

PROFILMESSUNGEN MIT NO₂-PASSIVSAMMLERN IN EBERSWALDE (2021 – 2022)



IMMISSION UND KLIMA



Impressum

Herausgeber

Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz (MLUK)
Referat Öffentlichkeitsarbeit
Henning-von-Tresckow-Straße 2 – 13, Haus S, 14467 Potsdam
Telefon: +49 (0) 331 866-7237
E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de
Internet: mluk.brandenburg.de

Redaktion

Landesamt für Umwelt (LfU)
Referat Luftqualität, Klima, Nachhaltigkeit
Seeburger Chaussee 2, 14476 Potsdam
Telefon +49 (0) 33201 – 442-0
E-Mail: infoline@lfu.brandenburg.de
Internet: lfu.brandenburg.de
b9g.de/luftguetemessnetz

Autor

Referat Luftqualität, Klima, Nachhaltigkeit
Luftgütemessnetz Brandenburg

Fotos

Alle Fotos: © Luftgütemessnetz Brandenburg

Kartenerstellung

Luftgütemessnetz Brandenburg
Die Nutzung der Geobasisdaten erfolgt mit Genehmigung der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg:
© GeoBasis-DE/LGB, dl-de/by-2-0

Satz

Satzweiss.com Print Web Software GmbH

Diese Veröffentlichung ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf nicht für Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Unabhängig davon, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Broschüre dem Empfänger zugegangen ist, darf sie, auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl, nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte.

Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Potsdam, Dezember 2024

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
1.1 Hintergrund	7
1.2 Ziele der Messkampagne in Eberswalde	7
2 Standortbeschreibung	9
2.1 Messstelle MP 01/07, Breite Straße 22	10
2.2 Messstelle MP 02, Breite Straße 23	10
2.3 Messstelle MP 03, Breite Straße 54	11
2.4 Messstelle MP 04, Breite Straße 62	11
2.5 Messstelle MP 05, Breite Straße 12	12
2.6 Messstelle MP 06, Park der Maria-Magdalenen-Kirche	12
3 Methodik	13
3.1 Beschreibung der Probenahme mit Passivsammlern und der anschließenden Laboranalyse	13
3.2 Datenaufbereitung	14
3.3 Repräsentativitätsanalyse	14
3.4 Modellierung der Luftschadstoffkonzentration	14
4 Ergebnisse der Profilmessung	15
5 Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse	18
6 Weiterführende Betrachtungen	20
6.1 Vergleich mit der Profilmessung in Bernau bei Berlin im Jahr 2022	20
6.2 Gegenüberstellung der NO ₂ -Konzentration und der Verkehrsbelegung	20
6.3 Vergleich zwischen Messung und Modellwerten	21
6.4 Vergleich der Messergebnisse der NO ₂ -Passivsammler und der Referenzmethode	22
7 Fazit und Schlussfolgerung	24
Literaturverzeichnis	25

Abkürzungsverzeichnis

°	Grad (geografisch)
'	Minute (geografisch)
“	Sekunde (geografisch)
AG	Aktiengesellschaft
39. BImSchV	39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
ca.	circa
DEBBXXX	Stationscode einer Luftgütemessstelle im Land Brandenburg
EU	Europäische Union
h	Stunde
IEC	International Electrotechnical Commission (Internationale Elektrotechnische Kommission)
ImSchZV	Immissionsschutzzuständigkeitsverordnung
ISO	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
Kfz	Kraftfahrzeug
LANUV	Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Lpz. Str.	Leipziger Straße
LfU	Landesamt für Umwelt Brandenburg
m	Meter
MC	Messcontainer
MLUK	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz Brandenburg
MP	Messpunkt
µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter
NO ₂	Stickstoffdioxid
R ²	Bestimmtheitsmaß
RL	Richtlinie
UBA	Umweltbundesamt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersichtskarte zur Profilmessung Eberswalde.	9
Abbildung 2:	Ansicht auf die Messstelle MP 01/07 über dem Messcontainerdach.	10
Abbildung 3:	Ansicht auf die Messstelle MP 02, Breite Straße 23.	11
Abbildung 4:	Ansicht auf die Messstelle MP 03, Breite Straße 54.	11
Abbildung 5:	Ansicht auf die Messstelle MP 04, Breite Straße 62, vor dem Amtsgericht.. . . .	11
Abbildung 6:	Ansicht auf die Messstelle MP 05, Breite Straße 12.	12
Abbildung 7:	Ansicht auf die Messstelle MP 06 in der Parkanlage vor der Maria-Magdalenen Kirche.	12
Abbildung 8:	Passivsammler-Messequipment (Fa. Passam). Von links nach rechts: Aufnahme eines Proben-Schutzbehälters, eines NO ₂ -Passivsammlers und Nahaufnahme der zugehörigen Glasfritte.	13
Abbildung 9:	Ergebnisse (Rohwerte) der Profilmessung in Eberswalde im Zeitraum 2021 bis 2023.	15
Abbildung 10:	NO ₂ -Monatsmittelwerte der verschiedenen Messpunkte der Profilmessung in Eberswalde und des Referenzverfahrens (MC Eberswalde) im Zeitraum 2021 bis 2022.. . . .	16
Abbildung 11:	NO ₂ -Jahresmittelwerte der verschiedenen Messpunkte für die Jahre 2021 und 2022 inkl. Referenzverfahren (MC Eberswalde). Schraffierter Balken: Datenverfügbarkeit < 90 %.	17
Abbildung 12:	NO ₂ -Jahresmittelwerte der Profilmessungen in Bernau bei Berlin und Eberswalde sowie Ergebnisse der jeweiligen Referenzmessung für das Jahr 2022. Schraffierte Säulen: Datenverfügbarkeit < 90 %.. . . .	20
Abbildung 13:	Gegenüberstellung DTV 2019/NO ₂ -Jahresmittelwerte 2022.	21
Abbildung 14:	Gegenüberstellung der gemessenen NO ₂ -Jahresmittelwerte 2022 mit den Modellwerten mit Bezugsjahr 2018.	21
Abbildung 15:	Scatterplot der Konzentrationen der Messpunkte MP 01 und MP 07 mit dem Referenzverfahren. Linke Seite: MP 01; rechte Seite: MP 07. Dargestellt werden auch die Kennzahlen der linearen Regression.	22
Abbildung 16:	Scatterplot aller bisherigen Profilmessungen mit NO ₂ -Passivsammlern, die einen Vergleich zwischen NO ₂ -Passivsammler und Referenzverfahren beinhalten.	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Standortdokumentation der Messpunkte/Messstellen der Profilmessung mit NO ₂ -Passivsammlern in Eberswalde. .10
Tabelle 2:	Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse für den gewählten Messpunkt MP 01.18
Tabelle 3:	Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse für den gewählten Messpunkt MP 05.19

1 Einleitung

Die in der Atmosphäre vorkommenden Stickoxide sind sowohl natürlichen Ursprungs also auch durch menschlichen Einfluss verursacht. Der Großteil der anthropogenen Stickoxide stammt aus der Verbrennung fossiler Energieträger, zum Beispiel aus Industrie und Verkehr. Dabei entsteht überwiegend Stickstoffmonoxid, welches in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid umgewandelt wird. Zusammen mit anderen flüchtigen organischen Verbindungen können aber auch andere Stickstoffverbindungen entstehen, wie zum Beispiel Salpetersäure und Ammoniak. Stickstoffdioxid kann die Atemorgane reizen oder gar schädigen und hat somit negative Effekte auf die Lungenfunktion und das Herz-Kreislauf-System. Salpetersäure kann zur Übersäuerung der Böden und Gewässer beitragen und Ammoniak kann empfindliche Ökosysteme stören. Die Immissionsbelastung mit Stickoxiden und Stickstoffdioxid (NO₂) ist daher Bestandteil umweltrechtlicher Regulierung in Europa und somit auch in Deutschland. Hierzu gehört auch der Betrieb von ortsfesten Messstationen zur Überwachung der gesetzlichen Grenzwerte an bestimmten Standorten im Land. Der EU-weite Grenzwert für die NO₂-Konzentration in der Außenluft beträgt 40 µg/m³, bezogen auf den Jahresmittelwert.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in der Stadt Eberswalde im Zeitraum von Dezember 2019 bis Januar 2023. Derartige Sondermesskampagnen führen wir in Brandenburg regelmäßig zur Standortvalidierung der bestehenden ortsfesten Messungen durch [1], [2], [3], [4]. Im Sinne dieses Berichtes bedeutet der Begriff Profilmessung die temporäre Messung an mehreren Messstellen in geringer räumlicher Distanz. Eine Profilmessung verfolgt damit den Zweck, die kleinräumige Verteilung der NO₂-Konzentration, beispielsweise innerhalb eines Straßenzuges, abzubilden. Sofern im Untersuchungsgebiet eine ortsfeste Messstation steht, kann dadurch die Eignung Ihres Standortes überprüft werden.

1.1 Hintergrund

Das Landesamt für Umwelt betreibt als zuständige Behörde für den Immissionsschutz in Brandenburg (§1 ImSchZV) [5] das landesweite Luftgütemessnetz in Umsetzung der Europäischen Richtlinie (RL) über Luftqualität und saubere Luft für Europa (2008/50/EG) [6] sowie deren Änderung in Richtlinie (EU) 2015/1480 [7]. Die dortigen Vorgaben werden mit der Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) [8] in deutsches Recht umgesetzt.

Damit Luftqualitätsdaten unterschiedlicher EU-Mitgliedsstaaten miteinander vergleichbar sind und eine konforme Bewertung hinsichtlich der einheitlichen Leit-, Ziel- und Grenzwerte möglich ist, sind für die Beurteilung umfangreiche und mitunter detaillierte gesetzliche Anforderungen zu erfüllen.

Gemäß Artikel 4 der Luftqualitätsrichtlinie muss jeder Mitgliedsstaat sein gesamtes Hoheitsgebiet in Gebiete und Ballungsräume einteilen, die voneinander unabhängig bezüglich ihrer Luftqualität überwacht werden. In Abschnitt 1 werden Beurteilungsverfahren, Beurteilungskriterien, Probenahmestellen sowie Referenzmethoden beschrieben. Vereinfacht gesagt ergibt sich aus dem Zuschnitt der Beurteilungsgebiete, der jeweiligen Bevölkerungsdichte sowie der bisherigen Luftschadstoffkonzentration zu-

nächst das anzuwendende Beurteilungsverfahren: Messung, Modellrechnung oder objektive Schätzung. In der Folge bemisst sich danach auch die erforderliche Anzahl an Probenahmestellen. Dies sind in der Praxis zumeist Messstationen, wo in einem speziellen Container Messgeräte zur Erfassung verschiedener Luftschadstoffe untergebracht sind.

Die Randbedingungen für die Lage von Stickstoffdioxid-Probenahmestellen sind in Artikel 7 in Verbindung mit Anhang III der Richtlinie geregelt.

Abschnitt B des Anhangs III befasst sich mit der großräumigen Ortsbestimmung der Probenahmestellen. Im Kontext des Gesundheitsschutzes ist demnach für die Aufstellung einer Messeinrichtung im Allgemeinen der Bereich der höchsten Konzentrationen zu wählen. Dabei sollen Luftproben an verkehrsbezogenen Messstellen für einen Straßenabschnitt von nicht weniger als 100 Metern Länge repräsentativ sein. Messwerte städtischer Hintergrundstationen sollen sogar typisch für mehrere Quadratkilometer sein. Im darauffolgenden Abschnitt C wird die kleinräumige Ortsbestimmung der Probenahmestellen behandelt. Dies betrifft beispielsweise die etwaige Beeinträchtigung der Luftanströmung durch bestimmte Geometrien und die Probenahmhöhe. Der abschließende Abschnitt D regelt die Dokumentation für die Ortswahl und fordert deren regelmäßige Überprüfung und gegebenenfalls erneute Dokumentation, damit die fortwährende Gültigkeit der Ortswahlkriterien sichergestellt ist.

Die Kreisstadt Eberswalde befindet sich im Nordosten Brandenburgs und gehört zum Landkreis Barnim. Der Landkreis Barnim ist dem Beurteilungsgebiet „Brandenburg Südost“ zugeteilt [9]. Eberswalde ist mit etwa 41.000 Einwohnern eine der größeren Städte im Land.

Repräsentativ für den Bereich der höchsten Belastung in Eberswalde, wurde in der Breite Straße bis Januar 2024 die Luftgütemessstation Eberswalde, Breite Straße (DEBB060) betrieben. Die Grenzwerte für Stickstoffdioxid wurden dort seit Jahren eingehalten. Letztlich hat die hier vorgestellte Profilmessung zur Erkenntnis beigetragen, dass die ortsfeste Messung aufgrund der starken Verbesserung der Luftqualität nicht weiter erforderlich ist.

1.2 Ziele der Messkampagne in Eberswalde

Die Messkampagne mit NO₂-Passivsammlern in Eberswalde wurde in Umsetzung der oben genannten Anforderungen der Luftqualitätsrichtlinie durchgeführt. Dabei sollten Stickstoffdioxidkonzentrationen an mehreren Punkten im verkehrsbedingt belasteten Raum messtechnisch untersucht werden. Die Ergebnisse der Passivsammler sollen zudem mit den im Routinebetrieb ermittelten Jahresmittelkonzentrationen der ortsfesten Messung in Eberswalde vergleichbar sein. Daher ist auch der Standort der ortsfesten Messung mittels Referenzverfahren (Messcontainer) Teil der Profilmessung, um statistisch verwertbare Vergleichsdaten von Passivsammlern mit der Referenzmessmethode zu erheben. Ziel war zudem die messtechnische Abdeckung mindestens eines Kalenderjahres, wobei gemäß oben genannter gesetzlicher Vorgaben Messwerte für mindestens 90 % des Kalenderjahres vorliegen müssen, um einen Jahresmittelwert bilden zu können.

Die Ergebnisse der Messkampagne in Eberswalde sollen folgende grundsätzlichen Fragestellungen beantworten:

- Entspricht die Messstelle in der Breite Straße in Eberswalde weiterhin den gesetzlichen Kriterien für die Ortswahl, d. h. repräsentiert der Standort der ortsfesten Messung noch den Bereich der höchsten Belastung?
- Wie sind die modellierten NO₂-Konzentrationen in Eberswalde entlang der Breite Straße unter Berücksichtigung von qualitätsgesicherten Messwerten einzuordnen?
- Wie ist die Repräsentativität der Luftgütemessstation in Eberswalde bezogen auf Stickstoffdioxid einzuschätzen?
- Wie sind die in Eberswalde ermittelten Konzentrationen im direkten Vergleich mit den Messergebnissen der Profilmessung in Bernau bei Berlin zu bewerten?

2 Standortbeschreibung

An insgesamt sechs Messstellen im Stadtgebiet von Eberswalde wurden temporäre Messpunkte für NO₂-Passivsammler eingerichtet. Abbildung 1 stellt die Lage der einzelnen Messstellen in einer Karte dar. Fünf Messstellen befanden sich entlang der Breite Straße. Eine weitere Messstelle wurde zur Ermittlung der städtischen Hintergrundbelastung in einem Park vor der Maria-Magdalenen Kirche (MP 06) betrieben.

Im untersuchten Abschnitt ist die Breite Straße Teil der Bundesstraße B 167, die von Südosten her ins Stadtzentrum führt. Während die B 167 danach in Richtung Westen abzweigt, wird die Breite Straße als Durchgangsstraße nach Norden weitergeführt. Die Straße ist durchgehend zweispurig und fällt der Topographie folgend zum Stadtzentrum hin ab, bevor sie dahinter wieder leicht ansteigt. Die nachfolgende Tabelle 1 fasst die Basisdaten der Messstellen bzw. Messpunkte der Profilmessung in Eberswalde zusammen.

Der Darstellung der Straßenabschnitte in verschiedenen Farben in Abbildung 1 liegt eine landesweite Luftschadstoff-Modellierung mit dem Bezugsjahr 2018 zugrunde [10]. Die Klassierung ist so gewählt, dass niedrige, mittelhohe und grenzwertrelevante Modellabschnitte separat gruppiert werden (grün: 0 – 25; gelb: >25 – 40;

violett >40 [µg/m³]). Für weitere Erläuterungen zum Thema Modellierung sei auf den Abschnitt 3.4 verwiesen.

Grundsätzlich können pro physischer Messstelle auswertetechnisch mehrere Messpunkte installiert werden, was als Parallelmessung bezeichnet wird. Daher kann eine sprachliche Differenzierung zwischen den Begriffen „Messstelle“ und „Messpunkt“ sinnvoll sein. Bei der hier vorgestellten Profilmessung fand eine derartige Parallelmessung an der Messstelle MP 01/07 statt. Dort waren die Messpunkte MP 01 und MP 07 eingerichtet. Diese Messstelle entspricht räumlich dem Standort des ortsfesten Messcontainers (MC Eberswalde). Die Messung mittels Referenzmessverfahren im Messcontainer ist hier nicht als Messstelle benannt, da sie nicht Teil der temporären Profilmessung selbst ist. Die dort mittels Referenzmessverfahren bestimmten Konzentrationen werden aber natürlich bei der Ergebnisbetrachtung einbezogen (vgl. Abschnitt 4). Sofern wir im Weiteren auf die Messstelle MP 01/07 eingehen, wird folglich explizit zwischen den Begriffen „Messstelle“ und „Messpunkt“ differenziert. Für alle anderen Standorte gab es pro Messstelle nur einen Messpunkt, sodass hier die Begriffe synonym verwendet werden können. Alle Messstellen waren in annähernd gleicher Höhe und in etwa gleichem Abstand zur Fahrbahn eingerichtet.

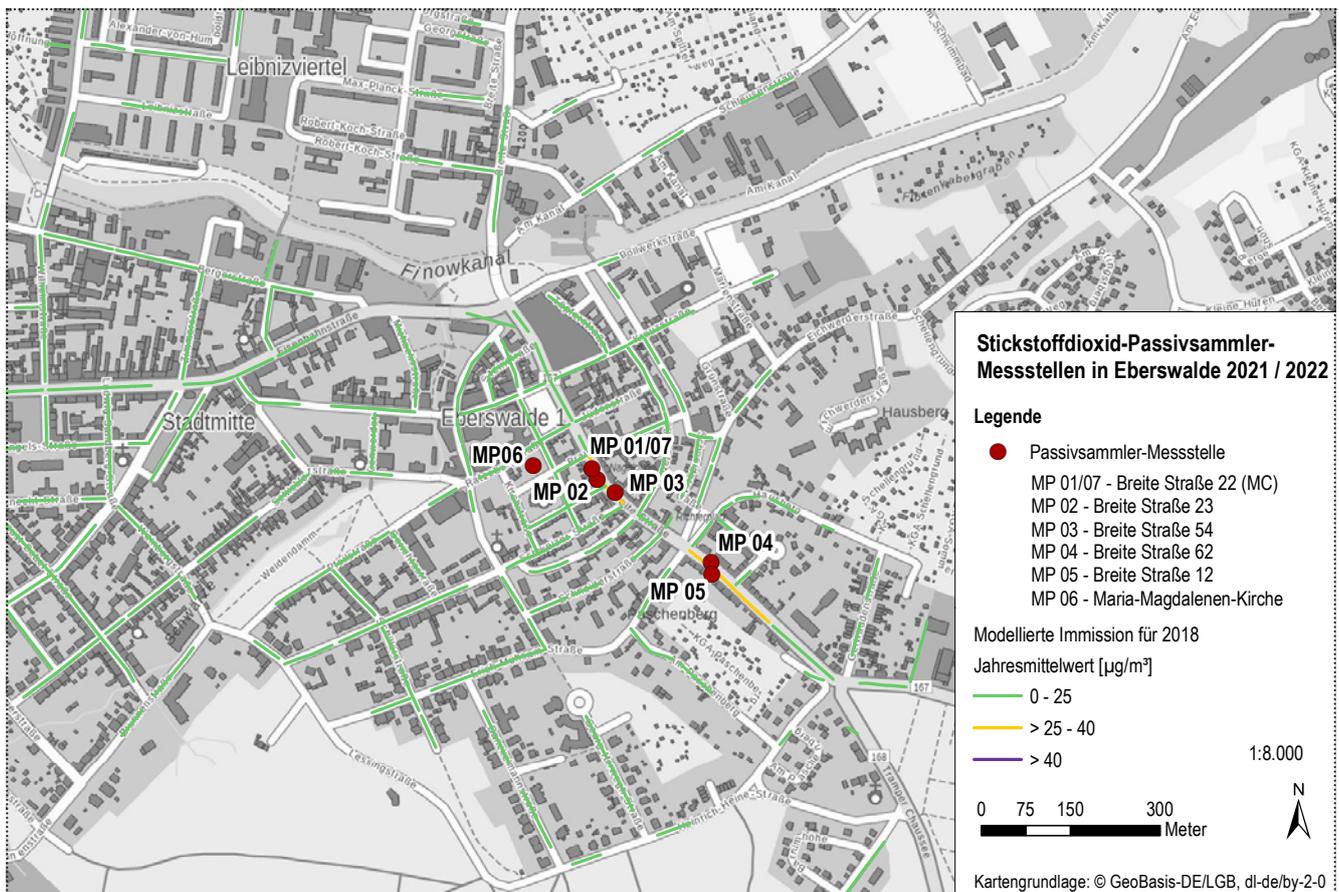


Abbildung 1: Übersichtskarte zur Profilmessung Eberswalde.

Tabelle 1: Standortdokumentation der Messpunkte/Messstellen der Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Eberswalde.

Bezeichnung Messpunkte/ (Messstelle)	Lage	Installation	Messhöhe über dem Grund	Abstand zur Straße	Zeitraum	Geografische Koordinaten		Klassifizierung/ Bemerkung
						Länge in °	Breite in °	
MP 01 (MP 01/07)	Breite Straße 22/ Messcontainer	Rohr der Probenahme	2,7 m	1 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'20"	52°49'57"	verkehrsbezogen
MP 02	Breite Straße 24	Parkleitschild	2,5 m	1 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'19"	52°49'58"	verkehrsbezogen
MP 03	Breite Straße 54	Tempo 30- Schild	2,5 m	1 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'21"	52°49'56"	verkehrsbezogen
MP 04	Breite Straße 62/ Amtsgericht	Straßenleit- schilder	2,5 m	1 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'30"	52°49'53"	verkehrsbezogen
MP 05	Breite Straße 12	Parkleitschild	2,5 m	1 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'30"	52°49'52"	verkehrsbezogen
MP 06	Park der Maria- Magdalenen- Kirche	Laterne	2,5 m	> 25 m	30.12.2020 – 23.01.2023	13°49'14"	52°49'58"	städtischer Hintergrund
MP 07 (MP 01/07)	Breite Straße 22/ Messcontainer	Rohr der Probenahme	2,7 m	1 m	11.01.2021 – 09.01.2023	13°49'20"	52°49'57"	verkehrsbezogen/ parallele Messung zu MP 01

2.1 Messstelle MP 01/07, Breite Straße 22

Auf Höhe des Eckhauses Breite Straße 22 befindet sich die verkehrsbezogene Luftgütemessstelle DEBB060 auf der westlichen Straßenseite. Die Breite Straße hat vor dem Messcontainer eine merkliche Steigung und geht in eine leichten Kurve über.

Das Luftgütemessnetz Brandenburg erfasste an diesem Standort seit 2004 sowohl verschiedene gasförmige als auch partikelförmige Luftschadstoffe. Die Messpunkte MP 01 und MP 07 waren am Rohr der aktiven Probenahme des Messcontainers befestigt. Die Messung erfolgte an beiden Messpunkten um 14 Tage zeitversetzt. Mit diesen beiden Vergleichsmessungen wird die Verfahrensvalidierung der Passivsammler im verkehrsnahen Immissionsniveau des Landes Brandenburg fortgeschrieben. Die zugehörige Auswertung erfolgt im Kapitel 6.



Abbildung 2: Ansicht auf die Messstelle MP 01/07 über dem Messcontainerdach.

2.2 Messstelle MP 02, Breite Straße 23

Die Messstelle MP 02 war gut 19 Meter nördlich des Messcontainers (MP 01/07) an einem Parkleitschild vor dem Haus Breite Straße 23, ebenfalls auf der westlichen Straßenseite, eingerichtet. Zwischen der Messstelle und dem Messcontainer befinden sich einige Parkplätze.



Abbildung 3: Ansicht auf die Messstelle MP 02, Breite Straße 23.

2.3 Messstelle MP 03, Breite Straße 54

Die Messstelle MP 03 hatten wir etwa 38 Meter südöstlich des Messcontainers auf der gegenüberliegenden Straßenseite hinter einem Verkehrszeichen (Zeichen 274 – Tempo 30 km/h) installiert. Die Breite Straße beschreibt in diesem Bereich eine Kurve und der Bürgersteig ist verengt.



Abbildung 4: Ansicht auf die Messstelle MP 03, Breite Straße 54.

2.4 Messstelle MP 04, Breite Straße 62

Die Messstelle MP 04 lag auf der nordöstlichen Straßenseite vor dem Amtsgericht, Breite Straße 62. Sie war auf der Rückseite mehrere Verkehrsleitschilder angebracht. Die Straße hat in diesem Bereich ein leichtes Gefälle in Richtung des nordwestlich liegenden Stadtzentrums. Aufgrund der ca. 35 Meter nordwestlich der Messstelle gelegenen Lichtsignalanlage an der Kreuzung Hausberg/Erich-Müh-sam-Straße kommt es gelegentlich zum Rückstau des Verkehrs bis zum Standort.



Abbildung 5: Ansicht auf die Messstelle MP 04, Breite Straße 62, vor dem Amtsgericht.

2.5 Messstelle MP 05, Breite Straße 12

Die Messstelle MP 05 wurde auf der dem Amtsgericht gegenüberliegenden Straßenseite auf Höhe der Hausnummer 12 an einem Parkleitschild eingerichtet. Hinter der Messstelle stadtauswärts ist der Gehweg zu Gunsten einer Reihe von Parkplätzen verengt. Die Breite Straße hat im Bereich der Messstelle MP 05 in nordwestlicher Richtung ein leichtes Gefälle.



Abbildung 6: Ansicht auf die Messstelle MP 05, Breite Straße 12.

2.6 Messstelle MP 06, Park der Maria-Magdalenen-Kirche

Die Messstelle MP 06 soll die durchschnittliche städtische Hintergrundbelastung repräsentieren und war daher abseits der Breite Straße im Parkgelände der Maria-Magdalenen Kirche, an einer von Pflanzenkübeln gesäumten Laterne installiert.



Abbildung 7: Ansicht auf die Messstelle MP 06 in der Parkanlage vor der Maria-Magdalenen Kirche.

3 Methodik

Im Folgenden werden die angewendeten Methoden beschrieben. Hierzu zählt das Vorgehen bei der Probenahme und der anschließenden Laboranalyse der Passivsammler sowie die Datenaufbereitung, die Repräsentativanalyse und die Modellierung von Luftschadstoffkonzentrationen.

3.1 Beschreibung der Probenahme mit Passivsammlern und der anschließenden Laboranalyse

Passivsammler finden zur Ermittlung von NO_2 -Konzentrationen in der Außenluft verstärkt Verwendung, da sie im Verhältnis zur Installation eines Messcontainers kostengünstig sind und es aufgrund ihrer geringen Größe nahezu keinerlei Einschränkungen bei der Standortwahl gibt. Sowohl Herstellung der von uns eingesetzten Passivsammler, als auch die anschließende Laboranalyse, erfolgen durch das „Schweizer Labor für Umweltanalytik Passam AG“. Das Luftgütemessnetz Brandenburg und die Messnetze anderer Länder haben zur NO_2 -Messung mittels Passivsammler in der Vergangenheit bereits mehrfach mit der Passam AG zusammen gearbeitet. Die Passam AG ist nach ISO/IEC 17025 akkreditiert, was die erforderliche Fachkompetenz durch eine unabhängige Akkreditierungsstelle belegt [11]. Darüber hinaus konnte auch das nordrhein-westfälische Landesamt für Umwelt, Natur und Verbraucherschutz (LANUV), welches wie das Umweltbundesamt (UBA) als Deutsches Nationales Referenzlabor für die Beurteilung der Luftqualität benannt ist, die Gleichwertigkeit der Analysewerte mit dem Referenzverfahren (das ausschließlich in einer Messstation bzw. einem Messcontainer durchgeführt werden kann) wiederholt belegen [12], [13]. Dieser Nachweis umfasst auch die Einhaltung der Datenqualitätskriterien nach Anhang 1 der EU-Luftqualitätsrichtlinie.

Die Messstellen entsprechen weitgehend den an ortsfeste Messungen gestellten Anforderungen der EU-Luftqualitätsrichtlinie. Hierzu gehören unter anderem die in Tabelle 1 aufgelisteten Daten, wie z. B. Abstände zu Straßen und Kreuzungen sowie die Messhöhe.

Zum Schutz vor Witterungseinflüssen werden die ausgebrachten Passivsammler in einer speziellen Aufhängung, dem Wetter-

schutzgehäuse, untergebracht und zur Vermeidung von Vandalismus oberhalb des direkten Zugriffsbereichs von Personen installiert. Das Wetterschutzgehäuse ähnelt einer unten geöffneten Dose mit Schraubdeckel (vgl. Abbildung 8, links). Dieser Deckel ist jedoch so konstruiert, dass er nicht dicht abschließt, sondern eine Durchströmung des Zylinders mit den darin befindlichen Proben ermöglicht. Ein Wetterschutzgehäuse nimmt bis zu sechs Passivsammler gleichzeitig zur Beprobung auf. Im Normalfall werden zwei Passivsammler pro Messhäuschen ausgebracht (Doppelproben). Bei der hier durchgeführten Messkampagne wurde diesem Prinzip an den Messstellen MP 02, 03, 04, 05 und 06 entsprochen. An der Messstelle MP 01/07, wo eine Vergleichsmessung zum Referenzverfahren (Messautomat im ortsfesten Messcontainer) stattfand, wurden hingegen vier Röhrchen eingehängt (2 Doppelproben). So wurden zwei Messreihen parallel betrieben, wobei die Passivsammlerröhrchen der jeweiligen Reihe um 14 Tage zeitversetzt getauscht wurden. Dies begründet die Ausweisung als zwei separate Messpunkte.

Die als kurze Kunststoffröhrchen ausgeführten Passivsammler selbst werden mit einer zusätzlichen Glasfrittenmembran ausgestattet (vgl. Abbildung 8, rechts), die in die untere Öffnung gesteckt wird. Diese Methode wurde auf Grundlage von Untersuchungen des LANUV entwickelt und dient der Minimierung von windinduzierten Einflüssen (insbesondere von starken Turbulenzen in Straßenschluchten) auf das Diffusionsverhalten. Die Glasfrittenmembranen werden bei jedem Probentausch gewechselt, und in einem Ultraschallbad gereinigt.

Die Probenahme mit Passivsammlern beruht auf der Diffusion von Molekülen in ein adsorbierendes Medium. Bei den verwendeten NO_2 -Passivsammlern wird als Adsorbens Triethanolamin verwendet. Die nach unten geöffneten Kunststoffröhrchen werden für eine definierte Zeit (hier etwa 28 Tage) der Umgebungskonzentration exponiert. Die Menge des dabei aufgenommenen Stickstoffdioxids ist direkt proportional zur mittleren Konzentration an der Messstelle über ebendiesen Zeitraum. Im Labor wird der Passivsammler zerlegt, der beschichtete Quarzfaserfilter entnommen, die enthaltene Menge NO_2 extrahiert und die entsprechende Konzentration kolorimetrisch bei 540 Nanometern (Saltzmann-Reaktion) bestimmt [14].



Abbildung 8: Passivsammler-Messequipment (Fa. Passam). Von links nach rechts: Aufnahme eines Proben-Schutzbehälters, eines NO_2 -Passivsammlers und Nahaufnahme der zugehörigen Glasfritte.

3.2 Datenaufbereitung

Aus den Laboranalysen liegen für alle Probenahmezeiträume die auf das einzelne Röhrchen bezogenen NO₂-Konzentrationen vor. Zur Bestimmung der Konzentration an einer Messstelle für den jeweiligen Probenahmezeitraum, werden die Werte der Doppelbeprobung zu einem Wert gemittelt. Ist eine Einzelprobe im Einzelfall nicht verwertbar, wird die messpunktspezifische NO₂-Konzentration für den Probenahmezeitraum nur auf Grundlage der zweiten Probe bestimmt.

Regelmäßig werden Luftschadstoff-Messwerte zu Stunden-, Tages-, Monats- und Jahresmittelwerten zusammengefasst. Das hier angewandte Messdesign mit NO₂-Passivsammlern lässt als Untergrenze der zeitlichen Auflösung eines Probenzyklus (28 Tage) zu. Allerdings entsprechen die einzelnen Probenahmezeiträume nicht exakt einem Monat. Diese „Rohwerte“ müssen daher noch in Monatsmittelwerte umgerechnet werden. Darüber hinaus können aber auch höhere zeitliche Auflösungen realisiert werden. Für den Vergleich mit der ortsfesten Messung am Messcontainer wird jedem dort gemessenen Halbstundenwert im Projektzeitraum der Messwert des korrespondierenden Passivröhrchens zugeordnet. Im Ergebnis können die mit den Messcontainern erfassten und die in der Profilmessung ermittelten NO₂-Konzentrationen gleichartig ausgewertet werden. Mittelwerte und Datenverfügbarkeiten für beliebige Zeiträume – zum Beispiel Monate, Jahre oder gleitende Jahre – sind so auch bei den Passivsammlern flexibel zu berechnen. Die Datenreihen der Parallelmessungen am Messpunkt MP 07 dienen der Verdopplung der Datenbasis für den Vergleich und die statistische Auswertung der Passivsammlerdaten gegenüber denen des Referenzmessverfahrens. Für die Ermittlung des Jahresmittelwertes muss eine zeitliche Überdeckung von mindestens 90 % des Jahres durch die Passivsammlerdaten vorliegen.

Im Gegensatz zur ersten NO₂-Profilmessung des Luftgütemessnetzes Brandenburg in Potsdam im Jahr 2016 wird in Eberswalde – wie bereits in den letzten Berichten – auf eine zusätzliche Kalibrierung auf das Referenzverfahren (ortsfeste Messungen in Messstationen) verzichtet. Analysen des LANUV konnten belegen, dass zwischen den Rohergebnissen der Passivsammler (den originalen Laborergebnissen) und den Messungen des Referenzverfahrens Gleichwertigkeit besteht und bereits diese Ergebnisse die Qualitätsanforderungen für ortsfeste Messungen entsprechend der EU-Luftqualitätsrichtlinie erfüllen.

3.3 Repräsentativitätsanalyse

Ein Ziel der hier vorgestellten Profilmessung ist die Überprüfung der räumlichen Repräsentativität des bestehenden Messcontainer-Standortes an der Breite Straße 22. Als Datengrundlage für die Repräsentativitätsanalyse dienen zunächst die auf Monatsmittelwerte umgerechneten Messwerte der Profilmessungen über den gesamten Untersuchungszeitraum. Diese Konzentrationen werden auf Basis der rechnerisch ermittelten Halbstundenmittelwerte berechnet (vgl. 3.2). Dabei werden ausschließlich Monatsmittelwerte verwendet, deren Verfügbarkeit mindestens 90 Prozent beträgt.

Dieser Auswertungsmethode liegt folgende Annahme zugrunde: Wenn zwischen zwei Datenkollektiven kein signifikanter statistischer Unterschied nachgewiesen werden kann, dann liegt den Daten dieselbe Grundgesamtheit, hier im Sinne von identischen Immissionsbedingungen, zugrunde. Ist dies der Fall, so sind beide Messstellen als gegenseitig repräsentativ anzusehen. Nach der Auswertung der Konzentrationen aller Messstellen im Bezug zur Referenzmessstelle MP 01/07 kann dann interpretiert werden,

dass die Referenzmessstelle die Immissionsverhältnisse für alle Messstellen repräsentiert, deren Konzentrationen sich nicht signifikant von denen an der Referenzmessstelle unterscheiden.

Dieses anhand der NO₂-Passivsammler-Profilmessung ermittelte Ergebnis ist dann auch auf den Standort des bestehenden Messcontainers übertragbar, welcher der Referenzmessstelle MP 01/07 entspricht.

Zur Untersuchung der statistischen Ähnlichkeit bietet sich ein zweiseitiger T-Test an. Er erfordert allerdings einen vorgelagerten, erfolgreichen F-Test, der auf Gleichheit der Varianzen prüft.

Die Durchführung von T-Test und F-Test sind ausführlich im Fachbericht zur NO₂-Profilmessungen in Brandenburg a. d. Havel [2] beschrieben. Wir verzichten daher in diesem Bericht auf eine erneute ausführliche Beschreibung und die detaillierte Auflistung der berechneten statistischen Kennwerte.

Ausschlaggebend ist folgende Betrachtung: Wenn die Prüfgröße τ , die im T-Test bestimmt wird, kleiner als der kritische Wert t_{95} (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) ist. Dann unterscheiden sich die Mittelwerte der betrachteten Datenkollektive statistisch nicht voneinander. Beide Stichproben stammen aus der gleichen Grundgesamtheit. Sollte dies nicht der Fall sein, wird zusätzlich der kritische Wert t_{99} (Signifikanzniveau $\alpha = 0,01$) bestimmt und wie folgt entschieden:

Wenn die Prüfgröße τ größer als der kritische Wert t_{95} , jedoch kleiner als der kritische Wert t_{99} ist, dann unterscheiden sich die Mittelwerte „wahrscheinlich“.

Wenn die Prüfgröße τ größer als der kritische Wert t_{99} ist, dann unterscheiden sich die Mittelwerte „signifikant“.

3.4 Modellierung der Luftschadstoffkonzentration

Unter Ziffer 6.3 werden die im Rahmen der Profilmessung ermittelten NO₂-Konzentrationen mit Modellierungsergebnissen mit dem Bezugsjahr 2018 verglichen. Diese Modellierung wurde im Auftrag des Landes Brandenburg durch die IVU Umwelt GmbH durchgeführt [10].

Bei der Modellierung wird zunächst die regionale Vorbelastung durch verschiedene Luftschadstoffe flächendeckend für das Land Brandenburg (500 × 500 m-Raster) berechnet. Hierzu werden durch Überlagerung der windrichtungsabhängigen Konzentrationsrosen der Messstationen pro Luftschadstoffkomponente aus den punktuellen Messergebnissen flächenhafte Belastungseinschätzungen vorgenommen. Unter Einbezug von Befunden des Umweltbundesamtes und der Messergebnisse von benachbarten Messstellen der Länder Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Berlin kann sowohl die städtische als auch die ländlich-regionale Hintergrundbelastung als Jahresmittel dargestellt werden.

Für die einzelnen Straßenabschnitte wird die verkehrsbedingte Zusatzbelastung modelliert. Hier fließen neben dem DTV-Wert (Bezugsjahr 2015) und Emissionsdaten aus dem jeweils aktuellen Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA [15]) unter anderem die abschnittsspezifische Bebauungsgeometrie ein, die Einfluss auf die Belüftungssituation und damit auf das Anreicherungspotential der Luftschadstoffe hat. Die Summe aus der regionalen Vorbelastung und der verkehrsbedingten Zusatzbelastung ergibt die Gesamtbelastung, die als Jahresmittelwert bestimmt wird (vgl. Abbildung 1).

4 Ergebnisse der Profilmessung

Die Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Eberswalde lief über 24 Monate. Pro Standort wurden 25 bis 27 Beprobungen mit jeweils zwei NO₂-Passivsammlern durchgeführt. Insgesamt wurden somit 366 NO₂-Passivsammler ausgebracht.

Aufgrund eines internen Ablauffehlers kam es im Jahr 2021 zu einer deutlichen Überschreitung des Beprobungszeitraums von 28 Tagen, weshalb sämtliche Messergebnisse in diesem Zeitraum verworfen werden mussten. In der nachfolgenden Abbildung 9 weisen deshalb alle Messstellen zwei Lücken auf. Die Abbildung stellt die Mittelwerte der jeweiligen Doppelbeprobung als Rohwerte dar. Rohwerte bedeutet, dass es sich um die ermittelten Konzentrationen der einzelnen Probenahmezeiträume handelt, die noch nicht in Monatsmittelwerte umgerechnet sind.

Die Ergebnisse der Messkampagne lassen sich in zwei Belastungsniveaus einordnen. Messpunkte MP 01 bis MP 05 und MP 07 sind dem verkehrsbezogenen Belastungsniveau zuzuordnen. Diese erreichen NO₂-Konzentrationen von 10,8 µg/m³ bis 27,9 µg/m³.

Die Passivsammlermessstelle MP 06 ist dem städtischen Hintergrund zuzuordnen. Sie erreicht NO₂-Konzentrationen von 3,7 µg/m³ bis 14,0 µg/m³.

Für die weiteren Auswertungen werden aus den Rohdaten die Monatsmittelwerte bestimmt. Auf Grundlage der Monatsmittelwerte können wir einen zeitlich variationsfreien Vergleich mit dem Referenzmessverfahren durchführen. Das Referenzmessverfahren für NO₂ wird an allen ortsfesten Messstationen des Luftgütemessnetzes Brandenburg eingesetzt. Es misst automatisch auf Halbstundenwertbasis die jeweilige Stickoxid-Konzentration. Aus Halbstundenwerten werden zwecks Vergleich mit den Er-

gebnissen der Profilmessung Monatsmittelwerte gebildet. Die nachfolgende Abbildung 10 stellt die NO₂-Monatsmittelwerte der Profilmessung und des Referenzverfahrens gegenüber. Die Messergebnisse der ortsfesten Referenzmessung sind als MC (Messcontainer) Eberswalde gekennzeichnet.

Der Verlauf der jeweiligen NO₂-Konzentrationen ähnelt dem der Rohdaten aus Abbildung 9, jedoch führt die Umrechnung auf Monatsmittelwerte zu einer Glättung der Verläufe. Die messstellenspezifischen Monatsmittelwerte unterliegen zueinander also geringeren Schwankungen als die Rohdaten.

Die Monatsmittelwerte des Referenzmessverfahrens (MC Eberswalde) liegen zu Beginn der Profilmessungen leicht über denen der NO₂-Passivsammler. Ab März 2021 sinken die Monatsmittelwert am MC Eberswalde ab und reihen sich in den mittleren Bereich ein.

Im März 2022 steigt der Monatsmittelwert am MC Eberswalde kurzzeitig stark an und fällt im April wieder ab. Nur der Messpunkt MP 03 folgt diesem Verhalten. Die weiteren Messpunkte bleiben auf einem konstanten Niveau.

In einem nächsten Schritt werden die Jahresmittelwerte betrachtet. Zur Bestimmung eines aussagekräftigen Jahresmittelwertes für NO₂ setzen wir eine zeitliche Verfügbarkeit von 90 % für das gesamte Jahr voraus. Das entspricht der Anforderung für ortsfeste gesetzliche Beurteilungsmessungen. Keine der betrachteten NO₂-Passivsammlermessstellen kann für das Jahr 2021 diese Verfügbarkeit erreichen. Um dennoch eine Auswertung zu

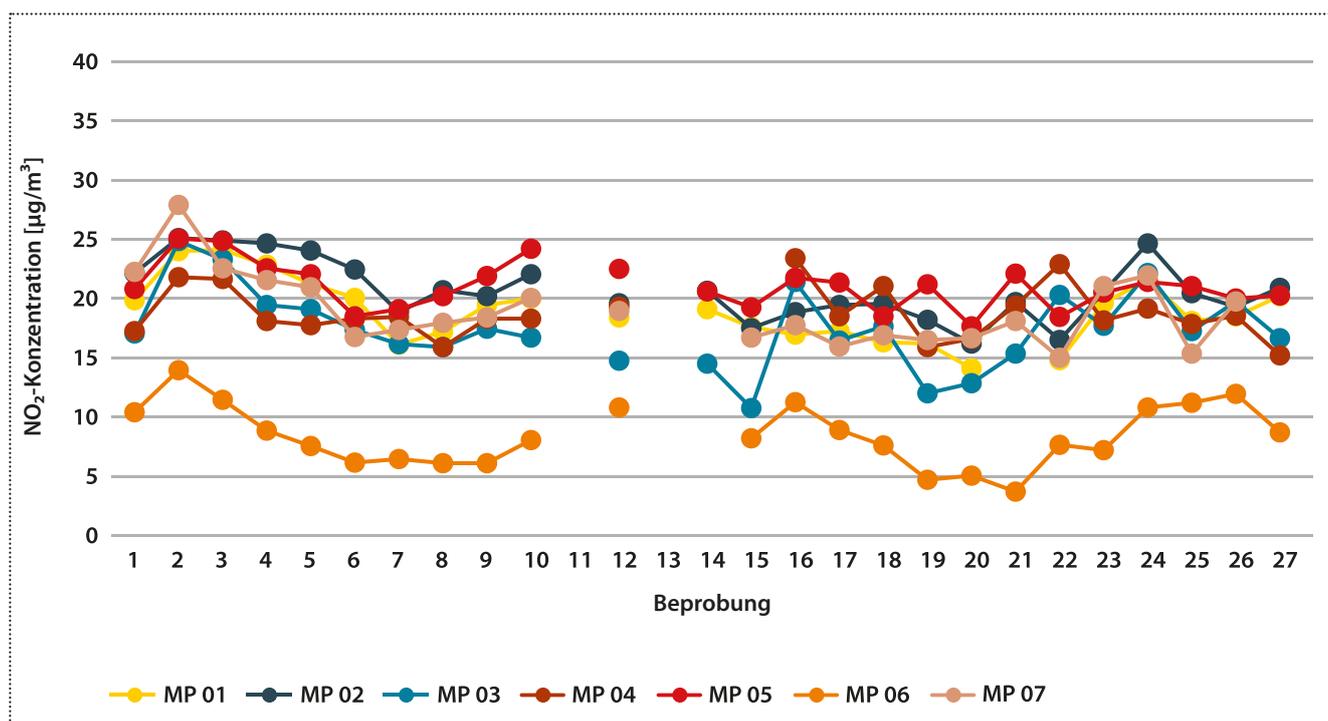


Abbildung 9: Ergebnisse (Rohwerte) der Profilmessung in Eberswalde im Zeitraum 2021 bis 2023.

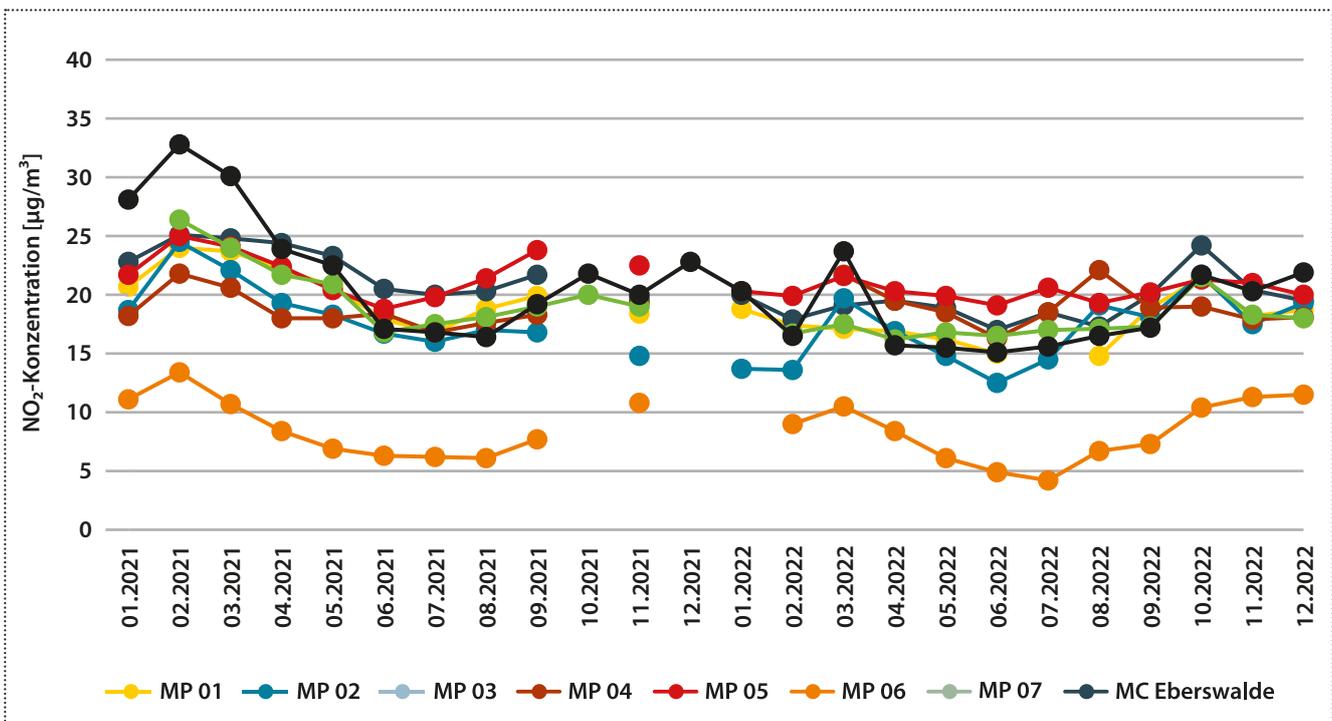


Abbildung 10: NO₂-Monatsmittelwerte der verschiedenen Messpunkte der Profilmessung in Eberswalde und des Referenzverfahrens (MC Eberswalde) im Zeitraum 2021 bis 2022.

ermöglichen, reduzieren wir die zeitliche Mindestverfügbarkeit auf 75 %. Da somit der genannte gesetzliche Mindeststandard unterschritten wird, ist auf dieser Grundlage keine verbindliche Beurteilung der Luftqualität im rechtlichen Sinne möglich. Es sei darauf hingewiesen, dass dieses auch nicht das Ziel der Passivsammler-Messungen war und ist.

Für das Jahr 2022 erreichen mit Ausnahme MP 04 alle Messpunkte eine zeitliche Verfügbarkeit von mindestens 90 %. Abbildung 11 stellt die NO₂-Jahresmittelwerte der Profilmesskampagne sowie der ortsfesten Referenzmessung MC Eberswalde für die Jahre 2021 und 2022 dar. Sie reichen von 8,2 µg/m³ im städtischen Hintergrund bis 22,6 µg/m³ am verkehrsnahen Messpunkt mit der höchsten NO₂-Konzentration. Alle Werte, die auf einer Datenverfügbarkeit von unter 90 % beruhen, werden als schraffierte Balken dargestellt.

Die wichtigste Erkenntnis für uns ist zunächst, dass sämtliche NO₂-Jahresmittelwerte deutlich unter dem aktuell gültigen Grenzwert von 40 µg/m³ liegen. Im Vergleich zum Jahr 2021 verzeichnet das Jahr 2022 einen leichten Rückgang der Jahresmittelwerte, wobei die Daten des Referenzverfahrens am MC Eberswalde den stärksten Rückgang aufweisen.

Zeigte sich hier im Jahr 2021 noch der höchsten Jahresmittelwert, ändert sich dies im Jahr 2022. Die Messpunkte MP 02 und MP 05 erreichten nun höhere Jahreskonzentrationen (19,4 µg/m³ sowie 20,3 µg/m³). Die Messpunkte MP 01 und MP 07 (beide liegen an der identischen Messstelle MP 01/07), weisen in beiden Jahren nahezu identische Konzentrationen auf (Abweichung < 1 %).

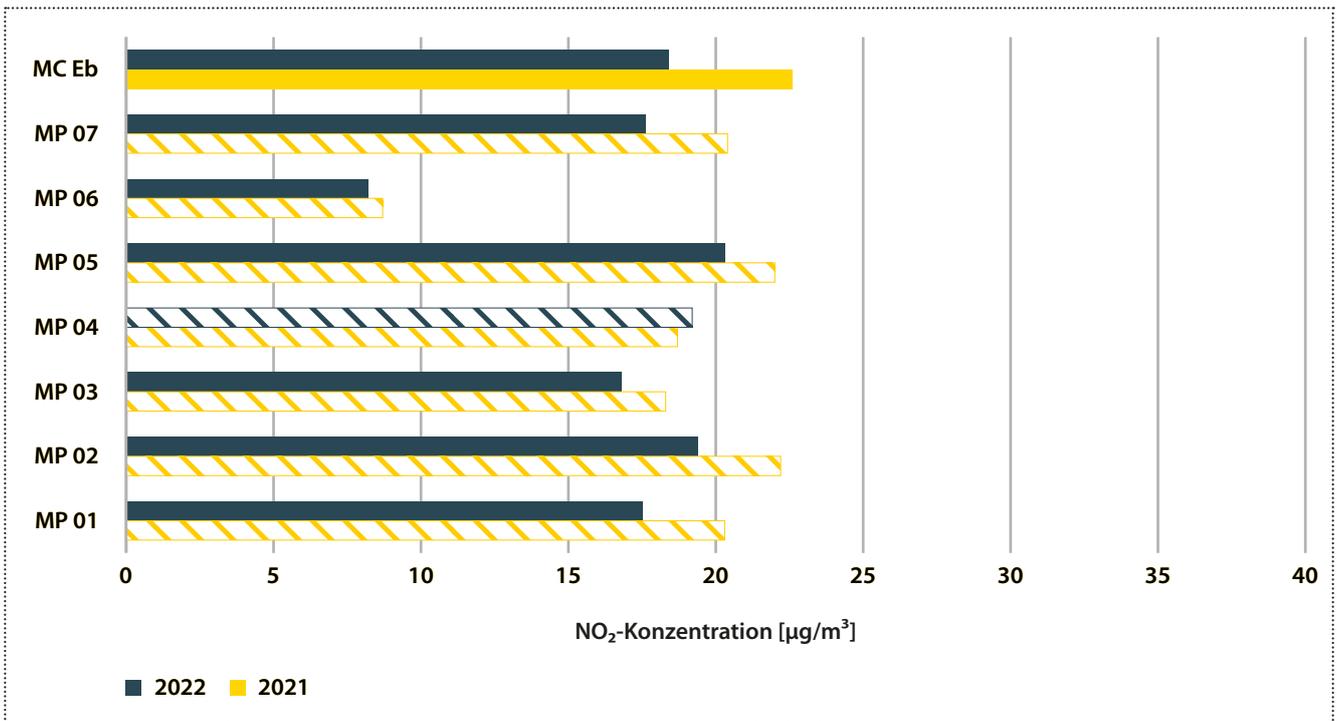


Abbildung 11: NO₂-Jahresmittelwerte der verschiedenen Messpunkte für die Jahre 2021 und 2022 inkl. Referenzverfahren (MC Eberswalde). Schraffierter Balken: Datenverfügbarkeit < 90 %.

5 Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse

Die unter Ziffer 3.3 beschriebene Repräsentativitätsanalyse wenden wir nach Auswertung der Monatsmittelwerte für zwei verschiedene Messpunkte an (MP 01 und MP 05). Als Neuerung gegenüber vorherigen Berichten werden die Monatsmittelwerte des Referenzverfahrens (MC Eb) mit betrachtet.

Für den ausgewählten Messpunkt MP 01, welcher dem Standort des Messcontainers entspricht, liegen 21 Monatsmittelwerte vor. Die NO₂-Konzentration liegt mit einem Mittelwert von 18,9 µg/m³ im mittleren Bereich aller betrachteten Messpunkte. Die festgestellte Varianz der Monatsmittelwerte liegt bei 6,4.

Anschließend werden alle Messpunkte dem untersuchten Messpunkt MP 01 gegenübergestellt und die beschriebenen F und T-Tests durchgeführt.

Für drei der sieben betrachteten Gegenüberstellungen (MP 04, MP 05, MC Eb) wird die Nullhypothese des F-Test abgelehnt, da die Varianzen signifikant unterschiedlich sind (vgl. Tabelle 2, Spalte 7).

Der nachgelagerten T-Tests kommt zu folgenden Ergebnissen: Die Messpunkte MP 01, MP 03 und MP 07 stammen aus derselben

Grundgesamtheit. Der T-Test zeigt, dass die Konzentrationsmittelwerte der Messpunkte MP 01 und MP 02 sich wahrscheinlich voneinander unterscheiden. Außerdem zeigt sich, dass die Konzentrationsmittelwerte von MP 01 und MP 06 signifikant voneinander abweichen, was angesichts ihrer unterschiedlichen Regime (Verkehr, städtischer Hintergrund) zu erwarten war.

Auf Grund der dort ermittelten höchsten NO₂-Konzentrationen, haben wir als zweiten Kandidaten für die Repräsentativitätsanalyse den Messpunkt MP 05 ausgewählt.

Für den Messpunkt MP 05 liegen 21 Monatsmittelwerte vor. Über den gesamten Zeitraum gemittelt beträgt die Konzentration 21,1 µg/m³. Die Varianz der Monatsmittelwerte liegt bei 2,7.

Der F-Test wird für alle Stichproben angenommen. Die Ergebnisse des nachgelagerten T-Tests lassen sich wie folgt zusammenfassen: Der T-Test weist nach, dass die Stichproben der Messstellen MP 05, MP 02 und das Referenzverfahren MC Eberswalde aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Darüber hinaus zeigt der T-Test, dass sich die Konzentrationsmittelwerte zwischen dem Messpunkt MP 05 und den Messpunkten MP 01, MP 03, MP 06 und MP 07 signifikant voneinander unterscheiden.

Tabelle 2: Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse für den gewählten Messpunkt MP 01.

Messpunkt	Anzahl	Mittelwert	Varianz	Prüfgröße	kritischer Wert	kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianzen	Prüfgröße	Freiheitsgrade	kritischer Wert für das Signifikanzniveau $\alpha=0,05$	kritischer Wert für das Signifikanzniveau $\alpha=0,01$	kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte	wahrscheinlicher Unterschied der Mittelwerte
	n	\bar{x}	s^2	F	F*		τ	v	t_{95}	t_{99}		
MP 01	21	18,9	6,4									
MP 02	22	20,7	5,9	1,09	2,10	Ja	2,37	41	2,02	2,70	Nein	Nein
MP 03	22	17,5	8,9	1,38	2,05	Ja	1,60	40	2,02	2,70	Ja	Nein
MP 04	20	18,9	2,5	2,58	2,12	Nein						
MP 05	22	21,1	2,7	2,37	2,05	Nein						
MP 06	21	8,5	6,3	1,02	2,08	Ja	13,35	40	2,02	2,70	Nein	Ja
MP 07	21	18,9	7,2	1,12	2,08	Ja	0,01	40	2,02	2,70	Ja	Nein
MC Eb	24	20,5	22,9	3,55	1,98	Nein						

Tabelle 3: Ergebnisse der Repräsentativitätsanalyse für den gewählten Messpunkt MP 05.

Messstelle	Anzahl	Mittelwert	Varianz	Prüfgröße	kritischer Wert	kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianzen	T-Prüfgröße	Freiheitsgrade	kritischer Wert für das Signifikanzniveau $\alpha=0,05$	kritischer Wert für Signifikanzniveau $\alpha=0,01$	kein signifikanter Unterschied der Mittelwerte	wahrscheinlicher Unterschied der Mittelwerte
	n	\bar{x}	s^2	F	F*		τ	v	t_{95}	t_{99}		
MP 05	21	21,1	2,7									
MP 01	22	18,9	6,4	0,42	0,477	Ja	3,33	34	2,03	2,70	Nein	Ja
MP 02	22	20,7	5,9	0,46	0,479	Ja	0,62	37	2,03	2,72	Ja	Nein
MP 03	22	17,5	8,9	0,30	0,480	Ja	4,83	33	2,03	2,73	Nein	Ja
MP 04	20	18,9	2,5	1,09	2,143	Ja	4,39	40	2,02	2,70	Nein	Ja
MP 06	22	8,5	6,3	0,43	0,477	Ja	19,32	34	2,03	2,73	Nein	Ja
MP 07	21	18,9	7,2	0,38	0,477	Ja	3,21	33	2,03	2,73	Nein	Ja
MC Eb	24	20,5	22,9	0,12	0,484	Ja	0,56	29	2,05	2,76	Ja	Nein

6 Weiterführende Betrachtungen

Im Folgenden führen wir weitere Betrachtungen durch, die eine bessere Einordnung der erzielten Ergebnisse ermöglichen. Diese sind ein Vergleich mit einer Profilmessung Bernau bei Berlin, die Einbeziehung der Verkehrsbelegung in der Breite Straße, der Vergleich mit den modellierten Jahresmittelwerten aus 2018 und die Fortführung der Verfahrensvalidierung der Passivsammler im verkehrsnahen Immissionsniveau des Landes Brandenburg.

6.1 Vergleich mit der Profilmessung in Bernau bei Berlin im Jahr 2022

Im Jahr 2022 führte das Luftgütemessnetz Brandenburg neben der vorliegenden Kampagne Eberswalde auch in der Stadt Bernau bei Berlin eine Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern durch. Die dortigen Ergebnisse werden in einem separaten Bericht beschrieben.

In der nachfolgenden Abbildung 12 werden die beiden Profilmessung anhand der NO₂-Jahresmittelwerte 2022 gegenübergestellt. Die Messpunkt-Bezeichnung „MC ...“ steht jeweils für die Referenzmessung im ortsfesten Messcontainer.

Der direkte Vergleich zeigt, dass das NO₂-Immissionsniveau beider Profilmessungen nicht grundlegend verschieden ist. Der NO₂-Jahresmittelwert der meisten verkehrsbezogenen Messpunkte liegt zwischen 15 µg/m³ und 20 µg/m³. Nur der Messpunkt MP 08 in Bernau bei Berlin weist einen Jahresmittelwert oberhalb von 25 µg/m³ auf. Diese Konzentration sticht deutlich aus den anderen Messpunkten heraus. Die Jahresmittelwerte der Referenzverfahren an den Messcontainern MC Bernau und MC Eberswalde unterscheiden sich nur unwesentlich voneinander. Die Konzentrationen beider städtischen Hintergrundmessungen MP 11 Bernau und MP 06 in Eberswalde lie-

gen jeweils deutlich unterhalb der verkehrsbezogenen Messungen, wengleich der Wert in Bernau nicht vollends belastbar ist. Wegen Probenverlusten konnte die geforderte Mindestdatenverfügbarkeit von 90 % nicht erreicht werden. Alle derart eingeschränkten Werte werden als schraffierte Säule dargestellt.

6.2 Gegenüberstellung der NO₂-Konzentration und der Verkehrsbelegung

An dieser Stelle untersuchen wir eine etwaige Korrelation zwischen Verkehrsbelegung und NO₂-Konzentration im Untersuchungsgebiet. Die von der Stadt Eberswalde zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten basieren auf der letzten Verkehrszählung aus dem Jahr 2019.

Unter der Annahme, dass die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) zwischen 2019 und 2022 in etwa konstant ist und vor allem die einzelnen Zählstellen zueinander im selben Verhältnis bleiben, kann der Zusammenhang zwischen Verkehrsbelegung und NO₂-Konzentration untersucht werden (siehe Abbildung 13).

Die DTV-Werte liegen in der Breite Straße zwischen gut 12.000 und knapp 15.000 Fahrzeugen. Für die Messstelle MP 06 liegen aufgrund ihrer Lage im Bereich des nachgeordneten Straßennetzes keine Verkehrsdaten vor. Zwischen der Messstelle MP 03 und den Messstellen MP 04 und MP 05 kommt es zu einer Zunahme des DTV-Wertes und gleichzeitig zu einem leichten Anstieg der NO₂-Jahresmittelwerte. Allerdings liegt die NO₂-Konzentration an der Messstelle MP 02 ebenfalls auf Höhe der Messstellen MP 04 und

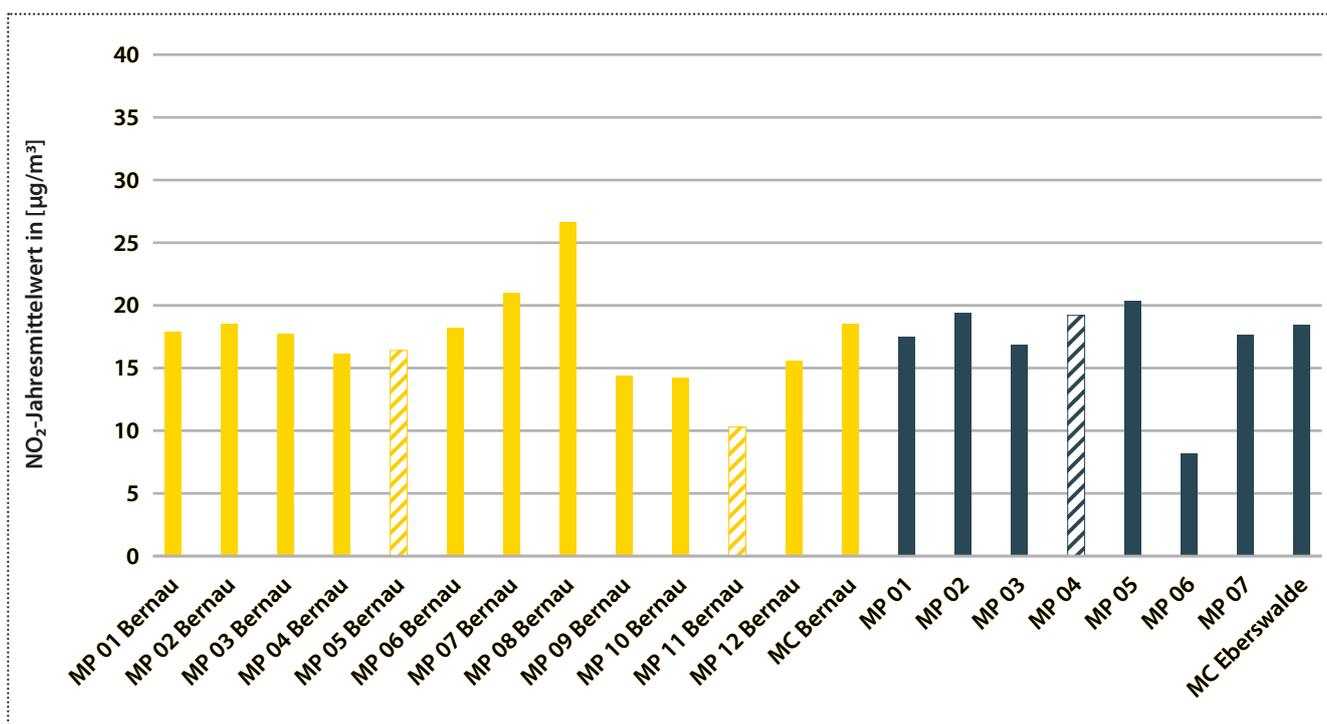


Abbildung 12: NO₂-Jahresmittelwerte der Profilmessungen in Bernau bei Berlin und Eberswalde sowie Ergebnisse der jeweiligen Referenzmessung für das Jahr 2022. Schraffierte Säulen: Datenverfügbarkeit < 90 %.

MP 05, obwohl dort der DTW-Wert auf demselben, niedrigeren Niveau der Messstellen MP 01/07 und MP 03 liegt. Ein möglicherweise dafür ursächlicher Grund könnten Bauarbeiten auf Höhe der Messstelle MP 02 sein, die eine Verschlechterung des Verkehrsflusses zur Folge haben können. Ein schlechter Verkehrsfluss bringt vermehrte Anfahrvorgänge im hohen Drehzahlbereich mit sich. Daher kann er sich erheblich verschlechternd auf das Emissionsverhalten der Kraftfahrzeuge auswirken, was wiederum die gemessene NO₂-Konzentration beeinflusst. Der Effekt besonders schlechten Verkehrsflusses kann im Einzelfall stärker auf die Immissionssituation wirken als die reine Verkehrsmenge an sich [15].

6.3 Vergleich zwischen Messung und Modellwerten

Wie unter 3.4 beschrieben, haben wir für die Auswahl der verschiedenen Messstellen die Luftschadstoff-Modellierung [10] mit dem Bezugsjahr 2018 herangezogen. In Abbildung 14 werden nun die Jahresmittelwerte der Profilmessung mit denen aus ebendieser Modellierung verglichen. Aufgrund der unterschiedlichen Bezugsjahre ist ein derartiger unmittelbarer Vergleich mit Skepsis anzustellen.

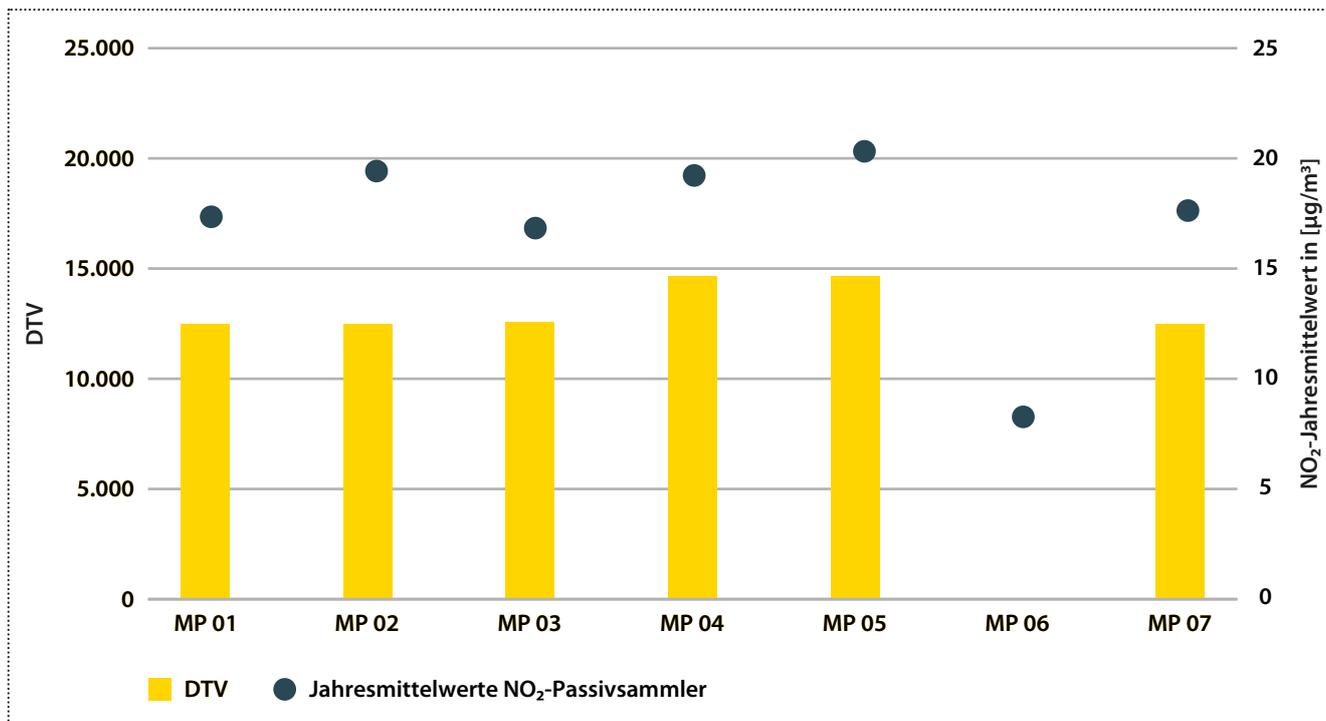


Abbildung 13: Gegenüberstellung DTW 2019/NO₂-Jahresmittelwerte 2022.

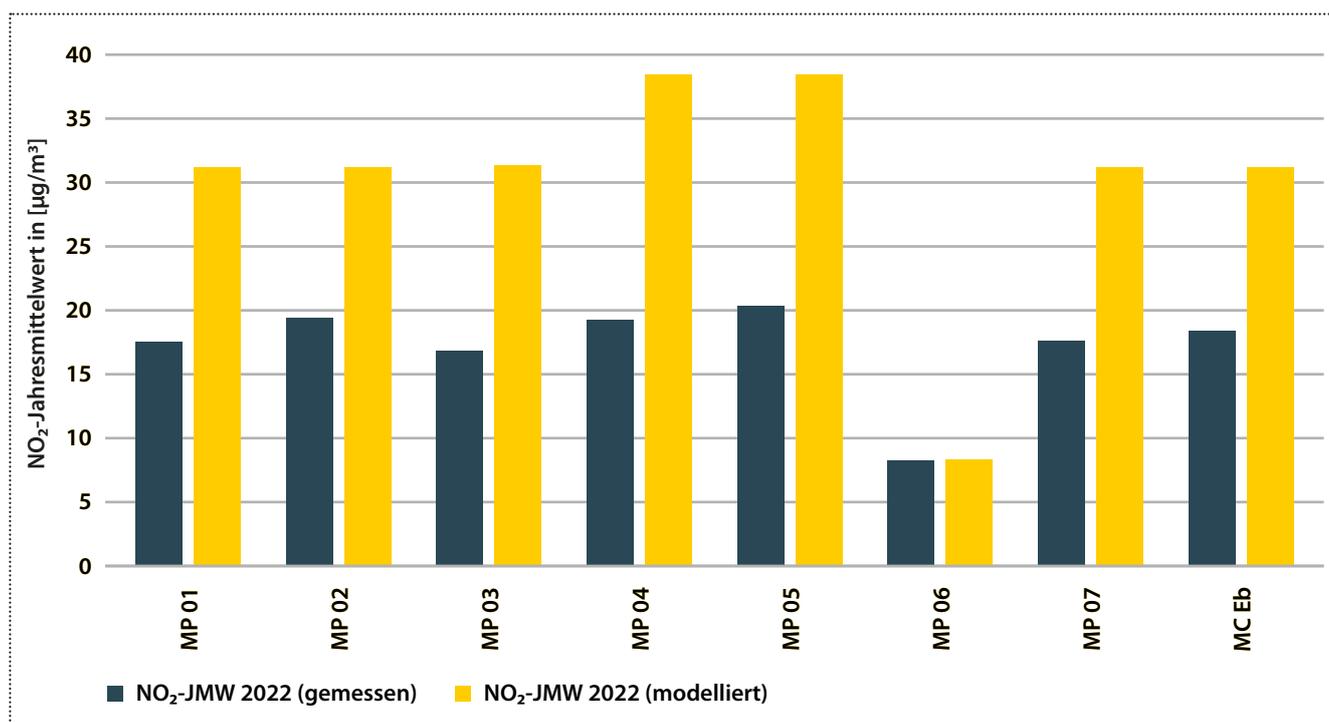


Abbildung 14: Gegenüberstellung der gemessenen NO₂-Jahresmittelwerte 2022 mit den Modellwerten mit Bezugsjahr 2018.

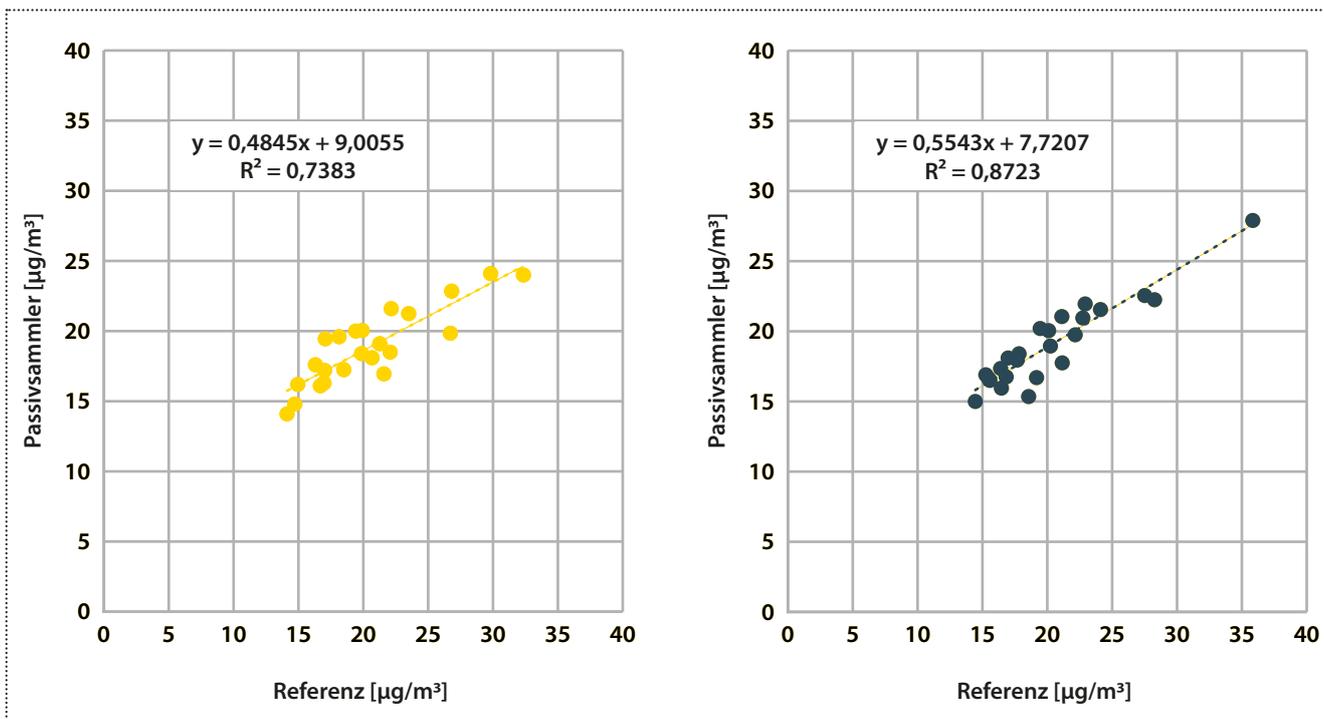


Abbildung 15: Scatterplot der Konzentrationen der Messpunkte MP 01 und MP 07 mit dem Referenzverfahren. Linke Seite: MP 01; rechte Seite: MP 07. Dargestellt werden auch die Kennzahlen der linearen Regression.

Die Abbildung veranschaulicht recht deutlich, dass alle verkehrsnah modellierten Jahresmittelwerte deutlich höher liegen als die Messwerte aus der Profilmessung. Mitunter sind diese doppelt so hoch. Der gewählte konservative Ansatz, den alle Immissionsmodellierungen im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes haben, kann zu einer derartigen Überschätzung im Modell führen. Deutlich ins Gewicht fallen dürften aber auch die einige Jahre auseinander liegenden Bezugsjahre beider Untersuchungen. Es ist anhand der verkehrsnahen Messreihen in Brandenburg und aus den anderen Ländermessnetzen in Deutschland bekannt, dass die NO_2 -Konzentrationen in den vergangenen Jahren signifikant zurückgegangen sind. Besonders stark wurde dies seit dem Jahr 2020 beobachtet. Hierfür ist auch eine Verbesserung der Emissionsstandards von Diesel-Pkw ursächlich. Dies spiegelt sich auch in der aktuellen Fassung des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA [15]) wider, das den Kfz-Emissionsmodellierungen zugrunde liegt.

Allein für die Messstelle im städtischen Hintergrund (MP 06) lag die modellierte Konzentration und der gemessene Jahresmittelwert auf vergleichbarem Niveau.

6.4 Vergleich der Messergebnisse der NO_2 -Passivsammler und der Referenzmethode

An dieser Stelle erfolgt eine Fortschreibung der Verfahrenvalidierung der Passivsammler im verkehrsnahen Immissionsniveau des Landes Brandenburg.

Die räumliche Entsprechung der Messstelle MP 01/07 zur Messung im Messcontainer (Referenzverfahren) lässt einen direkteren Vergleich zwischen den Ergebnissen der NO_2 -Passivsammler und dem Referenzverfahren zu.

Für diesen direkten Vergleich liegen dank der parallel stattfindenden NO_2 -Passivsammlermessung an der Messstelle MP 01/07 insgesamt 52 Messzeiträume vor. Im ersten Schritt werden den Ergebnissen der NO_2 -Passivsammler die korrespondierenden Zeitraummittelwerte des Referenzverfahren zugeordnet. In Abbildung 15 sind die Ergebnisse aufgetragen, der Wert des Referenzverfahrens auf der X-Achse und die Ergebnisse der NO_2 -Passivsammler auf die Y-Achse.

Im Anschluss führen wir eine lineare Regression für den jeweiligen Vergleich durch. Der berechnete R^2 -Wert (Bestimmtheitsmaß) gibt dabei Aufschluss über den linearen Zusammenhang der beiden betrachteten Größen. Er ist umso größer, je näher R^2 an 1 liegt.

Die Ergebnisse der NO_2 -Passivsammler in Eberswalde an der Messstelle 01/07 weisen beide einen guten linearen Zusammenhang mit den Ergebnissen des Referenzverfahrens auf, wobei die Daten an MP 07 weniger streuen als am Messpunkt MP 01.

Die nachfolgende Abbildung 16 fasst alle bisherigen Vergleiche zwischen NO_2 -Passivsammler und Referenzverfahren aus Profilmesskampagnen im Land Brandenburg zusammen. Die Ergebnisse aus Eberswalde ordnen sich zwischen den Messungen Neuruppin und Frankfurt (Oder) ein. Die Ergebnisse liegen auf einem ähnlichen Level wie die Ergebnisse der Profilmessung aus Brandenburg an der Havel 2018. Die lineare Regressionsfunktion mit einer Steigung nahe 1 und einem geringen Achsenabschnitt kleiner $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beschreibt den engen statistischen Zusammenhang der Daten. Für die Messungen übersetzt bedeutet dies die gesicherte Vergleichbarkeit der NO_2 -Passivsammler zum Referenzverfahren. Das Bestimmtheitsmaß von größer 0,97 weist eine geringe Streuung der Vergleichsdaten aus. Dies bedeutet eine hohe Sicherheit eines Passivsammler-Jahreswertes im Vergleich zu einem Jahreswert, der mit dem Referenzverfahren bestimmt wurde.

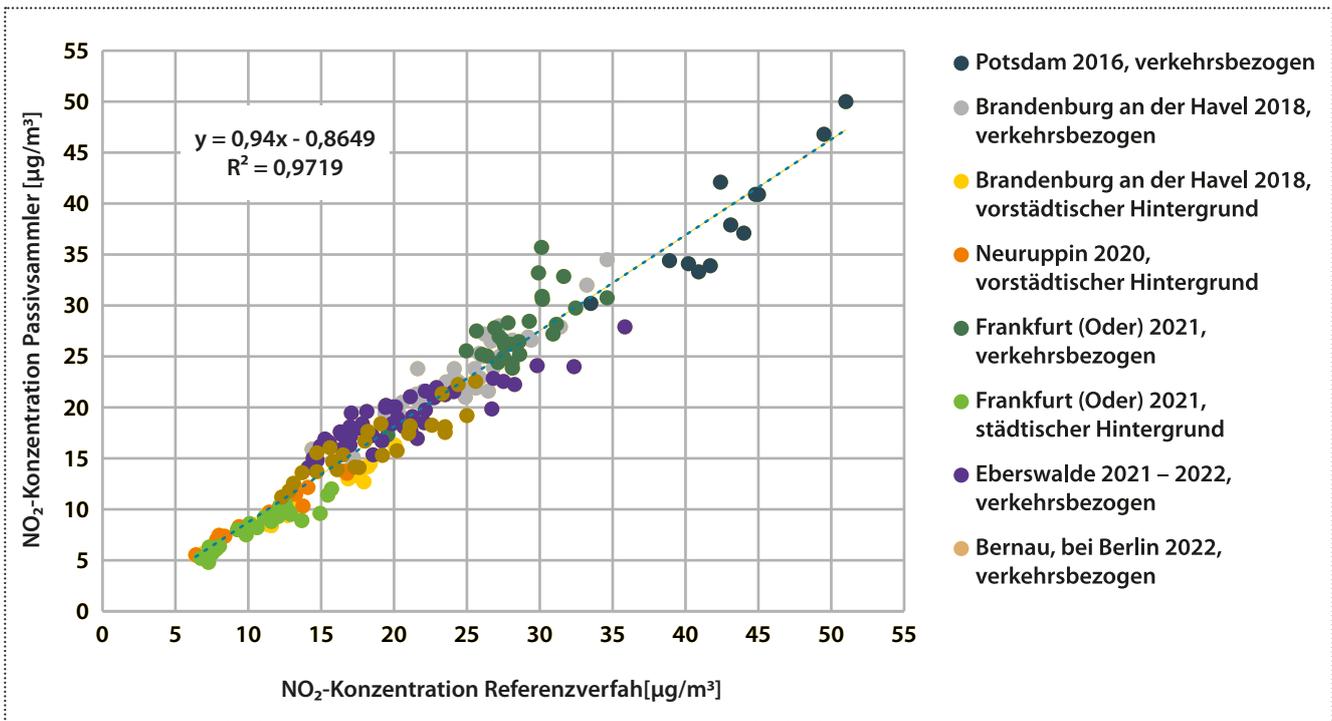


Abbildung 16: Scatterplot aller bisherigen Profilmessungen mit NO₂-Passivsammlern, die einen Vergleich zwischen NO₂-Passivsammler und Referenzverfahren beinhalten.

7 Fazit und Schlussfolgerung

Bezugnehmend auf die in der Einleitung formulierten Fragestellungen lässt sich nach der durchgeführten Profilmessung in Eberswalde folgendes feststellen:

Bei der Überprüfung des Messstandortes in Eberswalde wurden verschiedene Straßenabschnitte mit potentiell hohen Belastungen entlang der Breite Straße untersucht. Die dabei gemessenen Konzentrationen unterschieden sich in den einzelnen Abschnitten kaum voneinander. In den zwei Jahren der Kampagne wurde ein maximaler Jahresmittelwert von knapp $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfasst. Grenzwertüberschreitungen können damit für den Bereich der Breite Straße sicher ausgeschlossen werden. Da die Breite Straße der höchstbelastete Bereich in Eberswalde ist, gilt dies auch für das gesamte Stadtgebiet.

Der genannte höchste Mittelwert wurde an der Messstelle MP 05 festgestellt. Im direkten Vergleich zur Messung mit dem Referenzverfahren an der Messstation (MC Eberswalde) liegt diese rund $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher.

Der Vergleich zur Profilmessung in Bernau bei Berlin hat wiederum vergleichbare NO_2 -Belastung in den meisten der betrachteten Straßenabschnitte beider Städte aufgezeigt. Bis auf die Messstelle MP 08 in Bernau bei Berlin lagen alle Messstandorte beider Städte unterhalb von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel.

Die durchgeführte Repräsentativitätsanalyse ergab eine Repräsentanz des Messpunkts MP 01 (Standort Messcontainer) für die Hälfte der untersuchten Straßenabschnitte. Für die Hintergrundmessstelle MP 06 ist dies erwartungsgemäß nicht zutreffend.

Ein Vergleich mit den Verkehrsdaten zeigt die Korrelation von Verkehrsbelastung und NO_2 -Konzentrationen. Auch kann an der Messstelle MP 02 der zusätzliche Einfluss auf die NO_2 -Konzentration durch baustellenbedingt verschlechterten Verkehrsfluss nachvollzogen werden.

Im Vergleich mit den Modellwerten für das Bezugsjahr 2018 stellen wir fest, dass die Messergebnisse im städtischen Hintergrund eine gute Übereinstimmung mit den Modellergebnissen zeigen. Die modellierten Belastungen in Verkehrsnähe sind hingegen fast doppelt so hoch wie die gemessenen Jahresmittelwerte von 2022. Dabei gilt zu beachten, dass die jeweiligen Bezugsjahre vier Jahre auseinanderliegen. Innerhalb einer solchen Zeitspanne können verschiedene Faktoren zu einer Reduzierung der vor Ort herrschenden NO_2 -Konzentration führen. Der wichtigste Grund ist dabei regelmäßig die fortlaufende Modernisierung der Fahrzeugflotte, wobei sich insbesondere der Emissionsstandard der Dieselflote in diesem Zeitraum stark verbessert hat. Die große Differenz lässt sich jedoch nicht alleine dadurch erklären. Einen weiteren Beitrag dazu leistet der üblicherweise verfolgte konservative Ansatz bei Immissionsmodellierungen, der regelmäßig (und gewollt) zu einer Überschätzung der Konzentrationsprognose führt.

Die Fortschreibung des Vergleiches zwischen NO_2 -Passivsammlern und dem Referenzverfahren reiht sich in die bislang gewonnenen Erkenntnisse ein. Die Ergebnisse aus Eberswalde ergänzen den Datensatz im Mittelfeld der Konzentrationsspanne. Die Untersuchungen untermauern erneut die Bewertung der Passivsammler als geeignete und kostengünstige Möglichkeit zur Durchführung von Profilmessungen mit grundsätzlich belastbaren Ergebnissen.

Literaturverzeichnis

- [1] Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg: Fachbeiträge des Landesamtes für Umwelt. Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Neuruppin. Potsdam. 2022.
- [2] Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg: Fachbeiträge des Landesamt für Umwelt. Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Brandenburg an der Havel (2018 – 2019). Potsdam: 2022.
- [3] Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg: Fachbeiträge des Landesamtes für Umwelt. Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Potsdam. Potsdam. 2018.
- [4] Ministerium für ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg: Fachbeiträge des Landesamtes für Umwelt. Profilmessung mit NO₂-Passivsammlern in Pritzwalk. 2022.
- [5] Verordnung zur Regelung der Zuständigkeiten auf dem Gebiet des Immissionsschutzes (Immissionsschutzzuständigkeitsverordnung – ImSchZV). 31.03.2008.
- [6] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. 21.05.2008.
- [7] Richtlinie (EU) 2015/1480 der Kommission vom 28. August 2015 zur Änderung bestimmter Anhänge der Richtlinie 2004/107/EG und 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. 28.08.2015.
- [8] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV). 02.08.2010.
- [9] Landesregierung Brandenburg: Beurteilung der Luftqualität. Beurteilungsgebiete. 2024. <https://lfu.brandenburg.de/lfu/de/aufgaben/immissionsschutz/luftqualitaet/luftguetemessnetz-brandenburg/beurteilung/#> [05.07.2024]
- [10] Diegmann, V., Mahlau, A., Pfäfflin, F., Neunhäuser, L.: Endbericht – Modellierungen von Luftschadstoff-Belastungsniveaus in Brandenburg nach Stationsklassifikation der EU-Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG und der 39. BImSchV. IVU Umwelt GmbH. Freiburg. 2021.
- [11] Schweizerische Akkreditierungsstelle SAS: STS-Verzeichnis, Akkreditierungsnummer: STS 0149. 01.04.2024. <https://www.sas.admin.ch/sas/de/home.html> [03.07.2024]
- [12] Pfeffer, U., Zang, T., Rumpf, E.-M.: Calibration of diffusive samplers for nitrogen dioxide using the reference method – Evaluation of measurement uncertainty. In: Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft Nr. 11/12 70 (2010), S. 500 – 506
- [13] Zang, T.: Messen von Stickstoffdioxid in der Außenluft – Nachweis der Gleichwertigkeit von Passivsammlern – LANUV-Fachbericht 108. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen. 2021.
- [14] Passam AG: Kenndaten Passivsammler für Stickstoffdioxid. 05.01.2012. https://www.passam.ch/wp-content/uploads/2020/01/de_NO2lt.pdf [03.07.2024]
- [15] Infras AG: Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. 2023. <https://www.hbefa.net/de/startseite> [04.07.2024]
- [16] Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg: Verkehrsstärkenkarte. 2024. <https://www.ls.brandenburg.de/ls/de/verwalten/karten/verkehrsstaerkenkarte/> [03.07.2024]

**Ministerium für Landwirtschaft,
Umwelt und Klimaschutz
des Landes Brandenburg**

Referat Öffentlichkeitsarbeit
Henning-von-Tresckow-Straße 2 – 13, Haus S
14467 Potsdam

Telefon: 0331 866-7237
E-Mail: bestellung@mluk.brandenburg.de



mluk.brandenburg.de
agrar-umwelt.brandenburg.de
vimeo.com/mlukbrandenburg
x.com/MLUKBrandenburg