittelwerte der CO-Konzentration am Standort SXF und den Vergleichsstandorten BFM und PZS seit 2016 dargestellt. Für den Standort PZS zeigt sich ein Abwärtstrend, wobei die Messwerte in 2020 leicht erhöht sind gegenüber 2019. Für die Standorte SXF und BFM ist kein Trend erkennbar. Am Standort SXF liegt der Jahresmittelwert in 2020 unter dem von 2019.

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

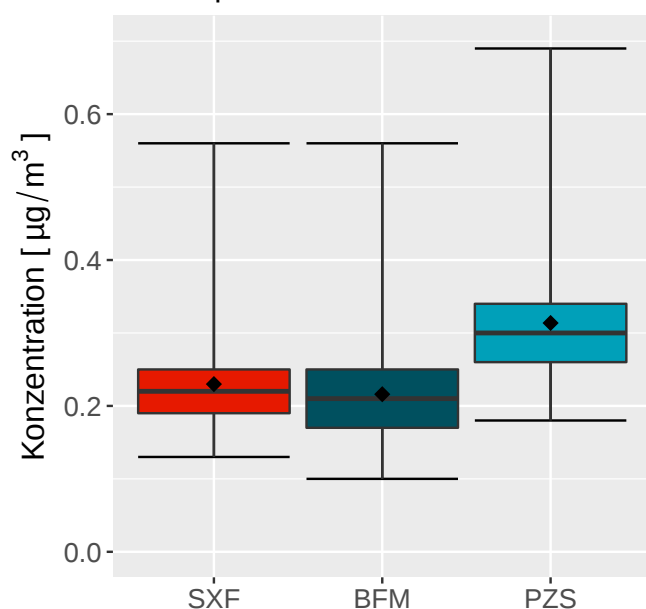
stat. Kenngröße, mg/m^3	SXF	BFM	PZS
Mittelwert, CO	0,23	0,22	0,31
Max. SMW	0,94	1,33	1,40
Max. 8-h-GMWert	0,70	0,97	0,87
Max TMW	0,56	0,56	0,69

Kohlenmonoxid (CO) @ SXF, BFM, PZS

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

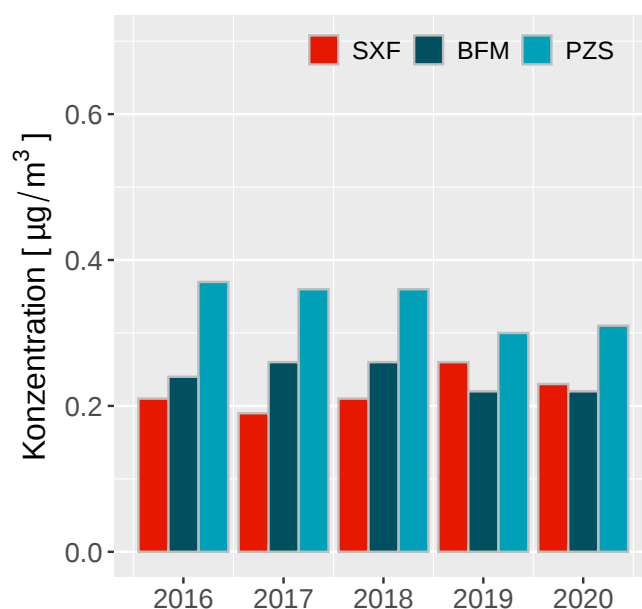


Abbildung 9: Darstellung der CO-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BFM, PZS als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich).

Feinstaub PM₁₀

Die Jahresmittelwerte 2020 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 Messnetzes dargestellt.

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

Die zeitlichen Verläufe der PM₁₀-Tagesmittelwerte an den Messstellen SXF und BDF sowie den LfU-

Messstellen BFM, PZS und HHB 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 PM₁₀-Werte liegen während der Wintermonate tendenziell höher als während der Sommermonate.

Die Darstellung der Boxplots 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. Im Jahresmittel liegen die Werte an den Messstellen PZS und BFM am höchsten, gefolgt von dem Standorten HHB. Am niedrigsten sind die Jahresmittelwerte an den Standorten SXF und BDF.

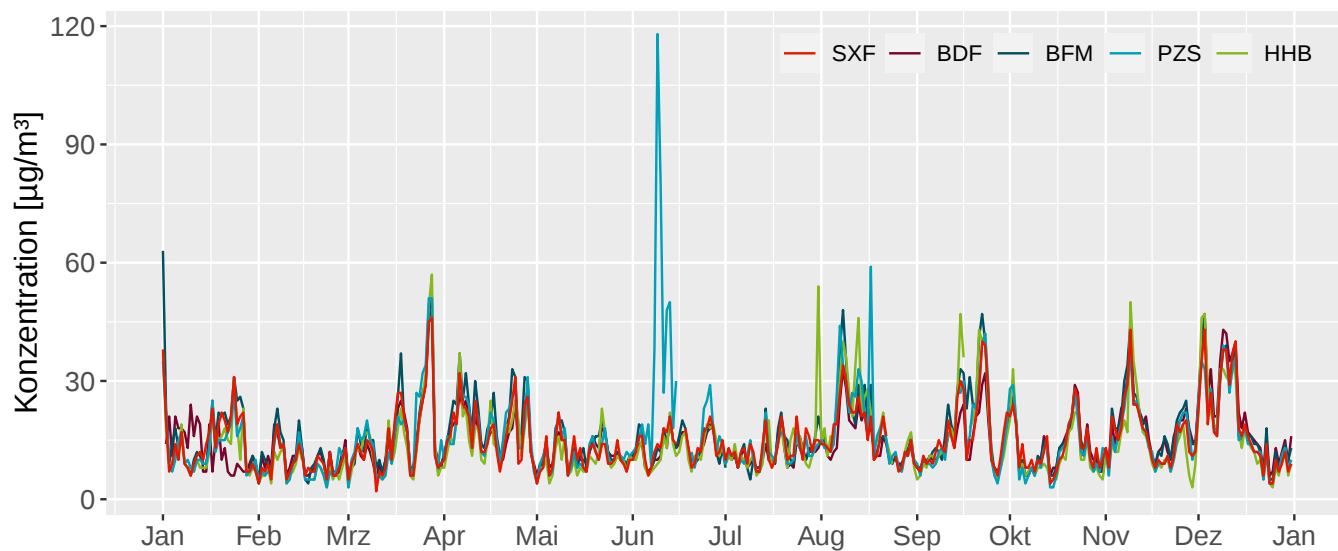
Die Entwicklung der PM₁₀-Belastung seit 2016 am Standort SXF sowie der Vergleichsmessstationen ist in **Abbildung 10 C** dargestellt. Die Jahresmittelwerte liegen in den Jahren 2019 und 2020 deutlich niedriger als in den Jahren davor. Die Unterschiede zwischen 2019 und 2020 sind sehr gering, wobei die Standorte SXF, PZS und HHB in 2020 geringere Werte aufweisen als in 2019, während die Jahresmittel der Standorte BDF und BFM im Jahr 2020 leicht angestiegen sind im Vergleich zu 2019.

Tabelle 8: Statistische Kenngrößen für Schwebstaub (PM₁₀) an der Luftgütemessstation SXF sowie weiterer Standorte des Luftgütemessnetzes Brandenburg (Messungen mit Referenzverfahren).

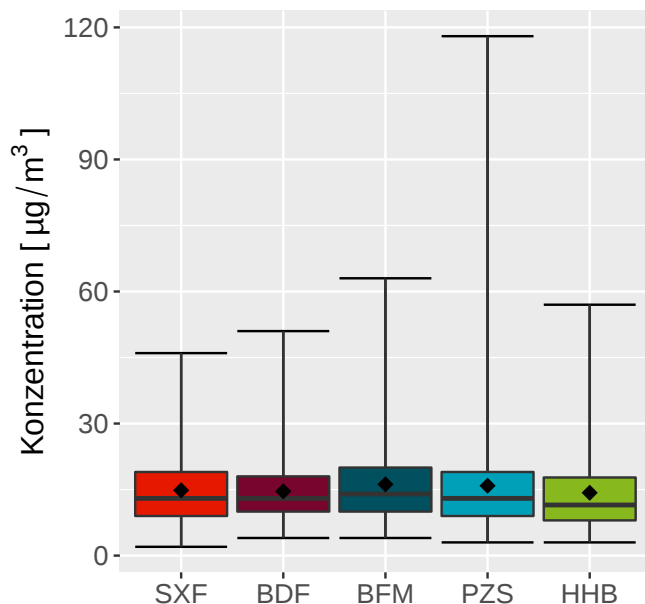
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	HHB
Mittelwert, PM ₁₀	15	15	16	18	14
Max. TMW	46	51	63	132	57
50-Perzentil	13	13	14	13	12
89-Perzentil	38	39	41	44	46
Tage $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0	4	1	5	2

Feinstaub (PM₁₀) @ SXF, BDF, BFM, PZS, HHB

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

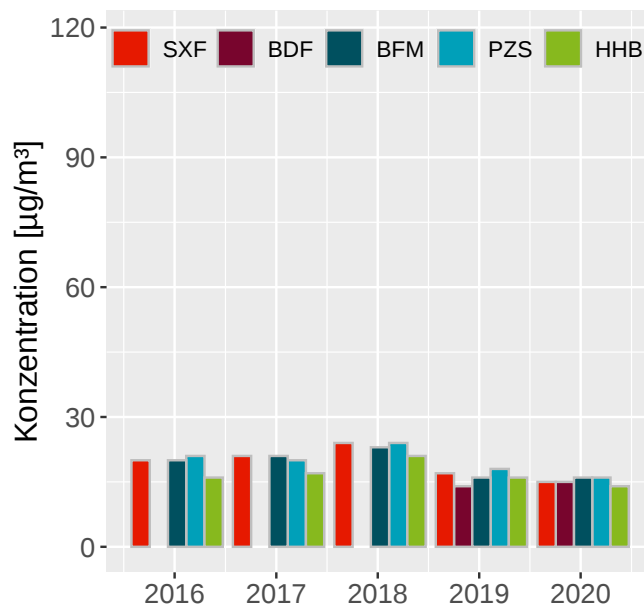


Abbildung 10: Darstellung der PM₁₀-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BFM, PZS, HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

Feinstaub PM_{2.5}

Die Jahresmittelwerte 2020 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 Boxplots in **Abbildung 11 B** erleichtert den Vergleich der statistischen Kenngrößen und der Verteilung der Messwerte zwischen den Standorten. Die höchsten Maxima weist der Standort SXF auf, die niedrigsten der Standort PZS. Die Mediane sind an den Stadnorten BFM, PZS und HHB am höchsten, am niedrigsten ist er am

Standort BSF. 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.

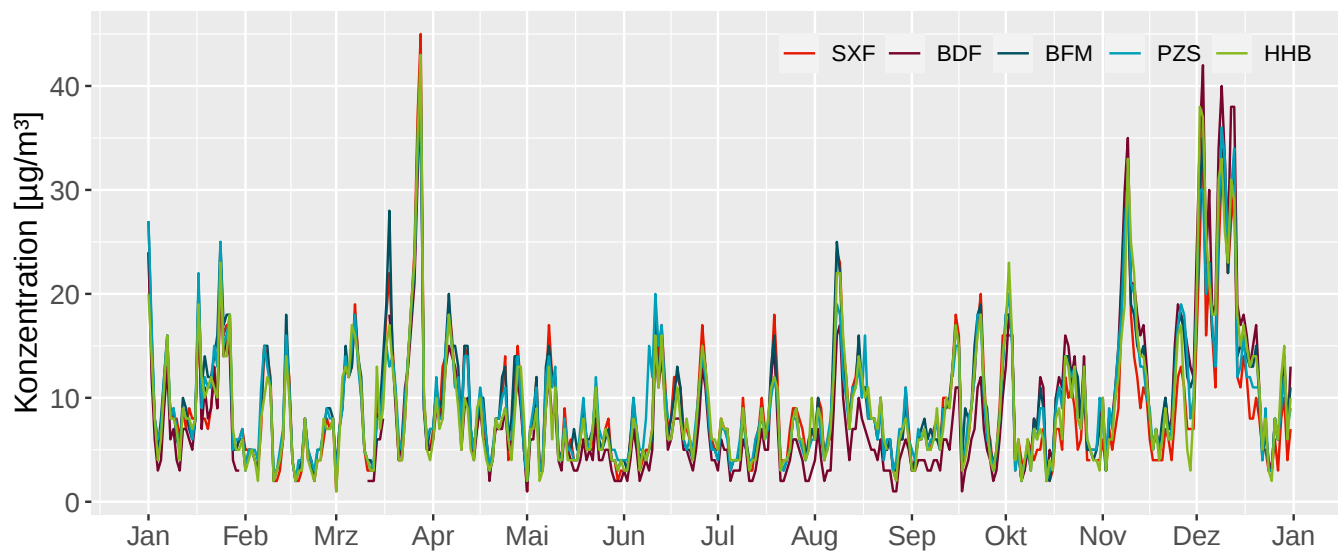
Die Entwicklung der PM_{2.5}-Belastung seit 2016 am Standort SXF sowie der Vergleichsstandorte ist in **Abbildung 11 C** dargestellt. Im Jahr 2019 war die PM_{2.5}-Belastung niedriger als in den Jahren des Vergleichszeitraums. Dieser Abwärtstrend setzt sich im Jahr 2020 fort. An allen Standorten sind die Jahresmittelwerte im Jahr 2020 niedriger als in den letzten 5 Jahren.

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

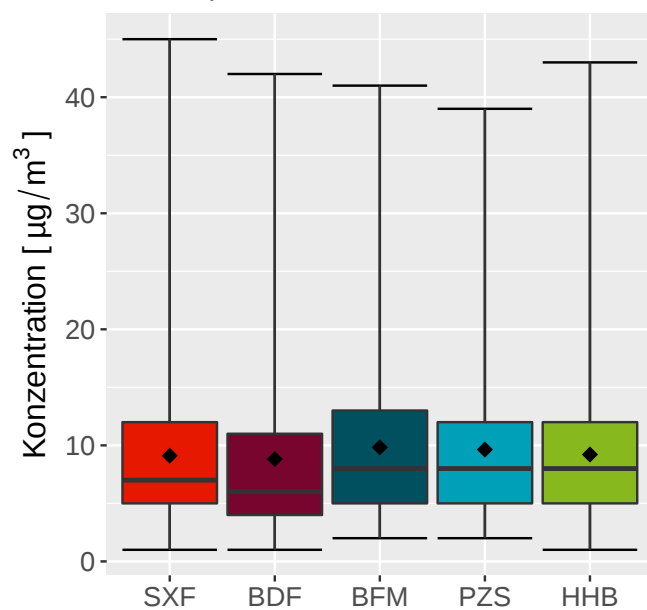
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF	BDF	BFM	PZS	HHB
Mittelwert, PM _{2.5}	9	9	10	10	9
Max. TMW	45	42	41	40	44
50-Perzentil	7	6	8	8	8
98-Perzentil	27	35	29	32	31

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

A Tagesmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

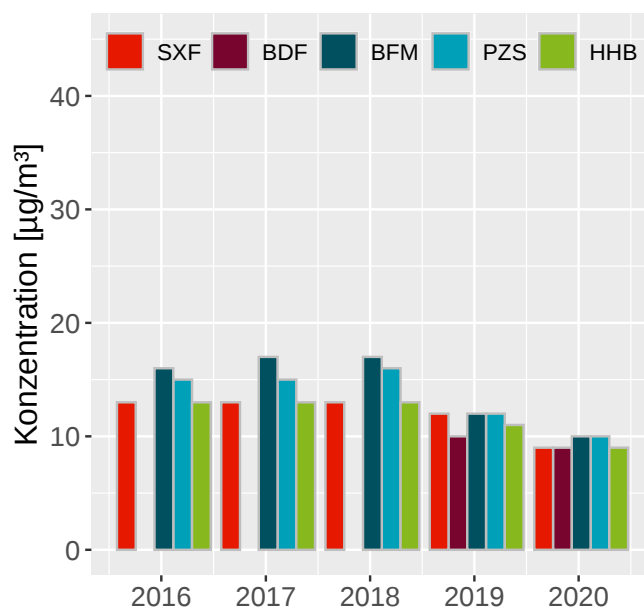


Abbildung 11: Darstellung der PM_{2.5}-Tagesmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BFM, PZS, HHB als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung des aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte (5-Jahres-Vergleich)

Benzol

Die Jahresmittelwerte 2020 sowie weitere statistische Kenngrößen der gemessenen Benzolkonzentration, ermittelt anhand der Messdaten der FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie der LfU-Messstandorte BFM und PGS (Potsdam-Großbeerenstraße), sind in **Tabelle 10** aufgeführt.

In den vergangenen Jahren wurde an dieser Stelle die Messstelle PZS zu Vergleichszwecken dargestellt. Seit 2019 hat das LfU die VOC-Messung in die Station PGS verlegt. Dabei handelt es sich ebenso wie bei dem Standort PZS um einen Messpunkt an einer verkehrsreichen Straße in Potsdam.

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

Die **Abbildung 12 A** zeigt die Benzol-Wochenmittelwerte der FBB-

Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie der LfU-Messstellen BFM und PGS. 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. Am Standort BDF ist der saisonale Verlauf weniger ausgeprägt, als an den anderen Messstellen. 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 Boxplots in **Abbildung 12 B** ermöglicht einen Vergleich der statistischen Kenngrößen zwischen den Standorten und verdeutlicht die Unterschiede der Benzol-Belastung zwischen dem Standorten. Am Standort PGS wur-

den die höchsten Werte gemessen, am Standort SXF die niedrigsten. Am Standort BFM sind die Werte etwas höher als am Standort SXF. Am Kurvenverlauf der **Abbildung 12 A** erkennt man, dass die Benzolwerte der Standorte SXF und BFM während der Sommermonate eng beieinander liegen, während die Unterschiede ab September deutlich zunehmen.

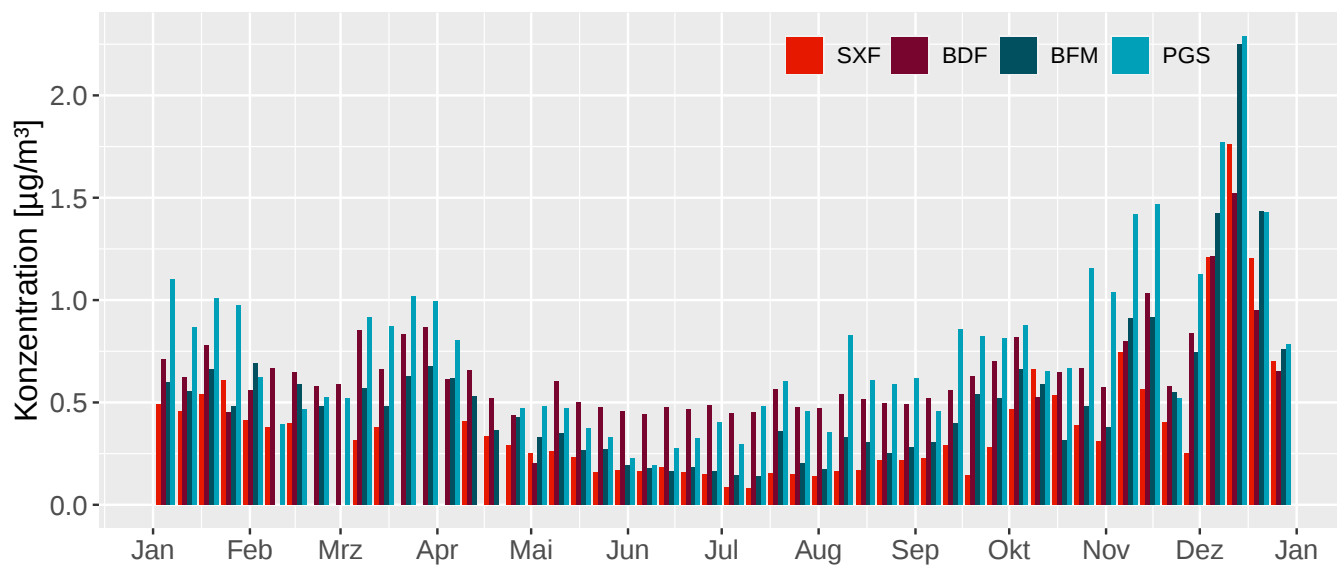
Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von Benzol seit 2016 an den Standorten SXF, BFM und PZS ist in **Abbildung 12 C** dargestellt. Seit 2016 zeigt sich für die Messstelle PZS und seit 2017 auch für die Messstellen SXF, BFM ein Abwärtstrend. Dieser Abwärtstrend setzt sich für den Standort PGS, der stellvertretend für den Standort PZS betrachtet wird, fort. Die anderen Standorte weisen im Jahr 2020 höhere Werte als im Vorjahr auf.

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

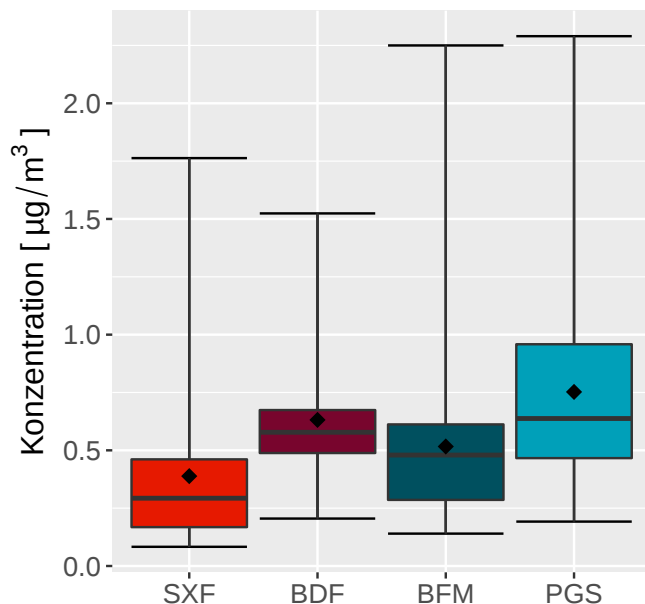
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF	BDF	BFM	PGS
Mittelwert, Benzol	0,42	0,63	0,53	0,88
Max. WMW	1,76	1,52	2,25	2,29
50-Perzentil	0,29	0,58	0,48	0,64
98-Perzentil	1,26	1,21	1,45	1,78

Benzol @ SXF, BDF, BFM, PGS

A Wochenmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

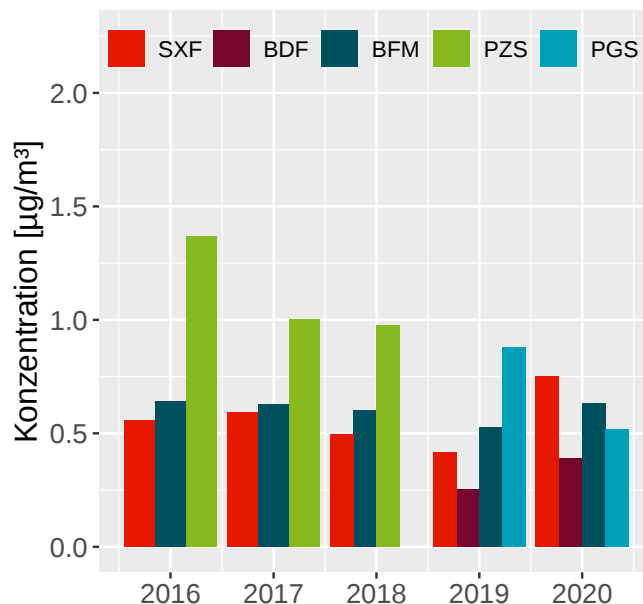


Abbildung 12: Darstellung der Benzol-Wochenmittelwerte 2020 für die Standorte SXF, BFM, PZS als (A) Zeitreihe, (B) als Boxplot sowie (C) Darstellung der aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte

Benz[a]pyren

Die Jahresmittelwerte 2020 sowie weitere statistische Kenngrößen von Benz[a]pyren an den FBB-Luftgütemessstellen SXF und BDF sowie vergleichend den LfU-Standorten BFM und PGS, ermittelt aus den kontinuierlichen Messdaten der 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 Wochenmittel-

werte im Jahresverlauf (**Abbildung 13 A**) zeigt für alle vier Standorte einen ausgeprägten saisonalen Verlauf mit hohen Werten im Winter und niedrigen Werten im Sommer. Im Sommer liegen die Werte teilweise unterhalb der Bestimmungsgrenze. Am Standort BDF sind die Werte in einigen Wochen deutlich erhöht im Vergleich zu den anderen Standorten. Hierbei muss es sich um einzelne lokale Ereignisse handeln, die zu diesen hohen Werten geführt haben.

Die Boxplot-Darstellung in **Abbildung 13 B** ermöglicht einen unmittelbaren Vergleich der Standorte anhand der statistischen Verteilung der Messwerte. 50 Prozent der Messwerte (Median) liegen unter

0,13 ng/m³, 75 Prozent der Messwerte liegen unter 0.5 ng/m³. Betrachtet man zusätzlich das 98-Perzentil (**Tabelle 11**), dass nur zwei Prozent der Messwerte größer 2.5 ng/m³ sind.

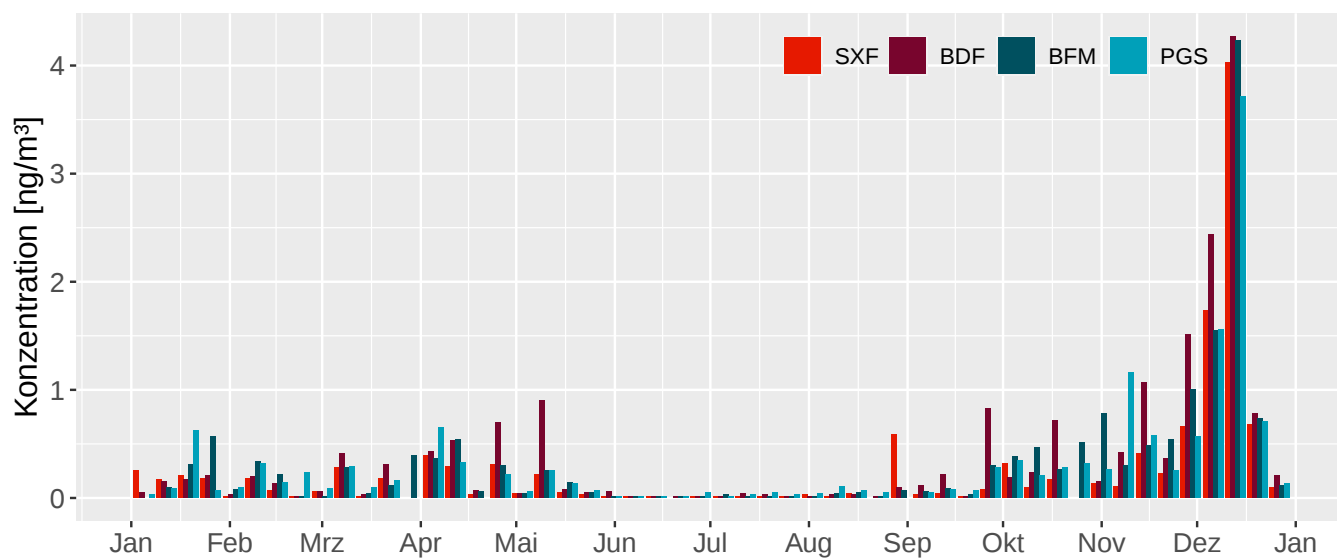
Die Entwicklung der Jahresmittelwerte von Benz[a]pyren seit 2016 an den Standorten SXF, BFM und PZS (mit Ausnahme von 2018) und PGS ist in **Abbildung 13 C** dargestellt. Es ist kein Trend erkennbar. Im Jahr 2019 liegen die Werte (mit Ausnahme von BDF) deutlich unter denen der Vergleichsjahre. Die Jahresmittel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

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

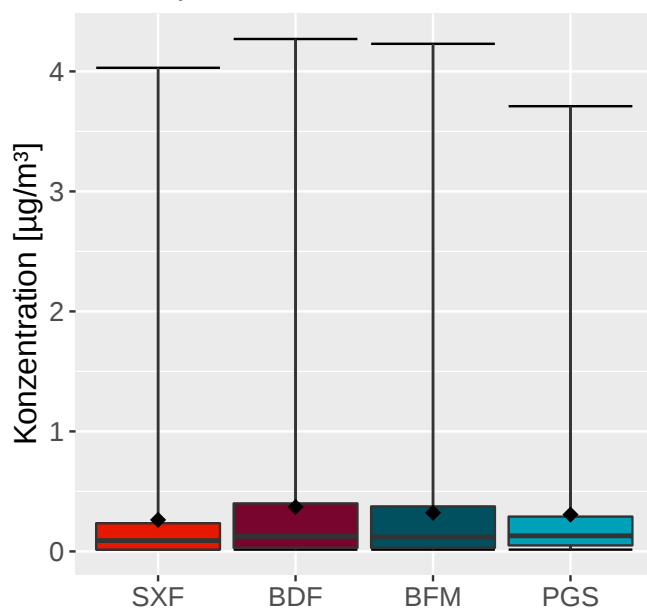
stat. Kenngröße, ng/m ³	SXF	BDF	BFM	PZS
Mittelwert, BaP	0,26	0,37	0,32	0,31
Max. WMW	4,03	4,27	4,23	3,71
50-Perzentil	0,09	0,13	0,12	0,13
98-Perzentil	1,87	2,48	1,55	1,65

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

A Wochenmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

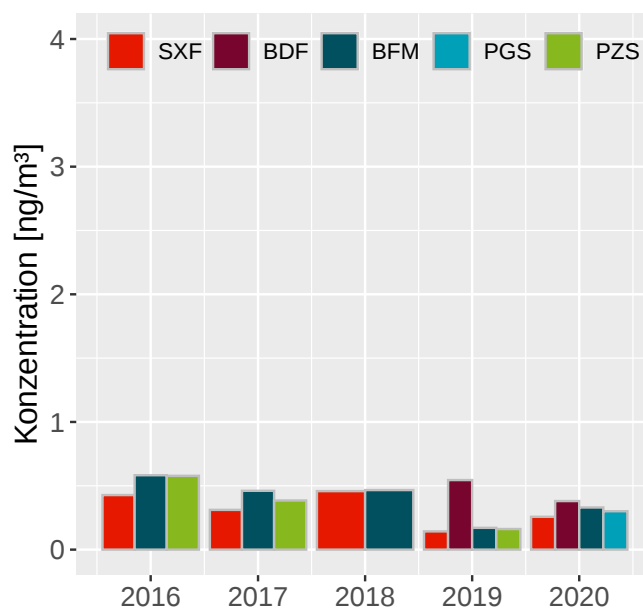


Abbildung 13: Darstellung der (A) Wochenmittelwerte 2020 der Benz[a]pyren-Konzentration sowie (B) der Messwertverteilung für die Standorte SXF, BFM und FFO. (C) Darstellung der aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte

Ruß

Die Jahresmittelwerte 2020 sowie statistische Kennzahlen der gemessenen Rußkonzentrationen an den FBB-Luftgütemessstationen SXF und BDF sowie an den Standorten BFM und PGS 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 $8\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 2020 der Standorte SXF, BDF, BFM und PGS. Die höchsten Werte wurden im November und Dezember gemessen. Ein saisonaler Effekt ist jedoch nicht erkennbar. Die Schwankungen zwischen den Wochen sind auf meteorologische Bedingungen wie Windverhältnisse 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 PGS der Jahresmittelwert und auch der Median am höchsten liegen (siehe auch **Abbildung 14 B**).

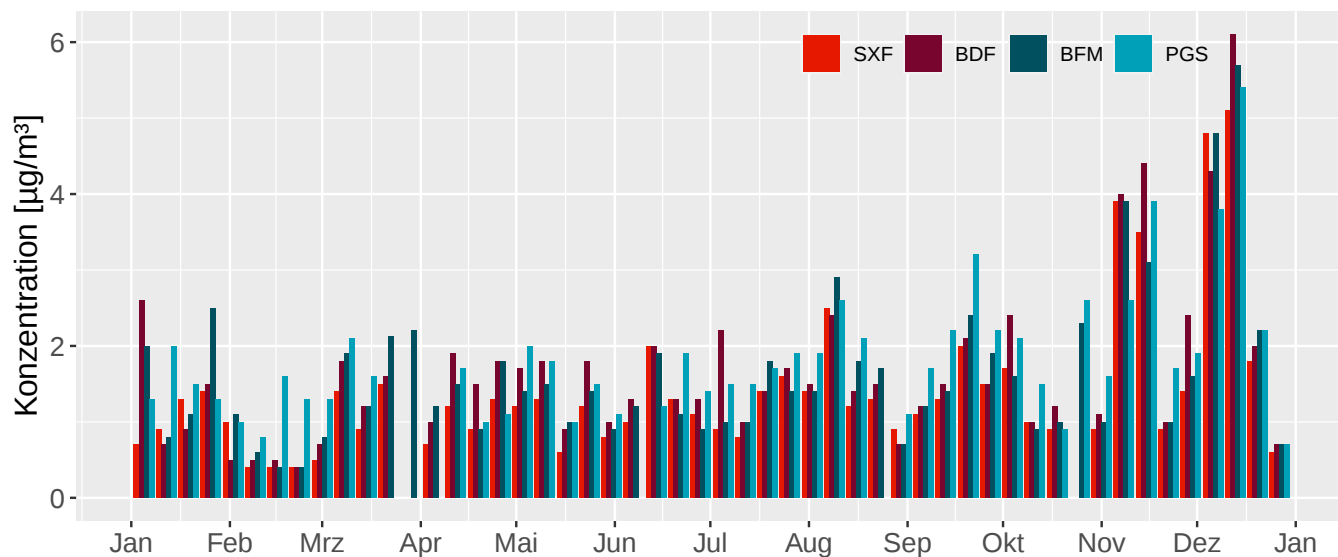
Die Entwicklung der Jahresmittelwerte der Rußkonzentration der letzten fünf Jahre an den Standorten SXF, BDF, BFM und PZS/PGS kann **Abbildung 14 C** entnommen werden. An den Standorten SXF, BDF und BFM liegt der Jahresmittelwert im Jahr 2020 niedriger als in den Vorjahren.

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

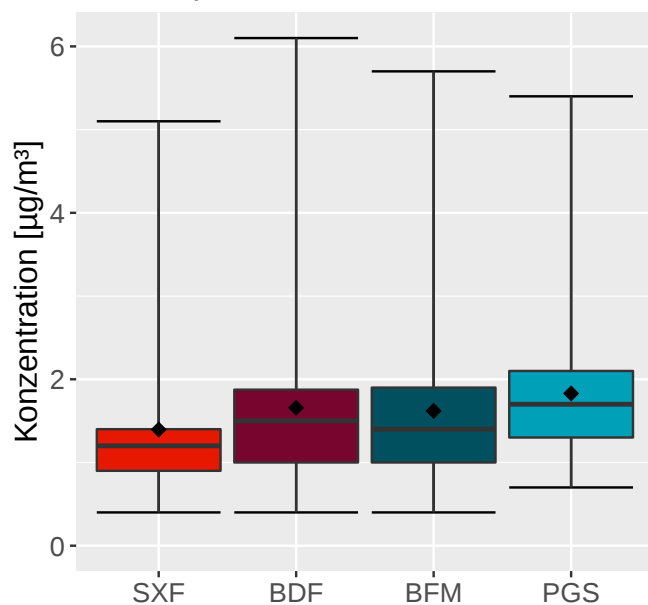
stat. Kenngröße, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SXF	BDF	BFM	PGS
Mittelwert, Ruß	1,4	1,7	1,6	1,8
Max. WMW	5,1	6,1	5,7	5,4
50-Perzentil	1,2	1,5	1,4	1,7
98-Perzentil	4,8	4,4	4,7	4,0

Ruß @ SXF, BDF, BFM, PGS

A Wochenmittelwerte 2020



B Boxplot 2020



C Jahresmittelwerte 2016 – 2020

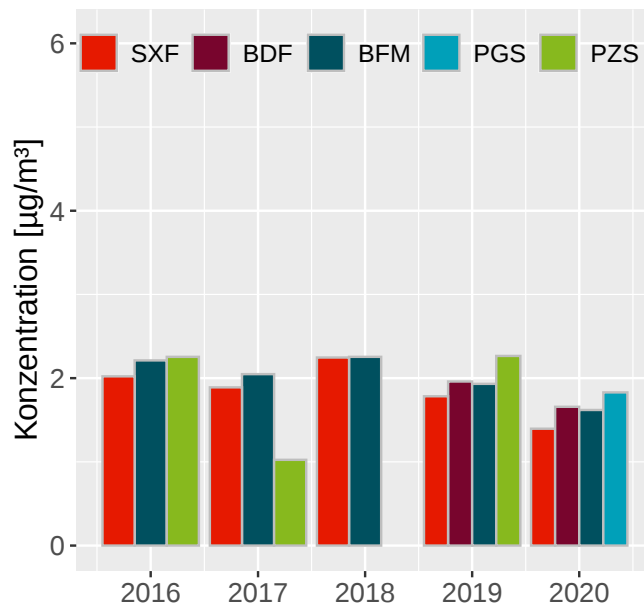


Abbildung 14: Darstellung der (A) Wochenmittelwerte der Ruß-Konzentration sowie (B) der Messwertverteilung für die Standorte SXF, BDF, BFM und PGS. (C) Darstellung der aktuellen und zurückliegender Jahresmittelwerte



Zusammenfassung

Die gesetzlichen Grenz- und Zielwerte wurden im Jahr 2020 für alle gemessenen Parameter an den FFB-Luftgütestandorten sicher eingehalten.

Die **Abbildung 15 A** zeigt zusammenfassend die Jahresmittelwerte

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

PM₁₀ dargestellt. Bei Ozon handelt es sich um einen Zielwert, wobei die Zahl der Überschreitungstage pro Kalenderjahr, gemittelt über drei Jahre, maßgeblich ist. Dieser Zielwert wurde am Standort BFM überschritten.

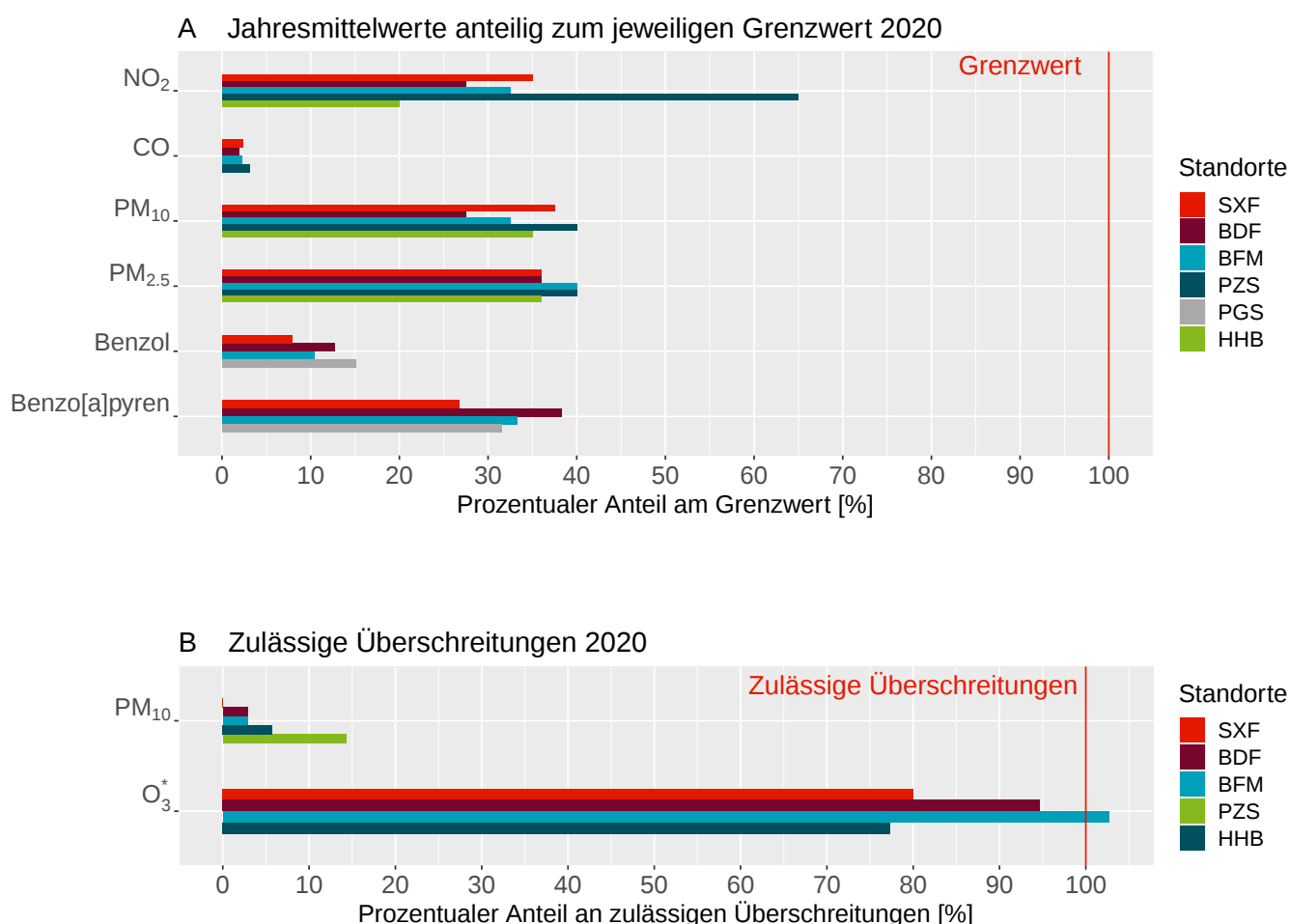


Abbildung 15: Relation der an den Standorten SXF, BDF, BFM, PZS, PGS und HHB ermittelten Jahresmittelwerten in 2020 zum jeweiligen Grenzwert bzw. *Zielwert (Ozon, Dreijahresmittel)

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 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. Anders verhält es sich mit den Luft-

schadstoffen. Hier ist kein Trend erkennbar. Mit Ausnahme von NO_2 und Benzol weisen die Schadstoffe ein Maximum im Jahr 2014 auf. Im Jahr 2017 lagen die Jahresmittelwerte von Ruß und $\text{PM}_{2.5}$ 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. NO_2 und $\text{PM}_{2.5}$ liegen auf gleichem Niveau wie in den Vorjahren. Im Jahr 2019 erreichen die Jahresmittelwerte von Benzol und Benz[a]pyren ein Minimum, während die anderen Schadstoffe nur wenig vom Jahresmittelwert aus 2012 abweichen.

Der enorme Rückgang der Verkehrszahlen im Jahr 2020 spiegelt sich nicht in gleichem Maße in der Entwicklung der Schadstoffkonzentration

on wider. Zwar sind mit Ausnahme von Benzo[a]pyren die Jahresmittelwerte aller Schadstoffe geringer als im Vorjahr, jedoch fällt der Abnahme der Jahresmittelwerte prozentual deutlich geringer aus als bei den Verkehrszahlen. Der Jahresmittelwert von Benzol ist im Jahr 2020 etwa 50 % niedriger als im Jahr 2012, allerdings lagen die Jahresmittelwerte der Vorjahre auch 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 zu einem leichten Rückgang der Immission geführt.

Diese Untersuchung wird in den Folgejahren fortgeführt.

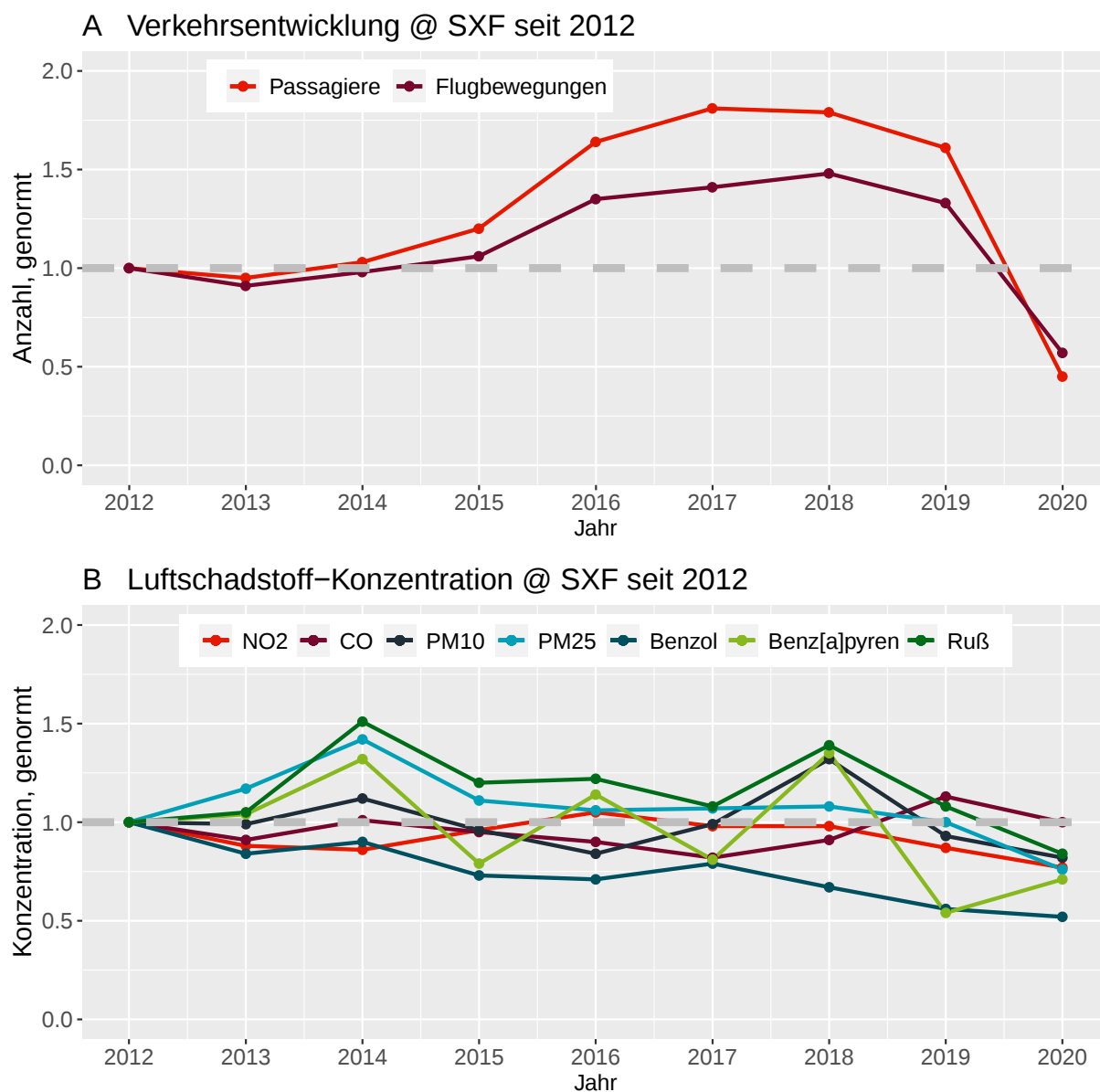


Abbildung 16: Normierte Darstellung der (A) Verkehrsentwicklung sowie der (B) Jahresmittelwerte am Standort SXF seit 2012.



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, woraus sich ein Grenzwert ableiten ließe. Hierzu besteht weiterhin Forschungsbedarf.

In den letzten Jahren ist das Thema UFP zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Diesem Interesse stellt sich die FBB und möchte mit ihren UFP-Messungen einen aktiven Beitrag zur Charak-

terisierung der Außenluft im Flughafenumfeld leisten. Seit Oktober 2016 misst die FBB als erster deutscher Flughafen UFP an der stationären Luftgütemessstation am Standort SXF. Die Messungen erfolgen weitestgehend kontinuierlich, wobei es Unterbrechungen für Qualitätskontrollen (siehe Qualitätssicherung, S. 48) bzw. notwendige Reparaturen geben kann. Die Messtechnik sowie erste Ergebnisse werden nachfolgend dargestellt.

Seit März 2018 hat die FBB darüber hinaus eine mobile Luftgütemessstation in Bohnsdorf aufgestellt. Hier wird neben den klassischen Luftgüteparametern ebenfalls UFP gemessen.

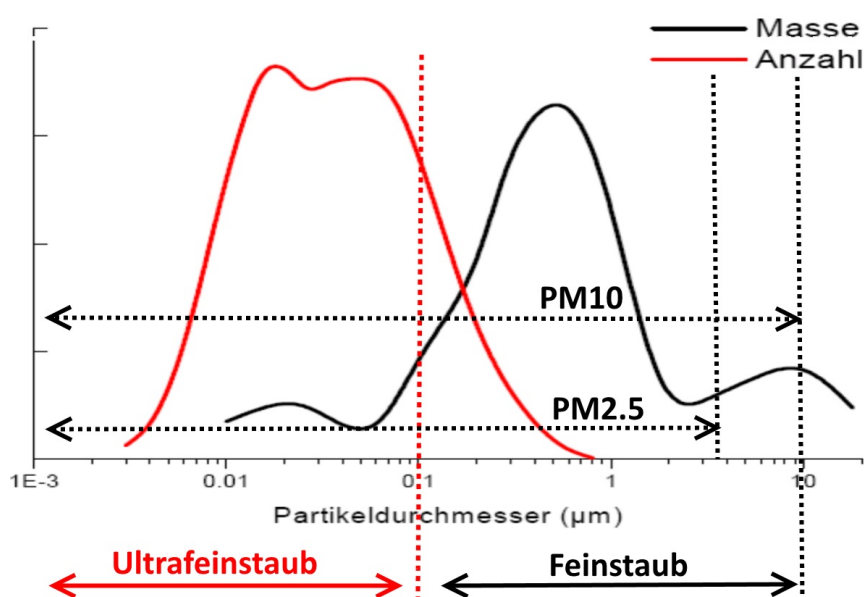


Abbildung 17: Partikelgrößenabhängige Massen- und Anzahlkonzentration eines typischen Aerosols.

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

Das UFP-Messgerät ermöglicht drei verschiedene 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 Zählheit 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 Größenspektrum von 5 nm bis 350 nm, mit dem L-DMA ein Größenspektrum 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 UFP-Messung zur Gewährleistung von Transparenz und Vergleichbarkeit mit anderen Messergebnissen nimmt einen großen Stellenwert ein. Als Partner für die Qualitätssicherung steht der FBB das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung zur Seite. Das TROPOS ist Mitglied des Welt-Kalibrierzentrums für Aerosolphysik (WCCAP: World Calibration Cen-

tre for Aerosol Physics) und ebenso Teil der Europäischen Forschungsinfrastruktur für Untersuchungen von Aerosol, 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 ein- bis 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. Darüberhinaus 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.

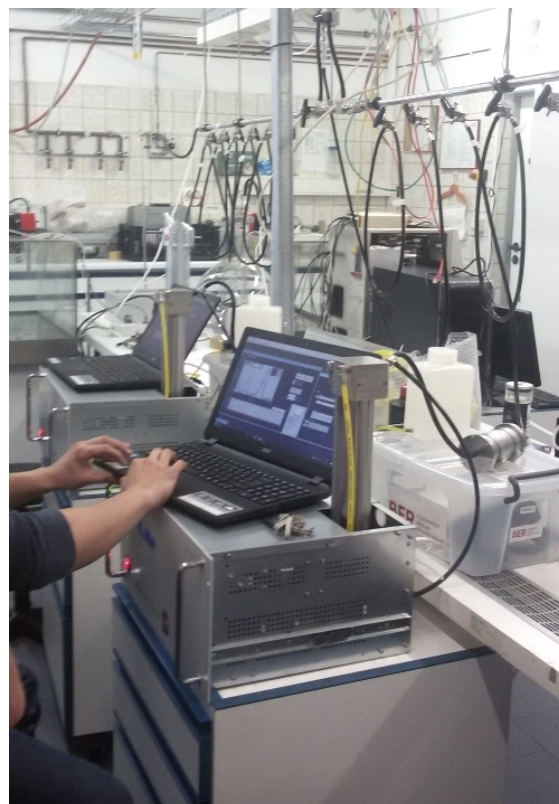


Abbildung 19: Kalibrierworkshop im Labor des Leibnitz-Institutes für Troposphärenforschung.

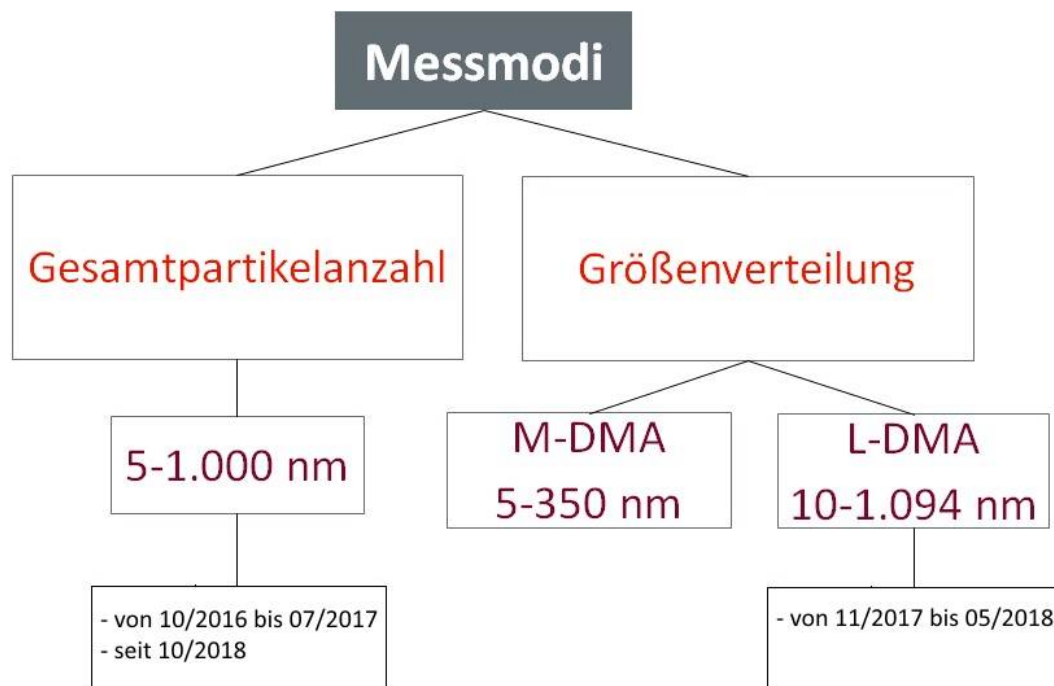


Abbildung 20: Übersicht der Messmodi des UFP-Messgeräts und deren Anwendung für die Messungen der FBB.

Messwerte 2020

Die **Abbildungen 21 A** zeigen den zeitlichen Verlauf der 30-min-Mittelwerte der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF und BDF für den Zeitraum Januar bis Dezember 2020 und ab Mai auch für den Standort BFM (Blankenfelde-Mahlow, Luftgütemessnetz Brandenburg). 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. Dennoch liegt der Mittelwert über den gesamten Zeitraum mit 9.500 #/ccm vergleichsweise nah am Median (7.400 #).² Diese breite Streuung erklärt sich durch den Maximalwert in Höhe von ca. 167.000 #/ccm im Juli (siehe **Abbildung 21 A**). Dieser Einzelwert ist statistisch gesehen als

Ausreißer einzustufen. Der Transparenz wegen wird er hier mit darstellerisch und statistisch einbezogen. In den vergangenen Jahren lagen die Werte für Median und Mittelwert deutlich weiter auseinander. Dies erklärt sich durch 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. Der drastische Rückgang des Flugverkehr und der damit auch geringere Bodenverkehr zeigt sich hier deutlich in einem deutlich geringerem Jahresmittelwert, aber auch in einer geringeren Streuung der Messwerte.

An den Standorten BDF und BFM ist die Variabilität der Messwerte etwas geringer als am Standort SXF und Mittelwert und Median liegen nahe beieinander (siehe **Tabelle 13**). Die Entwicklung der Jahresmittelwerte³ seit 2017 wurde in **Abbildung 21 C** dargestellt. Im Jahr 2020 liegt die UFP-Belastung am Standort SXF niedriger als in den Vorjahren. Am Standort BDF hingegen ist die UFP-Belastung etwas höher als in

den Vorjahren.

Der Rückgang des Flugverkehrs im Jahr 2020 spiegelt sich also am Standort SXF sowohl im Jahresmittelwert also auch in der Variabilität der Messwerte wieder, wohingegen am Standort BDF ein Einfluss des Flugverkehrsrückganges nicht zu erkennen ist.

In **Tabelle 13** sind UFP-Messwerte aus dem GUAN-Messnetz (GUAN: German Ultrafine Aerosol Network) und vergleichsweise die Messwerte der FBB-Messstandorte SXF und BDF aufgeführt. Die mittlere Belastung am Standort SXF in 2019 liegt leicht unterhalb des Niveaus der aufgeführten Verkehrsstation. Der Median liegt deutlich unterhalb des Verkehrs-Niveaus. Die Standorte BDF und BFM liegen auf dem Niveau von ländlichem Hintergrund.

Ein Vergleich der Messwerte ist allerdings nur orientierend möglich, da die Messzeiträume zum Teil weit auseinander liegen und auch die erfassten Größenbereiche der Partikel sich unterscheiden. An dieser Stelle wird ein grundlegendes Problem der derzeitigen UFP-Messungen deutlich: Es gibt keinen einheitlichen Standard, welcher Größenbereich erfasst wird. Dies ist jedoch eine Grundvoraussetzung für die Vergleichbarkeit von Messwerten.

²Median bedeutet, 50 % aller Messwerte liegen unterhalb dieses Wertes (siehe hierzu auch **Abbildung 24**).

³Für die Bildung der Jahresmittelwerte wurden nur die gemessene Gesamtpartikelanzahl einbezogen. Der Zeitraum, in dem großenteils 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).

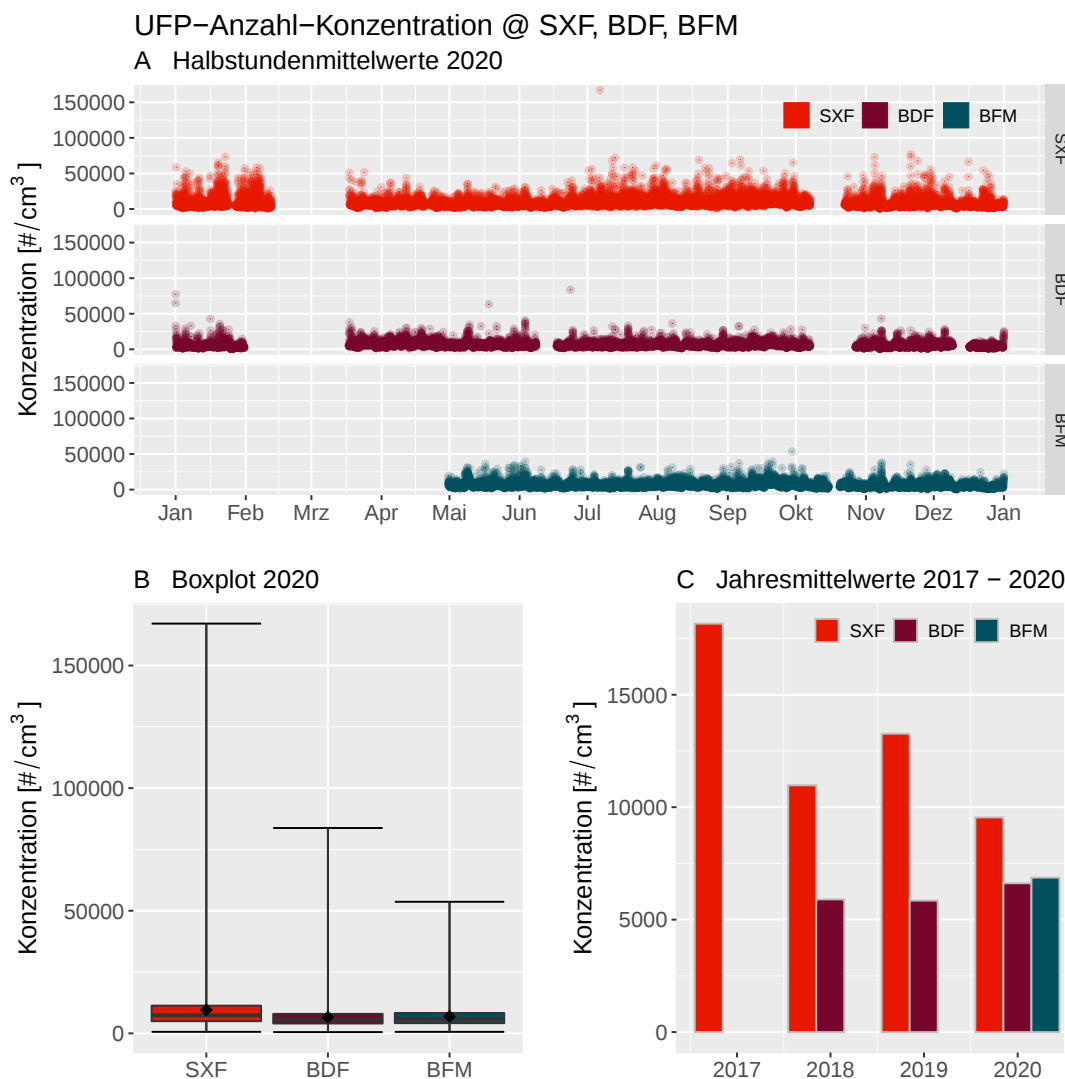


Abbildung 21: Halbstundenmittelwerte Gesamtpartikelanzahl UFP an den Standorten SXF, BDF und BFM 2020.

Tabelle 13: UFP-Messwerte des GUAN-Messnetzes sowie an den Standorten SXF, BDF und BFM

Ort	Type	Interval [nm]	Mittel [#/ccm]	Median [#/ccm]	Zeitraum
Raunheim	städt. HG	3-1.000	16.100	12.300	09/15-03/16
Langen	städt. HG	3-1.000	12.200	10.500	2010-2013
Melpitz	ländl. HG	5-800	5.700		2010-2013
Dresden	Verkehr	5-800	14.900		2010-2013
Leipzig	Verkehr	5-800	16.300		2010-2013
SXF	Verkehr	5-1.000 ^a	9.500	7.400	2020
BDF	städt. HG	5-1.000 ^a	6.700	5.700	2020
BFM	städt. HG	5-1.000 ^a	6.900	5.900	2020

a: Gesamtpartikelanzahl

Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl

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 2020⁴. Als Nacht wurde der Zeitraum von 00:00 Uhr bis 06:00 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. Am Standort BDF zeigen sich höher Messwerte, sowohl bei Windrichtungen aus Richtung des Flughafens (SW), als auch bei Windrichtungen aus NO. Insgesamt sind nur geringe Unterschiede zwischen den Windrichtungen am Standort BDF zu beobachten. Am Standort BFM sind höhere Messwerte aus Richtung Flughafen (NO) zu

erkennen. Während der Nachtstunden sind am Standort BFM keine höheren Messwerte bei Windrichtung NO zu sehen, während am Standort BDF auch Nachts tendenziell höhere Werte bei Windrichtung aus SW vorliegen.

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

⁴Für den Standort BFM liegen Messdaten vom 31.05. bis 31.12.2020 vor

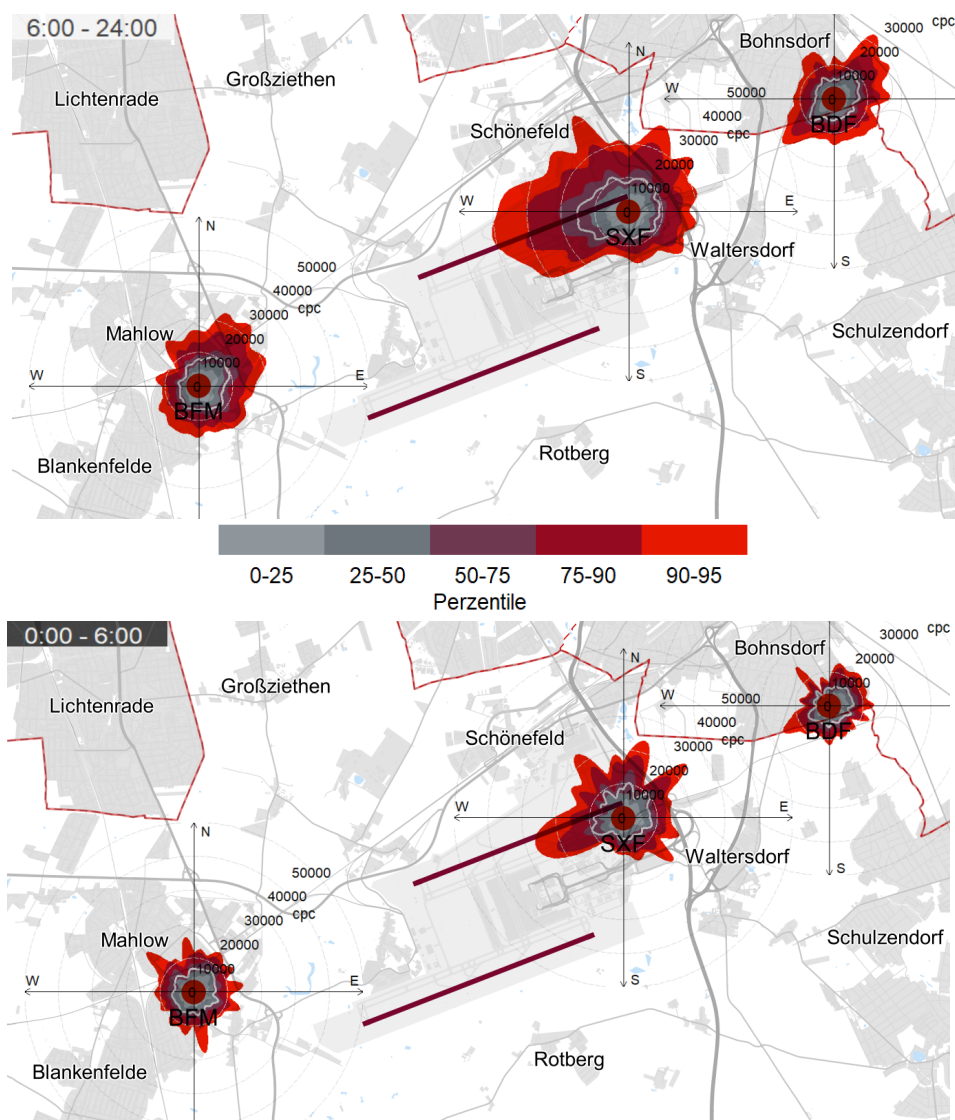


Abbildung 22: Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF und BFM, unterschieden zwischen Tag und Nacht, 2020

UFP-Belastung an den Standorten SXF und BDF 2019 und 2020 im Vergleich

Der drastische Rückgang des Flugverkehrs im Jahr 2020 bietet die Möglichkeit, den Einfluss des Flugverkehrs auf die UFP-Belastung am Flughafen sowie im Umland (Standort BDF) zu untersuchen.

Die **Abbildung 22** zeigt die UFP-Belastung in Abhängigkeit von der Windrichtung an den Standorten SXF und BDF verglichen zwischen den Jahren 2019 und 2020.

Wie auch schon in **Abbildung 21 C**

zu erkennen ist, zeigt sich ein deutlicher Rückgang der UFP-Belastung am Standort SXF und ein leichter Anstieg am Standort BDF. Am Standort BDF ist im Jahr 2019 eine ausgeprägtere Abhängigkeit von der Windrichtung zu beobachten mit erhöhten Werten bei Wind aus Richtung des Flughafens. Im Jahr 2020 ist dieser Peak bei Wind aus Richtung des Flughafens zwar auch zu erkennen, aber die anderen Windrichtungen gehen mit höheren Werten einher als im Jahr 2019.

Die windrichtungs-abhängige Darstellung zeigt den Einfluss des Flughafens auf die UFP-Belastung. Jedoch wird auch deutlich, dass andere Einflüsse, wie z.B. die Meteorologie und andere umliegende Quellen ebenfalls einen Einfluss auf die UFP-Belastung in Bohnsdorf ausüben. Diese Einflüsse sind so groß, dass der drastische Rückgang des Flugverkehrs im Jahr 2020 nicht zu einer Reduzierung der UFP-Belastung in Bohnsdorf, verglichen zu den Vorjahren, führte.

Windrichtungsabhängige UFP-Anzahl-Konzentration #/ccm,
@SXF & @BDF 2019 und 2020

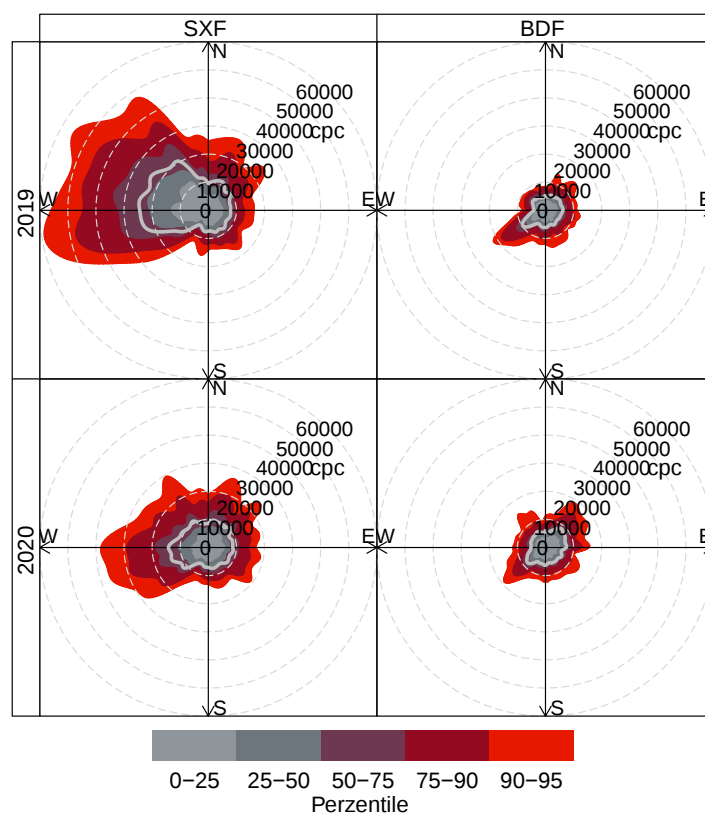


Abbildung 23: Windabhängige Betrachtung der Gesamtpartikelanzahl an den Standorten SXF, BDF im Jahresvergleich 2019 & 2020

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 und PGS.

VOC, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PGS
Benzol	0,39	0,63	0,52	0,76
Ethylbenzol	0,09	0,67	0,13	0,31
Toluol	0,42	1,05	0,68	1,47
m/p-Xylol	0,27	0,82	0,34	1,78
o-Xylol	0,10	0,48	0,12	0,27

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

PAK, $\mu g/m^3$	SXF	BDF	BFM	PZS
Benz(a)anthracen	0,17	0,22	0,19	0,18
Benzo(a)pyren	0,27	0,38	0,33	0,32
Benzo-(b)-fluoranthen	0,34	0,43	0,42	0,36
Benzo-(j)-fluoranthen	0,52	0,72	0,67	0,57
Benzo-(k)-fluoranthen	0,15	0,20	0,20	0,17
Dibenz(a,h)anthracen	0,02	0,03	0,03	0,02
Indeno(1.2.3-cd)pyren	0,25	0,33	0,34	0,28

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.

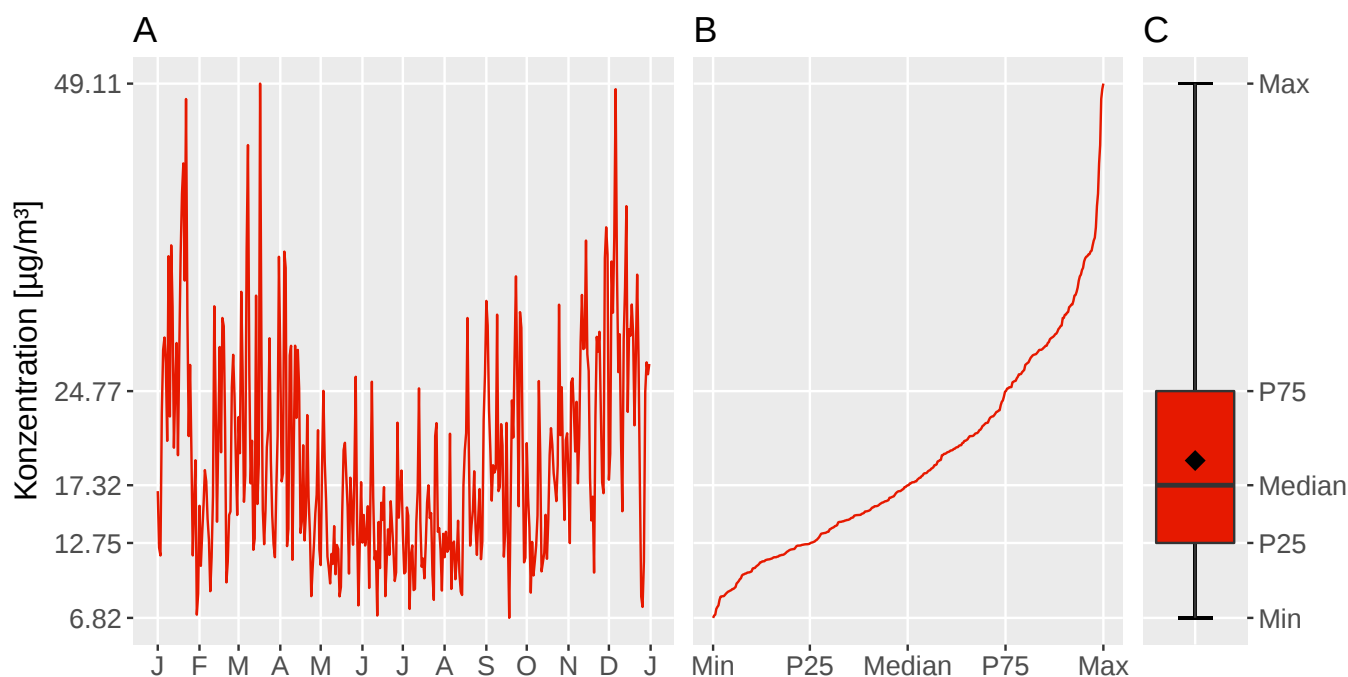


Abbildung 24: Erläuterung zum Boxplot. Darstellung der NO₂-Messreihe 2016 für den Standort SXF als (A) Zeitreihe, (B) der Größe nach geordnet und (C) als Boxplot-Darstellung.

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

Vorsitzender des Aufsichtsrates: Rainer Bretschneider
Vorsitzender der Geschäftsführung: Prof. Dr.-Ing. Engelbert Lütke Daldrup
Kaufmännische Geschäftsführerin: Aletta von Massenbach
Geschäftsführer Personal: Michael Halberstadt
Sitz der Gesellschaft: Schönefeld Registergericht: Amtsgericht Cottbus HRB 9380 CB

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