

# Graskultur-Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2022 mit Einordnung der Wirkungssituation 2013 und 2015



**Auftraggeber**

Flughafen Berlin Brandenburg GmbH  
12521 Schönefeld

Vergabenummer EA-2022-0128  
Bestellnummer: 4919886

**Bearbeitung**

Dr. Monica Wäber  
Dipl.-Ing. Univ. (TUM) Frank Pompe

UMW Umweltmonitoring  
Wallbergstr. 13  
82054 Sauerlach  
Telefon +49 8104 2541 406  
Email [waeber@umweltmonitoring.com](mailto:waeber@umweltmonitoring.com)  
Internet [www.umweltmonitoring.com](http://www.umweltmonitoring.com)  
Ust-Id.Nr.: DE1831168827

**Stand**

22.11.2022

**Karten- und Bildnachweis:**

Messpunkt-Übersichtskarte und -Kartenausschnitte:  
Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

**Fotos:**

Günter Wicker, LIGATUR (teilweise für Flughafen Berlin Brandenburg GmbH)  
Monica Wäber und Frank Pompe, UMW Umweltmonitoring  
Hinweis: Die Bilder dürfen nicht anderweitig verwendet werden.

Titelseite: Probenahme beim Graskultur-Biomonitoring neben der Südbahn des BER

[Foto Günter Wicker, LIGATUR]

## Kurzzusammenfassung

Ziel des Biomonitorings am Flughafen Berlin Brandenburg ist, die Umweltwirkungen des Luftverkehrs im Umland des BER langfristig zu beobachten. Mit dem Einsatz biologischer Systeme – Bioindikatoren – werden luftgetragene Immissionswirkungen unmittelbar erfasst, um im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes §1 „Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen“. Das Biomonitoring startete im Herbst 2011 und 2012 mit normierter Grünkohl-Exposition. 2013 und 2015 wurde es mit standardisierter Graskultur fortgeführt. Im Jahr 2022 wurden die Untersuchungen mit Graskultur wiederaufgenommen, um mögliche Veränderungen der Umweltwirkungen durch den Betrieb des BER zu dokumentieren.

Die Bioindikatoren sammeln und reichern vor Ort Luftverunreinigungen an. Der Zuwachs wird geerntet und im Labor spurenanalytisch auf Metalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht. Diese Stoffe können sich in der Nahrungskette anreichern und in höherer Dosis auf die Gesundheit des Menschen schädlich wirken. Das Messnetz umfasst zehn Messpunkte: vier unmittelbar am Flughafen an der Südbahn sowie im Gradienten in den Hauptwindrichtungen West und Ost, zwei senkrecht zur Hauptwindrichtung als flughafennahe Kontrollmesspunkte, zwei in Siedlungen und zwei naturnah landwirtschaftlich geprägt in der Region. Die Stoffgehalte in den Bioindikatoren an den Messpunkten können unmittelbar miteinander, mit der regionalen Hintergrundsituation, mit Untersuchungen andernorts und mit Beurteilungswerten verglichen werden.

Die Ergebnisse 2022 unterschritten wie 2015 und 2013 allesamt die Beurteilungswerte für landwirtschaftliche Futtermittel und Lebensmittel. Somit sind keine erheblichen Belastungen im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung und die Nahrungsmittelproduktion im Sinne des Verbraucherschutzes für das Flughafenumland abzuleiten. Die untersuchten Stoffe wiesen nur geringe Gehalte in den Bioindikatoren auf und lagen, trotz empfindlicher Analysenverfahren, in Einzelfällen unter den Bestimmungsgrenzen.

Anhand Orientierungswerten für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) wurde beurteilt, ob im Umfeld des BER Immissionseinflüsse feststellbar waren. Für Cadmium, Quecksilber, Zink und den Leitparameter PAK4 wurden keine Immissionseinflüsse festgestellt. Für Arsen, Blei, Chrom, Kupfer, Nickel, Benzo[a]pyren und die Summen 12 PAK und 16 PAK wurden allenfalls schwache Immissionseinflüsse festgestellt. Relevante Immissionseinflüsse – mit mehrheitlichen OmH-Überschreitungen – traten nicht auf. Für Antimon lagen nur wenige Werte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen: am häufigsten an den Messpunkten FWS und FOS an den Enden der Südbahn, im Jahr 2022 auch an KSR an deren Mitte. Hier gilt es die künftige Entwicklung zu beobachten. Entsprechend der Start- und Landebahnbetriebe und Flugzahlen wären 2015 und 2022 an den Messpunkten FWS und FOS sowie 2022 an KSR deutlich höhere Immissionswirkungen zu erwarten gewesen als 2013. Aber ein deutlicher Einfluss des Flughafenbetriebs oder eine mit den Flugzahlen korrespondierende zeitliche Entwicklung traten nicht hervor.

Anhand relativer Messpunktstufungen und der Lage der Messpunkte zueinander und zu potenziellen Emissionsquellen konnten Bremsabrieb und Aufwirbelung von Stäuben von Straßen und versiegelten Oberflächen im Nahbereich des Flughafens an FWS und FOS als – schwache – direkte Quellen, neben Antimon, auch für Chrom und Blei identifiziert werden. Für die PAK-Parameter wurde auch im relativen Messpunktvergleich kein Zusammenhang mit dem Flughafenbetrieb deutlich, obwohl Flughafenbetrieb und Verkehr potenzielle PAK-Quellen darstellen. Unterdurchschnittliche Metallwerte traten vor allem an den Messpunkten in Schönefeld und Schulzendorf und den naturnahen, landwirtschaftlich geprägten

Messpunkten auf. An den naturnahen, landwirtschaftlich geprägten Messpunkten traten ebenfalls unterdurchschnittliche PAK-Werte auf, ebenso wie in Schulzendorf.

Fazit: Alle untersuchten Stoffgehalte waren unauffällig und teilweise sehr niedrig. Eine zeitliche Entwicklung, die mit der Eröffnung des BER und den Flugzahlen korrespondieren würde, zeigte sich nicht. Der Flughafenbetrieb konnte – unterhalb der Schwelle für einen deutlichen Immissionseinfluss – als Nahquelle von Antimon, Blei und Chrom identifiziert werden – und von Hausbrand als saisonaler Quelle differenziert werden. Die Gehalte der untersuchten Metalle und PAK lagen aber unterhalb bis maximal im Bereich der Schwellen für Immissionseinflüsse.

Das Biomonitoring hat gezeigt, dass der Flughafen BER keinen relevanten Einfluss auf Immissionswirkungen in der Region hat. Es wird in den kommenden Jahren fortgeführt werden, um Veränderungen zu dokumentieren und die standardisierte Datenbasis zu erweitern. Interessierte können sich aktuell über das Biomonitoring und die weiteren Luftgüte- und ergänzenden Untersuchungen der FBB im Internet informieren: [luft.berlin-airport.de](http://luft.berlin-airport.de)

## Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung.....	3
Inhaltsverzeichnis .....	5
Danksagung .....	8
1 Einführung und Zielsetzung .....	9
1.1 Typische Luftverunreinigungen und wie sie in die Umwelt gelangen.....	9
1.2 Umwelt-Untersuchungsprogramm des Flughafens Berlin Brandenburg.....	10
1.3 Biomonitoring von Immissionswirkungen .....	10
1.4 Zielsetzung des Biomonitorings im Umfeld des BER .....	11
2 Untersuchungskonzept und -methoden.....	12
2.1 Untersuchungsgebiet und Messpunkte .....	12
2.2 Untersuchte Stoffe .....	15
2.3 Standardisierte Graskultur.....	16
2.4 Analysen .....	18
2.5 Maßgaben zur Auswertung und Beurteilung .....	18
2.6 Kenngrößen, Messunsicherheit, Umgang mit Messwerten, Einflüsse .....	23
3 Ergebnisse 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	25
3.1 Antimon in Graskultur .....	25
3.2 Arsen in Graskultur .....	28
3.3 Blei in Graskultur .....	32
3.4 Cadmium in Graskultur .....	36
3.5 Chrom in Graskultur .....	40
3.6 Kupfer in Graskultur.....	44
3.7 Nickel in Graskultur .....	48
3.8 Quecksilber in Graskultur .....	52
3.9 Zink in Graskultur .....	56
3.10 Summe der 16 PAK nach EPA in Graskultur .....	60
3.11 Summe der 12 schwerer flüchtigen PAK in Graskultur .....	64
3.12 PAK4 in Graskultur .....	68
3.13 Benzo[a]pyren in Graskultur .....	72
4 Zusammenfassende Bewertung .....	76
5 Abkürzungen.....	81

6	Glossar.....	83
7	Literatur.....	86
7.1	Gesetze und Verordnungen .....	86
7.2	Normen und Richtlinien .....	87
7.3	Literaturquellen.....	88
7.4	Quellen im Internet .....	89
	Abbildungsverzeichnis.....	91
	Tabellenverzeichnis.....	93
8	Flughafenbetrieb und Witterungseinflüsse .....	95
8.1	Flughafenbetrieb und Flugzahlen 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	95
8.2	Witterungseinflüsse 2013, 2015 und 2022 – Niederschlag und Wind .....	96
9	Biomonitoring Messnetz – Messpunkt-Kennblätter .....	101
9.1	Messpunkt FWM.....	101
9.2	Messpunkt FWS .....	102
9.3	Messpunkt FOS .....	103
9.4	Messpunkt FOW .....	104
9.5	Messpunkt KNW .....	105
9.6	Messpunkt KSR .....	106
9.7	Messpunkt SSN .....	107
9.8	Messpunkt SSS .....	108
9.9	Messpunkt RGÜ .....	109
9.10	Messpunkt RZN.....	110
10	Ergebnisse 2022, 2015, 2013: Tabellen und Grafiken .....	111
10.1	Antimon in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	111
10.2	Arsen in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	113
10.3	Blei in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	115
10.4	Cadmium in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	117
10.5	Chrom in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	119
10.6	Kupfer in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015.....	121
10.7	Nickel in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	123
10.8	Quecksilber in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 .....	125
10.9	Zink in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	127

10.10	PAK in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	129
11	Zusammenfassung der Grünkohlergebnisse 2011–2012 .....	137

## Danksagung

Unser herzlicher Dank, dass sie zur Durchführung des Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg beigetragen haben gilt:

- den Bürgern in den umliegenden Gemeinden für den Schutz der an den Messpunkten im Flughafenumfeld aufgestellten Biomonitoringpflanzen
- den umliegenden Gemeinden und ihren Vertretern sowie der Agrargenossenschaft Groß Machnow für die Messpunkt-Nutzungsgenehmigungen,
- allen Beteiligten von der Kita Bienenschwarm und der Astrid-Lindgren-Grundschule in Schönefeld und von der Grundschule in Schulzendorf,
- der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) für die Bereitstellung von Messpunkt-Karten, Niederschlagsdaten, Windrosen und Fotos von Günter Wicker.

# 1 Einführung und Zielsetzung

**Der Flughafen Berlin Brandenburg Willy Brandt (BER)** wird heute von der Flughafengesellschaft FBB als drittgrößter Flughafenstandort in Deutschland betrieben, gemessen an Passagierzahlen (ohne Umsteiger) sogar als größter (<https://corporate.berlin-airport.de/de.html>). Am BER wurden im Jahr 2015 – als damaligem Flughafen Schönefeld – rund 7,5 Millionen Fluggäste abgefertigt.

**Das geänderte Luftverkehrsaufkommen**, die mit dem BER eröffnete zweite Start- und Landebahn Süd und die Zunahme des Zubringerverkehrs lassen vermuten, dass sich die lufthygienischen Verhältnisse auf dem Flughafengelände und in der Umgebung des Flughafens geändert haben. Die Situation nach Inbetriebnahme des BER mit der davor zu vergleichen, ist die Hauptzielsetzung des Luftgüte-Untersuchungsprogramms der FBB (Kap. 1.2). Gegenstand des Biomonitorings als wichtigem Baustein dieses Programms ist es, die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf die Umweltqualität zu bewerten.

## 1.1 Typische Luftverunreinigungen und wie sie in die Umwelt gelangen

**Luftverunreinigungen** werden aus vielen Quellen emittiert: Energieerzeugung, Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Haushalte, Straßen-, Schienen- und Flugverkehr u. v. a. m.. Durch den Betrieb des Flughafens werden *Emissionen* durch Flugzeuge, aber auch durch Bodenverkehr und Energieerzeugung auf dem Flughafengelände, sowie durch Zubringerverkehr und Logistiktransporte im Umland freigesetzt. Die emittierten Stoffe werden über die Luft verfrachtet, verdünnt, durchmischt und teilweise umgewandelt. An der Luftgüte in der Umgebung des Flughafens haben noch viele weitere Quellen Anteil (Bild 1.1-1): die regionalen Industrie- und Landwirtschaftsbetriebe, der gesamte Verkehr ringsum und die Heizungsanlagen der Haushalte sowie der Ferntransport von Luftverunreinigungen. Die Luftverunreinigungen an ihrem Wirkort, z. B. in der Umgebungsluft von Menschen, Tieren und Pflanzen bezeichnet man als *Immission*. Die Luftverunreinigungen sinken partikelförmig allmählich als *Deposition* zu Boden oder verbleiben aufgrund geringer Größe und Gewicht als Gas oder Schwebstaub in der Luft. Stoffdepositionen können durch Luftbewegungen wieder aufgewirbelt und weiter transportiert werden.

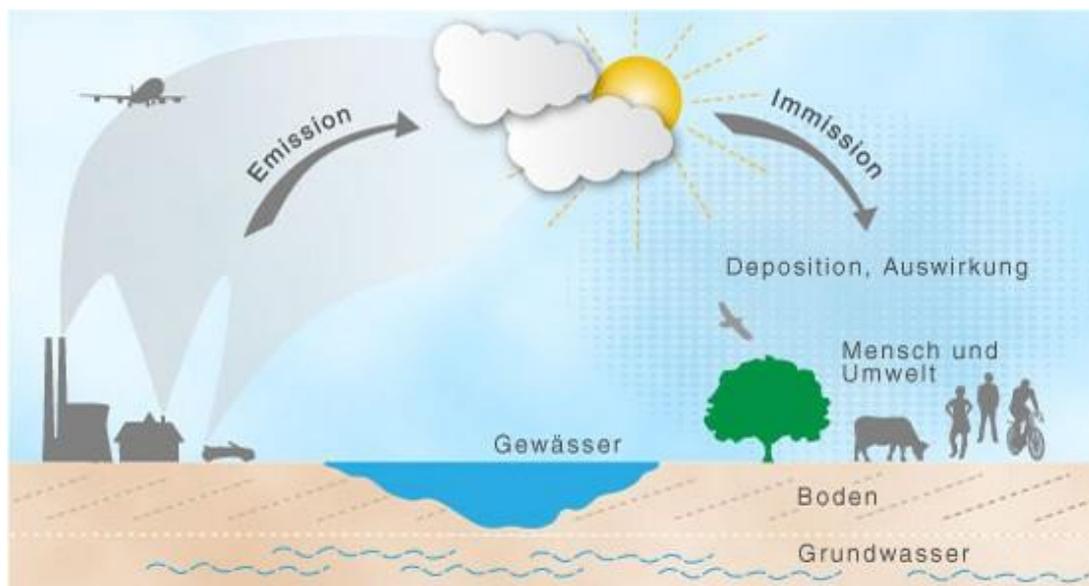


Bild 1.1-1: Wie gelangen Schadstoffe über die Luft in die Umwelt

[© Grafik Monica Wäber]

## 1.2 Umwelt-Untersuchungsprogramm des Flughafens Berlin Brandenburg

**Das Umwelt-Untersuchungsprogramm** ist im Jahr 2011 von der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) ins Leben gerufen worden: <https://corporate.berlin-airport.de/de/umwelt/luft/allgemeines.html>. Es zielt darauf ab, die Luftqualität und die Umweltwirkungen des Luftverkehrs langfristig zu beobachten.

**Die Luftgüte** wird von der FBB mit einer Messstelle auf dem Gelände des BER auf verkehrstypische Schadstoffe analysiert und einer zweite Messstelle in Bohnsdorf, die die FBB seit März 2018 betreibt. Die aktuellen Tagesmittelwerte werden vom Landesamt für Umwelt Brandenburg veröffentlicht (<https://luftdaten.brandenburg.de/luftguete>). Die FBB erstellt jährlich einen Luftgütebericht ([luft.berlin-airport.de](http://luft.berlin-airport.de)).

**Das Bienenmonitoring** ist ein weiterer Baustein des Programms, in dessen Rahmen Honig, Pollen und Waben aus dem Flughafenumfeld auf Luftschadstoffrückstände untersucht werden: [bienen.berlin-airport.de](http://bienen.berlin-airport.de).

**Das Biomonitoring** (Kap. 1.4) als dritter Baustein wurde in den Jahren 2011 und 2012 mit Grünkohl sowie 2013, 2015 und 2022 mit Graskulturen im Flughafenumfeld durchgeführt.

## 1.3 Biomonitoring von Immissionswirkungen

**Immissionswirkungen** beschreibt, wie Immissionen sich in Pflanzen und Tieren anreichern und wie sie sich auf Organismen auswirken. Organismen, beispielsweise Pflanzen können die Stoffdepositionen und Schwebeteilchen aufnehmen und anreichern. Auf diese Weise gelangen die Stoffe in die Nahrungskette. Von Menschen oder Tieren in zu hohen Dosen aufgenommen, können einige dieser Stoffe schädliche Wirkungen hervorrufen.

**Biomonitoring** ist der Einsatz biologischer Systeme, um luftgetragene *Immissionswirkungen* im Sinne des Immissionsschutzes unmittelbar zu erfassen (VDI 3957/1). Die biologischen Systeme, *Bioindikatoren*, sammeln und reichern die Luftverunreinigungen an (*Akkumulation*), oder reagieren spezifisch darauf. Die Wirkungen von Immissionen auf die Vegetation und die Anreicherungen in der Nahrungskette können ermittelt werden (VDI 3957/1).

Beim aktiven Biomonitoring werden Bioindikatoren für einen bestimmten Zeitraum den Immissionswirkungen gezielt ausgesetzt und danach untersucht. Die während der Exposition akkumulierten Stoffe können der aktuellen Luftgütesituation zugeordnet werden. Hierbei kommen zumeist Weidelgras – als *Standardisierte Graskultur* nach Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 – als Futtermittelvertreter und Grünkohl – als *Standardisierte Exposition von Grünkohl* nach Richtlinie VDI 3957 Blatt 3 – als Vertreter von Gemüselebensmitteln zu Einsatz (Wäber 2016). Sie erfassen neben schwer abbaubaren (persistenten) Stoffen, die partikelförmig abgelagert werden, auch gasförmige Stoffe und Schwebstaub: z. B. Schwermetalle und Halbmetalle (Metalle) sowie organische Schadstoffe wie die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK).

**Aktive Biomonitoringverfahren** sind seit Jahrzehnten etabliert und in Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure und europäischen Normen festgelegt (VDI 2016). Sie liefern vergleichbar reproduzierbare und zuverlässige Ergebnisse wie technische Immissionsmessungen und bieten weitere zahlreiche Vorteile, z. B.:

- Viele Luftverunreinigungen können, auch im Zusammenwirken, gleichzeitig erfasst werden.
- Messpunkte können unabhängig von der Infrastruktur so gewählt werden, dass Einwirkungsbereiche von Emissionsquellen abgegrenzt werden können.

- Sie geben anschauliche und begreifbare Antworten auf die Fragen zu den Auswirkungen und Verursachern (Kap. 1.4).

**Luftreinhaltepolitik** der EU und Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) zielen darauf ab, Menschen, Tiere und Pflanzen vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen. Biomonitoringverfahren können als einzige die Auswirkungen von Emissionen direkt überwachen (VDI 3957/1).

## 1.4 Zielsetzung des Biomonitorings im Umfeld des BER

**Im Jahr 2011** hat die FBB das Biomonitoring initiiert, um die Verbreitung von Luftverunreinigungen aus dem Flughafenbetrieb und deren Auswirkungen auf die Umwelt im Umfeld zu überwachen:

- 2011 und 2012 mittels Grünkohl-Exposition im Nordbahn-Betrieb des Flughafens Schönefeld,
- 2013 mit standardisierter Graskultur.
- Im Jahr 2015 begleitete das Graskultur-Biomonitoring die Nordbahn-Sanierung und zeitgleiche Nutzung der neuen südlichen Start- und Landebahn des Flughafens.
- Im Jahr 2022, zwei Jahre nach Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg, wurde das Graskultur-Biomonitoring wieder aufgenommen.

Die Wirkungsermittlung und -beurteilung orientieren sich am aktuellen Stand bestehender Gesetze, Verordnungen und Richtlinien, insbesondere an Richtlinie VDI 3957 Blatt 10 mit deren **zentralen Fragestellungen**:

- Sind im Umfeld der untersuchten Emissionsquelle – Flughafen – Immissionseinflüsse feststellbar?
- Können Immissionswirkungen vorhandenen Emissionsquellen zugeordnet werden?
- Wie ist die zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation?
- Wie hoch ist die Wirkungssituation und wie ist sie zu bewerten?
- Sind Gefährdungen von Menschen oder Tieren über die Nahrungskette zu erwarten?

**Das Ziel des Graskultur-Biomonitoring 2022** ist, mögliche Veränderungen der Umweltwirkungen nach Inbetriebnahme des BER zu dokumentieren. Dies bildet den Schwerpunkt des vorliegenden Berichts. Die Ergebnisse 2022 werden mit denen der Jahre 2015 und 2013 verglichen. Die bislang angewandten, standardisierten Untersuchungsmethoden wurden dazu an den zehn Messpunkten im Untersuchungsgebiet nach aktuellen Stand von Richtlinien und Normen fortgeführt. Untersuchungskonzept und -methoden sind im nachfolgenden Kapitel 2 detailliert beschrieben; hier die wesentlichen Aspekte:

- Die zehn Messpunkte bilden unterschiedliche Immissionssituationen und Nutzungen ab. Ihre Auswahl dient der Eingrenzung des Flughafens als Emissionsquelle, auch gegenüber anderen Quellen.
- Für die ausgewählten neun Metalle können Verkehr und Flughafenbetrieb Quellen sein, ebenso für die als „prioritäre Schadstoffe“ klassifizierten 16 PAK-Verbindungen (VDI 3957/2).
- Drei 4wöchige Graskultur-Expositionen pro Jahr ermöglichen Immissionswirkungen in ihrer zeitlichen Abfolge zu erfassen und erhöhen die Datensicherheit.
- Mit Orientierungswerten maximaler Hintergrundgehalte können Immissionseinflüsse identifiziert werden (Richtlinie VDI 3857/2), weit unterhalb einer etwaigen Gefährdung.
- Standardisierte Graskultur wird verbreitet angewendet und verfügt über eine breite Basis an Vergleichswerten – auch aus dem Umfeld von Flughäfen – zur Einordnung der Ergebnisse.

## 2 Untersuchungskonzept und -methoden

Das Biomonitoring wurde so angelegt, dass es die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinie zum emittentenbezogenen Biomonitoring (VDI 3957/10) erfüllt und der Fragestellung entspricht (vgl. Kapitel 1.4):

- Die Messpunkte im Untersuchungsgebiet (Kapitel 2.1) bilden die lufthygienische Situation in der Umgebung möglichst repräsentativ ab – im Siedlungsbereich der Anwohner, im landwirtschaftlich genutzten Bereich, im Bereich von Landschaftsschutzmaßnahmen, mit unterschiedlichem Abstand zum Flughafen Berlin Brandenburg, ehemals Schönefeld.
- Das Spektrum der untersuchten Stoffe (Kapitel 2.2) enthält solche, die für die Emissionsquelle Flughafenbetrieb charakteristisch sind und aufgrund ihrer Persistenz in der Umwelt und der Nahrungskette angereichert werden können. Beurteilungswerte in Hinblick auf die Landnutzung und die menschliche Gesundheit sind für einen Teil dieser Stoffe festgelegt.
- Mit dem aktiven Biomonitoring-Verfahren der standardisierten Graskultur (VDI 3957/2; Kapitel 2.3) als Futtermittelvertreter und als Lebensmittelvertreter kann über die gemessene Akkumulation der Bezug zu den Schutzgütern Tier und Mensch hergestellt werden. Das Stoffspektrum entspricht den beim Bienenmonitoring ebenfalls untersuchten Stoffen (Quelle im Internet: <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/Bienenmonitoring-Allgemeiner-Teil-2019.pdf>).
- Die Auswertung und Beurteilung des Biomonitorings richtet sich nach den aktuellen Maßgaben (VDI 3957/10, Kapitel 2.5). Es berücksichtigt die Entwicklung gegenüber 2015 und 2013, in der das Programm durch die Nachgenannten in gleicher Weise und nach dem neusten Stand ausgeführt wurde.

Das Programm wurde von Dr. Monica Wäber – UMW Umweltmonitoring in Sauerlach beraten und durchgeführt. Die Partnerlabore von UMW, die Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH in Tübingen, die seit 2022 als Eurofins Food Testing Süd GmbH firmiert, (für Metallanalytik) und die Eurofins Ökometric GmbH in Bayreuth (für PAK-Analytik) führten die Analysen durch.

### 2.1 Untersuchungsgebiet und Messpunkte

**Das Untersuchungsgebiet** umfasst das nahe Flughafenumfeld, die Gemeinden Blankenfelde-Mahlow, Schönefeld und Schulzendorf. Außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebiets wurden Referenzmesspunkte nahe Rangsdorf und Genshagen platziert.

**Die Immissionseinflüsse im Untersuchungsgebiet** können von Flughafenbetrieb, Straßenverkehr, landwirtschaftlichen Aktivitäten, Siedlungen mit Verkehr und häuslichen Feuerungsanlagen (auch: Hausbrand) sowie weiteren Quellen ausgehen. Sie können kontinuierlich (Verkehr), temporär (landwirtschaftliche Aktivitäten) und saisonal (Hausbrand) sein. Die Immissionssituation wird von der Witterung beeinflusst, vor allem von Windrichtung und -geschwindigkeit sowie von Niederschlägen.

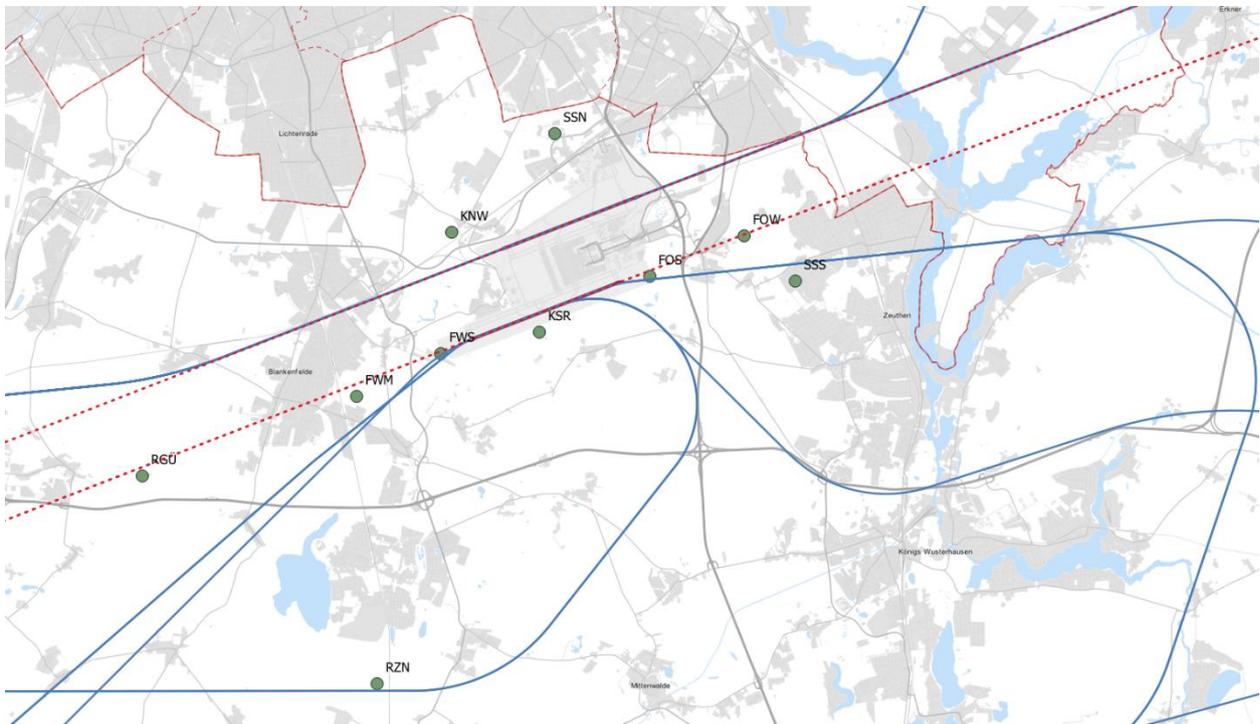


Bild 2.1-1: Lage der Messpunkte am Flughafen Berlin Brandenburg und in seinem Umfeld 2022

Biomonitoring-Messpunkte (grüne Kreise), Start- (blau) und Landerouten (rot) des Flugverkehrs  
 [Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH, Maßstab 1:130000]

**Das Messnetz** wurde auf Grundlage von Immissionsausbreitungsprognosen, geplanten Flugbewegungen, Recherchen u. a. zu potenziellen Quellen, Landnutzungen und Schutzgütern sowie von Begehungen des näheren und weiteren Flughafenumfelds 2011 festgelegt. Es umfasst 10 Messpunkte:

- 4 Messpunkte, deren Kürzel mit „F“ beginnt, im mutmaßlichen Einwirkungsbereich des Flughafens im Gradienten von den Start- und Landebahnen in den Hauptwindrichtungen,
- 2 Messpunkte, deren Kürzel mit „K“ beginnt, im Kontrollbereich am seitlichen Rand des mutmaßlichen Einwirkungsbereichs, senkrecht zu den Hauptwindrichtungen,
- 2 Messpunkte, deren Kürzel mit „S“ beginnt, im Siedlungsbereich, und
- 2 Messpunkte, deren Kürzel mit „R“ beginnt, im Referenzbereich, außerhalb des mutmaßlich betroffenen Gebiets.

RGÜ und RZN bei Genshagen und in der Zülowniederung wurden ursprünglich als Referenzmesspunkte repräsentativ für die Hintergrundbelastung angelegt (VDI 3957/10, Stand 2004). Aktuell ermittelt man die Hintergrundbelastung anhand derjenigen Messpunkte, die für den jeweiligen Stoff niedrigste Stoffanreicherungen in den Bioindikatoren zeigen (VDI 3857/2, Stand 2022).

**Die Messpunkte** repräsentieren typische Standorte: Flughafenbetrieb an den Start- und Landebahnen (FWS, FOS) und im Gradienten im Überflug (FWM, FOW), in oder nahe landwirtschaftlich genutzten Flächen (FWM, FOS, FOW, RGÜ, RZN), im Einflussbereich von Siedlungen mit Verkehr und saisonal häuslichen Feuerungsanlagen (SSN, SSS). Ein Teil der Messpunkte befindet sich in Ausgleichsflächen oder nahe Landschaftsschutzgebieten (FOW, KNW, KSR, RGÜ, RZN; Tabelle 2.1-1). Im Anhang finden sich

für jeden dieser Messpunkte Kennblätter mit Lagebeschreibung, Kartenausschnitt und Foto (Bild 9.1-1 ff.).

Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Messpunkte

Messpunkt	Lage der Messpunkte	Koordinaten (WG S84) Breite Nord, Länge Ost	Beschreibung
FWM	Flughafen West Mahlow: Südbahn Gradient nach West, Dahlewitz	N: 52,33194, O: 13,41417	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Flugrouten-Bereich</li> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld auf Acker</li> </ul>
FWS	Flughafen West Südbahn: nahe Flughafenzaun am West- ende der Südbahn	N: 52,34194, O: 13,45611	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Flugrouten-Bereich</li> <li>auf naturnaher Fläche</li> </ul>
FOS	Flughafen Ost Südbahn: nahe Flughafenzaun am Ost- ende der Südbahn	N: 52,30000, O: 13,53556	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Flugrouten-Bereich</li> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> </ul>
FOW	Flughafen Ost Waltersdorf Südbahn Gradient nach Ost, Waltersdorf	N: 52,36806, O: 13,56694	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Flugrouten-Bereich</li> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> <li>auf naturnaher Fläche</li> </ul>
KNW	Kontrolle Nord Waßmannsdorf: nördlich der Nordbahn	N: 52,37028, O: 13,46028	<ul style="list-style-type: none"> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> <li>auf naturnaher Fläche</li> </ul>
KSR	Kontrolle Süd Rotberg: südlich der Südbahn, nahe Rotberg; *im Jahr 2022 um 70m näher an Südbahn versetzt	N: 52,34694, O: 13,49361	<ul style="list-style-type: none"> <li>320m* / 390m seitlich Südbahn</li> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> <li>auf naturnaher Fläche</li> </ul>
SSN	Siedlungsgebiet Schönefeld: nördlich des Flughafens, Schul- /Kitagelände	N: 52,39333, O: 13,49944	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Ortsbereich</li> <li>Kfz-Verkehr (Stopp&amp;Go)</li> <li>Wohngebiet</li> </ul>
SSS	Siedlungsgebiet Schulzendorf: südlich des Flughafens, Schul- gelände	N: 52,35889, O: 13,59083	<ul style="list-style-type: none"> <li>im Ortsbereich</li> <li>Wohngebiet</li> <li>Überflug in ca. 1000 m Höhe</li> </ul>
RGÜ	Referenz Genshagen: westlich des Untersuchungsge- biets, Richtung Ludwigsfelde	N: 52,31333, O: 13,34278	<ul style="list-style-type: none"> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> <li>Überflug in über 1000 m Höhe</li> </ul>
RZN	Referenz Zülowniederung: südlich des Untersuchungsge- biets, Groß-Machnow	N: 52,26472, O: 13,43194	<ul style="list-style-type: none"> <li>in landwirtschaftlich genutztem Umfeld</li> <li>auf naturnaher Fläche</li> <li>Überflug in über 1000 m Höhe</li> </ul>

**Der Flughafenbetrieb als Quelle** von Luftverunreinigungen unterschied sich in den Untersuchungszeiträumen 2013, 2015 und 2022 hinsichtlich Nutzung der Start- und Landbahnen und hinsichtlich der Flugzahlen. Im Untersuchungszeitraum 2013 wurde die Nordbahn des damaligen Flughafens Schönefeld genutzt, 2015 die neue Südbahn aufgrund der Sanierung der Nordbahn und 2022 beide Bahnen des BER. Die Flugzahlen als relevanter Einfluss während des Graskultur-Biomonitorings sind in Kapitel 8.1 dargestellt (Bild 8.1-1).

## 2.2 Untersuchte Stoffe

Beim Biomonitoring mit Graskultur werden aktuell 9 ausgewählte Metalle sowie 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht (Tabelle 2.2-1).

Tabelle 2.2-1: Übersicht Stoffspektrum beim Biomonitoring

9 Metalle	16 PAK (EPA)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arsen (As)</li> <li>• Antimon (Sb)</li> <li>• Blei (Pb)</li> <li>• Cadmium (Cd)</li> <li>• Chrom (Cr)</li> <li>• Kupfer (Cu) (2013 nicht untersucht)</li> <li>• Nickel (Ni)</li> <li>• Quecksilber (Hg) (2013 nicht untersucht)</li> <li>• Zink (Zn)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Naphthalin (NAP)</i></li> <li>• <i>Acenaphthylen (ACY)</i></li> <li>• <i>Acenaphthen (ACE)</i></li> <li>• <i>Fluoren (FLE)</i></li> <li>• Phenanthren (PHE)</li> <li>• Anthracen (ANT)</li> <li>• Pyren (PYR)</li> <li>• <u>Benzo[a]anthracen (BaA)</u></li> <li>• <u>Chrysen (+Triphenylen) (CHR)</u></li> <li>• Fluoranthen (FLU)</li> <li>• <u>Benzo[b]fluoranthen (BbF)</u></li> <li>• Benzo[k]fluoranthen (BkF)</li> <li>• <u>Benzo[a]pyren (BaP)</u></li> <li>• Indeno[1,2,3,-cd]pyren (INP)</li> <li>• Benzo[g,h,i]perylen (BghiP)</li> <li>• Dibenzo[a,h]anthracen (DBahA)</li> </ul>
<p>PAK: <i>leichter flüchtige kursiv</i>, 12 schwerer flüchtige, <u>PAK4</u> unterstrichen; BbK: 2013-2015 als BbjkF analysiert</p>	

**Metalle** gelangen aus vielen Quellen in die Umwelt, z. B. aus Quellen im Verkehr (Reifen- und Bremsabrieb, Abgasanlagen etc.), Staubverwehungen von versiegelten Flächen oder landwirtschaftlichen Aktivitäten, industriellen Prozessen. Für die 9 Metalle können Verkehr und Flughafenbetrieb direkte Quellen sein:

- Bremsabrieb als Quelle von Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Antimon (Sb) und Zink (Zn);
- Abgase als Quelle von Chrom, Kupfer, Nickel (Ni), und Blei (BayLfU 2019).

Arsen (As) ist z. B. Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, ebenso wie etwa Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel, 1998). Geogenes (aus der Erde stammendes) Arsen kann durch Erdbewegungen bei landwirtschaftlicher Aktivität und Bautätigkeit in die Luft gelangen.

Cadmium (Cd) kann, neben der Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998), aus Zinkverhüttung, Phosphatdüngung und Müllverbrennung stammen (z. B. Merian 1984).

Quecksilber (Hg) stammt in partikel- und gasförmiger Form hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas zur Energie- und Wärmegewinnung sowie aus dem Verkehr, zudem aus der Zementproduktion und der Abfallverbrennung (Wäber und Peichl 1996, Rentz und Martel, 1998, UBA 2014).

Zink (Zn) gilt als Indikator für den geogenen wie anthropogenen Staubeintrag. Durch Aktivitäten des Menschen bedingte (anthropogene) Quellen können neben Korrosionsschutz, Reifen und Bremsen, Straßenbelag auch Düngemittel in der Landwirtschaft sein (Hüffmeyer 2007).

Einige der untersuchten Metalle sind als Spurenelemente lebensnotwendig, z. B. Zink und Kupfer. Sie sind einerseits lebensnotwendig, andererseits können sie in höheren Konzentrationen ökotoxisch (umweltgiftig) und gesundheitsschädlich wirken. Für Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Blei und Zink sind aufgrund ihrer umweltschädlichen Wirkungen Richtwerte oder gesetzliche Höchstgehalte festgesetzt (VDI 2310, FuttMV, VO (EG) Nr. 1881/2006).

**PAK** entstehen in der Hauptsache bei unvollständiger Verbrennung von organischem Material wie Holz, Kohle oder Ölprodukten. Mehr als 80 % stammen aktuell von Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten (Hausbrand), rund 6 % von kleinen und mittleren Feuerungsanlagen im Gewerbe, weitere 6 % aus Industrieprozessen und 2 % aus dem Verkehr, der Rest aus Energiewirtschaft, verarbeitendem Gewerbe und weiteren Quellen (UBA 2016). **Verkehrsabgase und der Flughafenbetrieb (Rückstände aus dem Kerosin) stellen also direkte, kontinuierliche PAK-Quellen dar, während die Hauptquelle – Hausbrand – saisonal relevant hervortritt.**

Die etwa 10.000 PAK-Verbindungen bestehen aus zwei bis sieben Ringen von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen – je mehr Ringe vorhanden sind, desto stabiler sind sie und desto besser reichern sie sich im Fettgewebe von Organismen an (UBA 2016).

**16 PAK:** Aufgrund ihrer Häufigkeit und Umweltrelevanz werden in der Regel 16 PAK stellvertretend untersucht, die von der US Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als „prioritäre Schadstoffe“ klassifiziert wurden (VDI 3957/2 und /3).

**12 PAK:** Die Summe der schwerer flüchtigen 12 PAK als Teilsumme der 16 PAK nach EPA betrachtet.

**PAK4:** bezeichnet die Summe von 4 PAK, den Verbindungen Benzo[a]pyren (BaP), Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen. PAK4 bewertet u. a. Kontaminanten (unerwünschte Stoffe) in Lebensmitteln (Verordnung (EU) Nr. 835/2011).

**BaP:** wird als Leitsubstanz gesondert betrachtet, u. a., weil sie besonders stark krebserregend ist.

## 2.3 Standardisierte Graskultur

Die standardisierte **Graskultur** von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lam. ssp. *italicum* Sorte „Gemini“) wird gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 in der aktuellen Fassung (2020; vormals Sorte „Lema“) unter gleichartigen Bedingungen im Gewächshaus vorkultiviert. An den Messpunkten im Umfeld des Flughafens werden die Graskulturen in vierwöchigem Wechsel aufgestellt (exponiert; Tabelle 2.3-1). Vor Ort sammeln sie die Schadstoffe aus der Luft (Bild 2.3-1). Der Biomassezuwachs wird nach dem Expositionsabschnitt (kurz: Serie) geerntet und im Labor auf Schadstoffgehalte analysiert.

Für die Analysen auf Metalle wird die Biomasse von zwei kleinen Kulturtöpfen mit 14 cm Durchmesser und für die Analysen auf PAK die Biomasse von zwei großen Kulturtöpfen mit 20 cm Durchmesser von jedem Messpunkt verwendet<sup>1</sup>. Einige der Metalle können systemisch (natürlicherweise) aus dem Substrat über die Wurzeln aufgenommen werden: dies gilt für Arsen, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink. Daher werden die Graskulturen in sogenannter Nullerde kultiviert, einem Gemisch aus Einheitserde Typ 0 mit geringem Spurenelementanteil, Weißtorf und Kalk. Mit Kalk wird der Säuregrad des Substrats auf rund

---

<sup>1</sup> Bis 2015 wurde ein großer Kulturtopf für die Metallanalysen beprobt. Der Wechsel zu zwei kleinen Kulturtöpfen wirkt sich erfahrungsgemäß nicht in relevantem Maß auf die Metallgehalte aus.

pH 6–7 schwach sauer bis neutral eingestellt, um den Einfluss der Metallaufnahme aus dem Substrat möglichst konstant gering zu erhalten.

**Besonderheiten:** In den Jahren 2013 und 2015 konnten insgesamt 7 Paralleluntersuchungen auf Metalle an den Messpunkten FOS (nur 2015) und RZN durchgeführt werden (Kapitel 2.6). Bei den Ergebnissen wird für diese Fälle der Mittelwert aus den beiden Parallelen dargestellt. Wegen Vandalismus am Referenzmesspunkt RZN fielen in den Jahren 2013 und 2015 die Parallelexpositionen der 1. und 2. Serie (Mai, Juni) aus und 2015 gab es in der 3. Serie einen Totalausfall. Aufgrund unterschiedlich guten Wachses wurden 2022 in folgenden Fällen nur je eine, normal gewachsene von zwei Graskulturen beprobt – lieferten aber mehr als ausreichend Biomasse zur Analyse: in der 1. Serie an Messpunkt KNW und in der 2. Serie an Messpunkt FOW für Metalle, sowie in der 3. Serie an Messpunkt RGÜ für PAK.



Bild 2.3-1: Standardisierte Graskultur bei Exposition [Foto: Günter Wicker LIGATUR]

Tabelle 2.3-1: Expositionsabschnitte 2013, 2015 und 2022

Expositionsabschnitte (kurz: Serien) standardisierter Graskultur 4wöchig +/- 2 Tag				
Jahr	Mai	Juni	Juli	August
2013	1. Serie 08.05.–05.06.2013	2. Serie 05.06.–05.07.2013	3. Serie 05.07.–05.08.2013	
2015		1. Serie 04.06.–02.07.2015	2. Serie 02.07.–31.07.2015	3. Serie 31.07.–27.08.2015
2022		1. Serie 30.05.–26.06.2022	2. Serie 26.06.–24.07.2022	3. Serie 24.07.–21.08.2022

## 2.4 Analysen

Für die **Analysen auf Metalle** erfolgt nach der Trocknung der Proben bei 30°C eine Zerkleinerung und Homogenisierung. Die Grasproben werden durch Mikrowellen-Hochdruckaufschluss mit Salpetersäure und Salzsäure aufgeschlossen und die Metallgehalte mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) gemäß DIN EN ISO 15763 bestimmt. Die analytischen Bestimmungsgrenzen (BG) sind in den Ergebniskapiteln (Kapitel 3) dargestellt. Während die BG für Antimon im Jahr 2013 noch 0,04 mg/kg TM (Trockenmasse) und im Jahr 2015 0,05 mg/kg TM betrug, konnte sie 2022 auf 0,01 mg/kg TM abgesenkt werden.

Zur **PAK-Bestimmung** wurde nach Gefriertrocknung und Homogenisierung ein aufgereinigter Extrakt der Grasproben mit Toluol/Hexan hergestellt. Dieser wurde nach DIN ISO 12884 mittels hochauflösender Gaschromatographie (HRGC), massenselektiver Detektion (MSD, niederauflösende Massenspektrometrie) unter Verwendung der Isotopenverdünnungsmethode (markierte interne Standards) analysiert. Dabei werden Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/kg TM pro Einzelverbindung erreicht (1µg: 1 Mikrogramm pro Kilogramm entspricht ein Tausendstel Milligramm pro Kilogramm).

## 2.5 Maßgaben zur Auswertung und Beurteilung

Die Auswertung und Beurteilung der Ergebnisse erfolgt anhand der in den entsprechenden Richtlinien und Verordnungen festgelegten Maßgaben. Für emittentenbezogenes Biomonitoring ist die überarbeitete Richtlinie VDI 3957 Blatt 10 (2022) maßgebend, in die gemäß VDI 3857 Blatt 2 (2021) Orientierungswerte für den maximalen Hintergrundgehalt eingegangen sind. In diesen Richtlinien sind die erforderlichen aktuellen Kenngrößen für die Aus- und Bewertung und der Umgang mit den Messdaten festgelegt (Kap. 2.6):

- Die Trockenmasse (TM) stellt die Bezugsgröße für die Stoffgehalte dar.
- Für Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (<BG) wird deren halber Zahlenwert angegeben.
- Eine expertengestützte Ausreißerprüfung geht der Auswertung voran.
- Bei der Beurteilung von Immissionseinflüssen wird die Unsicherheit des Verfahrens berücksichtigt.

### I. Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH

Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte (OmH) stellen robuste Obergrenzen für Stoffgehalte der Metalle und PAK-Parameter in den Graskulturen dar, die für die gebietstypische Hintergrundsituation charakteristisch sind (VDI 3857/2 2021). Der OmH kommt zur Anwendung um zu beurteilen, ob eine über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionswirkung vorliegt.

Für die Metalle und die PAK-Parameter in Graskultur wird jeweils ein parameterspezifischer OmH für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg aus den Messwerten der Messpunkte mit gebietstypischer Hintergrundsituation 2013–2022 ermittelt (Tabelle 2.5-1). Sofern dies nicht möglich ist, kann für Metalle der jeweilige überregionale OmH (VDI 3857/2 2021) angewendet werden. Diese und gebietspezifische OmH aus anderen Untersuchungen können zur Orientierung herangezogen werden (Umfeld des Flughafens München oder bayernweit von ländlichen Hintergrundmesspunkten; Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2022). Für Antimon konnte kein OmH gebildet werden, da mehr als 75 % der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen (Kapitel 3.1). Für Arsen und Nickel wird der überregionale OmH herangezogen, da aufgrund unterschiedlicher Hintergrundniveaus von 2013 bis 2022 kein gebietspezifisch einheitlicher OmH ermittelt werden konnte (Kapitel 3.2 und 3.7). Tabelle 2.5-1 zeigt, dass die berechneten OmH als Schwellen für die Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet um den

Flughafen Berlin Brandenburg für Chrom, Kupfer und Zink niedriger liegen als der Vergleichs-OmH, für Blei und Cadmium in der Höhe gut die dem Vergleichs-OmH übereinstimmend und nur für Quecksilber höher liegen.

Für die PAK-Parameter 16 PAK nach EPA, 12 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren wurden analog zu den Metallen OmH für das Untersuchungsgebiet ermittelt (Tabelle 2.5-1). In die Ermittlung ging die erste Graskulturserie vom Mai 2013 nicht ein – aufgrund saisonal erhöhter Hintergrundwerte (Heizperiode). Je nach PAK-Parameter lieferten teilweise unterschiedliche Messpunkte die Hintergrunddatenbasis. Die OmH für PAK können mit OmH quellenferner Hintergrundmesspunkte aus Bayern (grün) und aus Nordrhein-Westfalen (schwarz in Tabelle 2.5-1) verglichen werden, sowie mit OmH von Hintergrundmesspunkten des Flughafens München (blau)). Die OmH im Untersuchungsgebiet um den Flughafen Berlin Brandenburg für 16 PAK und Benzp[a]pyren (BaP) stimmen in der Höhe gut dem Vergleichs-OmH aus dem ländlichen Hintergrund in Bayern überein, der OmH für 12 PAK liegt geringfügig höher als der bayerische OmH. Der OmH für PAK4 liegt geringfügig niedriger als der OmH für NRW, aber höher als der bayerische OmH.

Tabelle 2.5-1: Beurteilungswerte für Immissionseinflüsse – OmH für Graskultur

Stoff: Metall [mg/kg TM]	Orientierungswerte für den maximalen Hintergrundgehalt				
	OmH <sub>überregional</sub> aus VDI 3857/2 OmH Bayern ländl.	OmH <sub>FBB</sub> 2013 2015 2022	<i>u</i> Standard- unsicherheit VDI 3857/2	<i>u</i> Standard- unsicherheit FBB <sub>2013-15</sub>	für OmH FBB ausgewählte Messpunkte
Antimon (Sb)	-	>75% Werte <BG	19%	-	-
Arsen (As)	<b>0,23</b>	nicht möglich	13%	10%	-
Blei (Pb)	0,36	<b>0,32</b>	15%	14%	SSN SSS RGÜ RZN
Cadmium (Cd)	0,057	<b>0,049</b>	19%	14%	FWM SSS RGÜ RZN
Chrom (Cr)	0,51	<b>0,43</b>	22%	23%	KNW SSN SSS RZN
Kupfer (Cu)	7,3	<b>5,9</b>	12%	11%	FWM SSN SSS RGÜ RZN
Nickel (Ni)	5,7	nicht möglich	14%	13%	-
Quecksilber (Hg)	0,011	<b>0,016</b>	6%	17%	FWM SSN SSS RGÜ RZN
Zink (Zn)	41	<b>32</b>	14%	13%	KSR SSN SSS RZN
PAK [µg/kg TM]	OmH <b>MUC</b> ; <b>Bay</b> ; NRW	OmH <sub>FBB</sub> <sup>**</sup>		<i>u</i> FBB <sub>2013-15</sub>	
16 PAK	26/26*; 44/44*; 320	<b>48</b>	33,3%	8%	KNW, SSS, RGÜ, RZN
12 PAK	20/21*; -/29*; -	<b>41</b>	33,3%	8%	KNW, SSS, RGÜ, RZN
PAK4	2,6/2,1*; 8,6/8,1*; 22	<b>15,9</b>	33,3%	7%	SSN, SSS, RGÜ, RZN
Benz[a]pyren	0,6/0,3*; 1,7/0,8*; 3,2	<b>1,7</b>	33,3%	21%	KSR, SSS, RGÜ, RZN

angewendeter OmH (fett), für As und Ni aus VDI 3857/2, aufgrund Unterschieden zwischen Messjahren  
angewendete *u* (%) für Metalle aus VDI 3857/2, da für *u*<sub>FBB</sub> nur 7 Wertepaare ohne 2022 zur Verfügung stehen  
OmH<sub>FBB</sub><sup>\*\*</sup>: PAK-OmHs 2013 2015 2022, ohne Mai 2013; OmH **MUC**\*; **Bay**\*: getrennt für Mai-Juni / August  
**MUC**: Flughf. München<sub>2017-2021</sub> (Wäber Pompe 2022); **Bay**: ländlicher Hintergrund Bayern<sub>2005-2014</sub> (BayLfU 2017)  
NRW: OmH<sub>2010-2019</sub> für Hintergrund in Nordrhein-Westfalen (LANUV 2021)

Gemäß Richtlinie VDI 3857/2 liegt eine gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte Belastung, also ein Immissionseinfluss, vor, wenn ein gemessener Elementgehalt abzüglich der Standardunsicherheit für das jeweilige Element in mg/kg TM den OmH überschreitet. Falls die Standardunsicherheit [*u* in %] im ortsbezogenen Biomonitoring nicht bestimmt wurde, wird für Metalle ersatzweise *u* der Richtlinien (VDI 3857/2

und VDI 3957/3) verwendet. Ist auch in den Richtlinien kein  $u$  angegeben – hier für PAK, wird als „pragmatischer Ansatz“ ein Immissionseinfluss dann angenommen, wenn der gemessene Wert  $\geq 1,5 \cdot \text{OmH}$  beträgt (VDI 3857/2). Dies entspricht rechnerisch einer Unsicherheit von einem Drittel: 33,3%. Da im Untersuchungsgebiet zur Bestimmung der Unsicherheit nur eine geringe Anzahl von Parallelexpositionen zur Verfügung standen und die bestimmten Unsicherheiten im Wesentlichen gut mit der Standardunsicherheit  $u$  aus VDI 3857/2 untereinstimmen, werden die entsprechenden Ersatzwerte angewendet.

Um zu beurteilen, wie relevant (welcher Art) ein festgestellter Immissionseinfluss ist, wird er bezüglich der Häufigkeit des Auftretens am Wirkort (Messpunkt) für Graskulturen klassifiziert:

- Ein deutlicher Immissionseinfluss liegt an einem Messpunkt vor, wenn dort mehrheitliche OmH-Überschreitungen auftreten: 2 oder 3 von 3 Graskulturwerten pro Jahr den OmH überschreiten.
- Ein schwacher Immissionseinfluss liegt an einem Messpunkt vor, wenn dort nicht mehrheitliche OmH-Überschreitungen auftreten: z. B. 1 von 3 Messwerten pro Jahr den OmH überschreiten.
- Kein Immissionseinfluss – keine über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionswirkung – liegt an einem Messpunkt vor, wenn die Messwerte den OmH nicht oder nur vereinzelt überschreiten.
- Von einem temporären Immissionseinfluss ist auszugehen, wenn über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionswirkungen nur in bestimmten Serien (z. B. saisonaler Hausbrand) oder Jahren auftreten.

Dieses Vorgehen ermöglicht zu beantworten:

**Sind in der Umgebung des Flughafens Immissionseinflüsse feststellbar und welcher Art?**

## II: Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die eingangs gestellte Frage (vgl. Kapitel 1.4)

### Wie ist die zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation?

ist insbesondere von Interesse, wenn deutliche Immissionseinflüsse festgestellt werden, für die der Flughafenbetrieb die maßgebliche Quelle ist. Es ist dann zu prüfen, ob ein Zusammenhang mit dem Flugzahlen – und vor Eröffnung des BER 2013 mit der Nordbahn- und 2015 mit der Südbahn-Nutzung – in Zusammenhang stehen (Kapitel 8.1). Bei deutlichen Schwankungen zwischen den Expositionsabschnitten (Serien) sollten mögliche Zusammenhänge mit anderen Einflussfaktoren in Betracht gezogen werden. Hierfür kommen Witterungsbedingungen wie Temperatur und Niederschlagsmengen in Frage, die auf Wuchs und Stoffanreicherung Einfluss haben können, sowie die vorherrschende Windrichtung während der Exposition (Kap. 8.2). Bei der Ergebnisinterpretation sollte stets die Unsicherheit des Verfahrens Berücksichtigung finden (Kapitel 2.6). Der Vergleich der Ergebnisse im Untersuchungsgebiet mit anderen Gebieten, z. B. am Flughafen München 2017–2021 im ländlichen Hintergrund an bayernweiten Dauerbeobachtungsstationen (DBS) des BayLfU, kann hier ebenfalls zur Klärung beitragen (siehe auch unten: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation).

## III. Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Um identifizierte Immissionswirkungen an Messpunkten potenziellen Emissionsquellen zuordnen zu können, ist zunächst stoffspezifisch eine Messpunktastufung vorzunehmen. Die Wertekollektive an den Messpunkten sind miteinander zu vergleichen. Sind Unterschiede erkennbar, wird untersucht, ob aus der

Lage der Messpunkte zueinander und zu potenziellen Emissionsquellen, hervortretende Immissionswirkungen bestimmten Quellen zugeordnet werden können. Das Stoffspektrum und gegebenenfalls weiteren Erkenntnissen werden mit betrachtet.

Da die Wertekollektive von Serie zu Serie schwanken und unterschiedlich hohe Streuung aufweisen, wurde ein **relativer Messpunktvergleich** durchgeführt. Dieser Vergleich eliminiert serienweise Schwankungen und relativiert die Streuung.

- Dazu werden von den Messwerten einer Serie sogenannte Z-Werte gebildet:
- Von jedem Messwert wird das arithmetische Mittel aller Messwerte einer Serie subtrahiert und
- die Differenz durch die Standardabweichung des Wertekollektivs dieser Serie geteilt.
- Das arithmetische Mittel der Abweichungen über die Serien-Z-Werte eines Messpunktes im betrachteten Zeitraum ergibt so ein Maß für die relative Abweichung der Messpunkte zueinander: den Z-Mittelwert.

Diese Vorgehensweise ermöglicht es die Frage zu beantworten (vgl. Kapitel 1.4):

**Können Immissionswirkungen vorhandenen Emissionsquellen zugeordnet werden?**

#### IV: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Als Maßstäbe wurden in vergleichbaren Biomonitorings gemessene Wirkungen und die Ergebnisse im Untersuchungsgebiet gegenübergestellt:

- Wertebereiche in der Umgebung des Flughafens München 2017–2021 als aktuellste Vergleichsuntersuchung für Graskultur, mit identischer Durchführung (Wäber und Pompe 2020 und 2022);
- Wertebereiche im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle 2020<sup>2</sup>, ebenfalls mit identischer Durchführung (Wäber und Pompe 2020);
- OmH, überregional, aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 (2021) für Metalle in Graskultur.
- OmH und arithmetischer Mittelwert von Einzelwerten für Metalle in Graskulturen ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2012–2021 (BayLfU 2022) sowie
- OmH für PAK in Graskulturen ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2005–2014 (BayLfU 2017) und in NRW 2010–2019 (Hombrecher für LANUV 2021).

Dies liefert eine vergleichende Einordnung für die Fragestellung (vgl. Kapitel 1.4):

**Wie hoch ist die Wirkungssituation und wie ist sie zu bewerten?**

#### V: Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Standardisierte Graskultur gilt als Repräsentant für pflanzliche Tierfuttermittel. Die Luftschadstoffgehalte in den Graskulturen können mit Beurteilungswerten aus dem europäischen Futtermittelrecht und aus VDI-Richtlinien verglichen werden. Dies liefert Hinweise auf etwaige Beeinträchtigungen hinsichtlich landwirtschaftlicher Futter- und Nahrungsmittelproduktion. Mit Beurteilungswerten für Blattgemüse-Lebensmittel kann orientierend abgeschätzt werden, ob ein Risiko für den Menschen gegeben wäre. Beurteilungswerte

---

<sup>2</sup> Die Ergebnisse des Biomonitorings im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle 2022 sind derzeit in Bearbeitung und dürften zeitnah nach Publikation des hier vorgelegten Berichts ebenfalls online erscheinen (Quelle im Internet: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/flughafen-leipzig/halle-gmbh/biomonitoring/>).

zur Gefährdungsabschätzung für Mensch und Tier über den Nahrungspfad liegen für einen Teil der untersuchten Stoffe vor (Tabelle 2.5-2).

- Höchstgehalte gemäß Futtermittelverordnung (FuttMV) sind für unerwünschte Stoffe festgesetzt, die in oder auf Futtermitteln eine potenzielle Gefahr für die Gesundheit von Mensch oder Tier oder für die Umwelt darstellen oder die tierische Erzeugung beeinträchtigen können. Höchstgehalte sind auf Einzelmesswerte zu beziehen.
- Maximale Immissions-Werte (MID) gemäß Richtlinienreihe VDI 2310 haben Empfehlungscharakter und sind zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere und der Sicherung der Unbedenklichkeit der von diesen Tieren gewonnenen Lebensmittel festgesetzt. MID-Werte beziehen sich auf die langfristige Schadstoffaufnahme. Daher wird nicht der Einzelwert, sondern der gemittelte Schadstoffgehalt in der Graskultur verglichen.
- Durch den orientierenden Vergleich der festgestellten Schadstoffgehalte mit Lebensmittel-Höchstgehalten kann ansatzweise eine Gefährdung des Menschen über den Verzehr abgeschätzt werden. Für Blattkohl-Lebensmittel sind in den Fortschreibungen der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln aktuell Höchstgehalte für Blei, Cadmium und Quecksilber festgelegt (VO (EU) 2021/1317, 2021/1323, 2018/73). Für getrocknete Kräuter und Gewürze in VO (EU) 2015/1933 (in Fortschreibung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006) sind Höchstgehalte für PAK4 mit Benzo[a]pyren festgelegt.

Tabelle 2.5-2: Beurteilungswerte zur Gefährdungsabschätzung

Beurteilungswerte für Graskultur bez. auf 100% Trockenmasse						
Stoff: Metall [mg/kg TM]	Höchst- gehalt FuttMV	Richtwerte Rinder (VDI 2310)		Richtwerte Schafe (VDI 2310)		Lebensmittel Höchstgehalt (100% TM)
		Min	Max	Min	Max	
Antimon (Sb)	-	-		-		-
Arsen (As)	2,3	2,3		2,3		-
Blei (Pb)	34	1,0	1,5	4,5	6,8	1,5
Cadmium (Cd)	1,1	0,68	0,91	0,68	0,80	1,0
Chrom (Cr)	-	57		57		-
Kupfer (Cu)	-	45	114	11,4	23	-
Nickel (Ni)	-	57		57		-
Quecksilber (Hg)	0,114	0,114		0,057		0,05
Zink (Zn)	-	568		341		-
PAK [µg/kg TM]						
16 PAK	-	-	-	-	-	-
12 PAK	-	-	-	-	-	-
PAK4	-	-	-	-	-	50
Benz[a]pyren	-	-	-	-	-	10

Die Beurteilungswerte für Futtermittel nach FuttMV und Richtlinienreihe VDI 2310 beziehen sich auf 88 % Trockenmasse (TM). Für den Vergleich mit den Graskulturergebnissen werden sie auf 100 % TM umgerechnet (Tabelle 2.5-2). Die Beurteilungswerte für Lebensmittel beziehen sich auf Frischmasse (FM). Für

den orientierenden Vergleich sind die Lebensmittel-Höchstgehalte hier hilfsweise auf 100% TM umgerechnet (graue Schrift; für PAK4 und Benzo[a]pyren wird der Bezug  $\mu\text{g}/\text{kg}$  Originalsubstanz als annähernd  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM angenommen). Für diesen Vergleich ist zudem zu beachten, dass:

- Pflanzen allgemein unterschiedliche Anreicherungseigenschaften besitzen, der Bioindikator Graskultur hat somit andere Anreicherungseigenschaften als Blatt(gemüse)-Lebensmittel;
- Graskultur ungewaschen analysiert wird, während sich Höchstgehalte des Lebensmittelrechts auf verzehrfertig aufbereitete, in diesem Fall auch gewaschene Lebensmittel beziehen.

Der Vergleich der Stoffgehalte in den Bioindikatoren mit den Beurteilungswerten liefert Antworten auf die Frage: **Sind Gefährdungen von Menschen oder Tieren über die Nahrungskette zu erwarten?**

## 2.6 Kenngrößen, Messunsicherheit, Umgang mit Messwerten, Einflüsse

Die **Trockenmasse** (TM) stellt die Bezugsgröße für die Stoffgehalte in den Graskulturen dar. Sie wird gemeinsam mit dem Trockenmassegehalt (in %) bestimmt. Letzterer ermöglicht die Umrechnung auf Frischmasse (FM). Die Gehalte von Metallen sind in  $\text{mg}/\text{kg}$  bezogen auf 100 % Trockenmasse (TM) angegeben. Die Gehalte der 16 PAK sind in  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM angegeben: 1 Mikrogramm pro Kilogramm entspricht einem Tausendstel Milligramm pro Kilogramm, somit 1 Millionstel Gramm pro Kilogramm.

Die **Messunsicherheit** ist wichtig zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Untersuchungsverfahren, ebenso wie die Empfindlichkeit bezüglich Laboranalytik (Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze s. u.). Die Aussagekraft hängt zudem von Reproduzierbarkeit und Richtigkeit ab und wird durch die Einhaltung der Standardisierungsvorgaben ermöglicht (Liftinger 2017). Jedes Messverfahren ist mit einer Messunsicherheit behaftet. Der Wert der betrachteten Messgröße kann nicht beliebig exakt bestimmt werden. Das Ergebnis einer Messung ist vielmehr stets eine Lageschätzung für den wahren Wert. Die Messunsicherheit gibt an, in welchem Wertebereich der Messwert um den wahren Wert streut (VDI 4280 Blatt 1 zu DIN V ENV 13005). Bei allen technischen und biologischen Messungen gibt es vielfältige, teilweise schwer bestimmbare Ursachen für die Abweichung des Messwertes vom wahren Wert. Sie können in zufälligen und systematischen Fehlern liegen. Bei der Verfahrensdurchführung beim Biomonitoring wird größter Wert auf die Qualität gelegt (VDI 3957 Blatt 1 bis 10). Trotzdem lassen sich nicht alle Einflussfaktoren auf die Messunsicherheit eliminieren oder eingrenzen. Die als **Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$**  nach DIN EN ISO 20988 definierte Messunsicherheit ist spezifisch für den jeweiligen untersuchten Stoff, schon aufgrund seiner typischen Eintragsformen in die Umwelt. Die Standardunsicherheit des Verfahrens für das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg kann ansatzweise aus Paralleluntersuchungen 2013 und 2015 hergeleitet werden. Da aber nur 6–7 Wertepaare für die Metalle vorliegen, werden die Standardunsicherheiten  $u$  für Metalle gemäß VDI 3857 Blatt 2 (2021) herangezogen. Sie beruhen auf mehr Paralleluntersuchungen und sind im Wesentlichen gut mit den Werten für  $u$  aus der hier vorgelegten Untersuchung (Kleinschrift) vergleichbar: Tabelle 2.5-1 stellt die stoffspezifischen Standardunsicherheiten zusammen mit den Orientierungswerten für Immissionseinflüsse – OmH – dar, auf die sie bezogen werden. Im Ergebnisteil sind die Messergebnisse als Zahlenwerte (bzw. Balkenhöhen in den Abbildungen) dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden sie nicht mit der aus der Unsicherheit resultierenden Spannweite dargestellt. Im Vergleich von Messwerten und Wertebereichen zueinander oder gegenüber OmH wird bei der Aus- und Bewertung der Ergebnisse die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  jedoch stets mitberücksichtigt. Ein Beispiel: Bei einer Unsicherheit  $u$  von  $\pm 30\%$  beträgt für einen Messwert von  $1 \text{ mg}/\text{kg}$  TM die Spannweite des Messwertes  $0,7\text{--}1,3 \text{ mg}/\text{kg}$  TM.

Die aktuellen analytischen **Bestimmungsgrenzen (BG)** sind in den Ergebnisdarstellungen mit angegeben. Ergebnisse kleiner Bestimmungsgrenze sind mit 50 % des Zahlenwerts der Bestimmungsgrenze in den Darstellungen enthalten. Dieses Vorgehen entspricht den einschlägigen Richtlinien für Biomonitoring (VDI 3957 Blatt 2 und Blatt 10). In den Einzelwertetabellen im Anhang sind Ergebnisse kleiner BG mit *kursiver Schrift* gekennzeichnet. Ergebnisse kleiner BG sind mit 50 % des Zahlenwerts der BG integriert in die Berechnungen von Mittelwerten für Metalle und Summen der 16 PAK aus den Einzelverbindungen.

Als **Ausreißer** darf ein Messwert nicht alleine deswegen verworfen werden weil er auffällig abweicht, vielmehr ist er nachdem er rechnerisch als Ausreißer (rA) identifiziert wurde, expertengestützt auf Plausibilität zu prüfen (VDI 3857/2 2021). Als rechnerischer Ausreißer (rA) wird ein Wert wie folgt identifiziert:

$$rA > Q.75 + 3 * IQR, \text{ oder } rA < Q.25 - 3 * IQR$$

(Q.75: empirisches Quantil mit  $p=0,75$ , d.h. mindestens drei Viertel der Messergebnisse (75 %) sind kleiner oder gleich diesem Wert; Q.25: Quantil mit  $p=0,25$ ; IQR: Interquartilsabstand  $Q.75 - Q.25$ ). Mit dieser Vorgehensweise wurden keine Metalldaten 2013–2022 als rechnerische Ausreißer rA identifiziert. Einzelne PAK-Verbindungen wurden als Ausreißer identifiziert: jeweils in der 1. Serie im Mai 2013 Naphthalin an SSN und Fluoranthen an FOS, FOW und SSS. Außerdem wurde Naphthalin an KSR in der 3. Serie 2013 als rA identifiziert. Sie wurden auf dokumentierte Besonderheiten und auf systematische Häufungen untersucht, um Kontaminationen und Fehlerwerte aus dem Verfahren aufzuspüren. Die rA-Werte der 1. Serie im Mai 2013 wurden so als saisonal auftretende Häufung erkannt. Auch für den Naphthalinwert an KSR in der 3. Serie 2013 gab es keine Anhaltspunkte für Kontaminationen, Verfahrens- oder Übertragungsfehler. Auch er wurde nicht eliminiert, da einmalige Immissionseinflüsse nicht auszuschließen sind.

Die arithmetischen **Mittelwerte** aus den drei Messwerten von Metallen pro Jahr sind in den Tabellen im Anhang dann kursiv gekennzeichnet, wenn mindestens ein Wert kleiner BG lag. Entsprechend der Vorgehensweise des BayLfU (BayLfU 2020) wird auch dann ein Mittelwert gebildet, wenn die Einzelwerte mehrheitlich kleiner BG liegen. Für PAK-Gehalte der 3 Graskulturserien pro Jahr wird wegen etwaiger saisonaler Unterschiede kein Mittelwert gebildet (vgl. Kap. 2.4).

**Externe Einflüsse**, die die Immissionssituation und damit die Ergebnisse beeinflussen können, sind der **Flughafenbetrieb mit den Flugzahlen** (Kapitel 8.1) und die **Witterung**, vor allem **Niederschläge, Windrichtung und -geschwindigkeit** (Kapitel 8.2). Die Stoffgehalte in den Bioindikatoren schwanken von Serie zu Serie unterschiedlich stark und weisen unterschiedliche Streuungen auf. Die Bioindikatoren integrieren die Witterungseinflüsse, die auch auf die umgebende Vegetation wirken.

**Niederschläge** können metallhaltigen Staub von der Blattoberfläche zum Teil abwaschen. Besonders relevant ist es, wenn es gegen Ende des Expositionsabschnitts regnet. Die Niederschlagsmengen während der Graskulturserien sind im Anhang dargestellt (Kapitel 8.2).

Für die Betrachtung der **Windverhältnisse** wurden von der FBB expositionsabschnittsweise Windrosen zur Verfügung gestellt. Anhand der vorherrschenden Windrichtungen während der Expositionen kann geprüft werden, ob der Wind aus der Richtung geweht hat, in der sich die potentiellen Quellen befinden. Im Betrachtungszeitraum überwogen Westwinde gegenüber Winden aus östlichen Richtungen.

- Besonders eindeutig überwogen Westwinde im Juli 2022 und 2015 (jeweils 2. Graskulturserie).
- Anders im August 2022 und deutlicher im August 2015 (jeweils 3. Graskulturserie): Ostwinde mit geringeren Windgeschwindigkeiten überwogen (Bild 8.2-1).

### 3 Ergebnisse 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

#### 3.1 Antimon in Graskultur

Antimon (Sb) ist als Antimontrisulfid in Bremsbelägen enthalten und wird hauptsächlich aus Abrieb aus Bremsbelägen aus dem Straßenverkehr in die Umwelt eingetragen (BayLfU 2017). Antimon wird als krebserregend für den Menschen eingestuft (Savory & Wills 1984).

Antimon lag in den Grasproben bis auf wenige Ausnahmen unterhalb den Bestimmungsgrenzen (BG) und sind mit deren halbem Wert dargestellt (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.1).

- Im Jahr 2022 lagen bei BG 0,01 mg/kg Trockenmasse (TM) an FOS 3 Werte bei 0,011–0,025 mg/kg /TM, an FWS 2 von 3 Werten bei 0,010–0,011 mg/kg TM und an den Messpunkten FOW, KNW und KSR je 1 Wert bei 0,010–0,016 mg/kg TM, nahe der BG
- Im Jahr 2015 lagen alle Werte unterhalb BG 0,05 mg/kg TM.
- Im Jahr 2013 lagen fast alle Werte unterhalb BG 0,04 mg/kg TM. An FOW, KNW, KSR und SSN lag je 1 Wert nahe BG bei 0,045–0,055 mg/kg TM.

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Ein Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) konnte nicht ermittelt werden, da mehr als 75% der Werte unterhalb BG lagen. Aus dem gleichen Grund ist kein überregionaler OmH aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 verfügbar. Die Standardunsicherheit  $u$  wird dort mit 19% angegeben (Tabelle 2.5-1). Ersatzweise werden in der nachfolgenden Tabelle 3.1-1 bestimmbare Antimonwerte (>BG) den Messpunkten zugeordnet.

Tabelle 3.1-1: Zuordnung der Antimonwerte oberhalb Bestimmungsgrenze zu den Messpunkten

Antimon in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	>70%<BG	19%	0	2	3	1	1	1	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015	100%<BG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013	>75%<BG		0	1	0	0	1	1	1	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Bild 3.1-1 zeigt die Antimongehalte. Der Wertebereich im Jahr 2022, oberhalb der gegenüber den Vorjahren 4–5fach empfindlicheren Bestimmungsgrenze, weist auf den möglichen Einfluss von Verkehr im Flughafenbereich hin: die flughafennahen Messpunkte FWS und FOS weisen 2 bzw. 3 vergleichsweise höhere Werte auf. Dies entspricht der Erwartung, da diese beiden Messpunkte am nächsten zur potenziellen Quelle Bremsabrieb – aus Flughafen-Bodenbetrieb und Ringstraßenverkehr – liegen.

**Hinsichtlich eines möglichen Flughafeneinflusses** gilt es die Entwicklung in den kommenden Jahren zu beobachten und soweit möglich die Bestimmungsgrenze für Antimon in Graskultur noch weiter abzusenken.

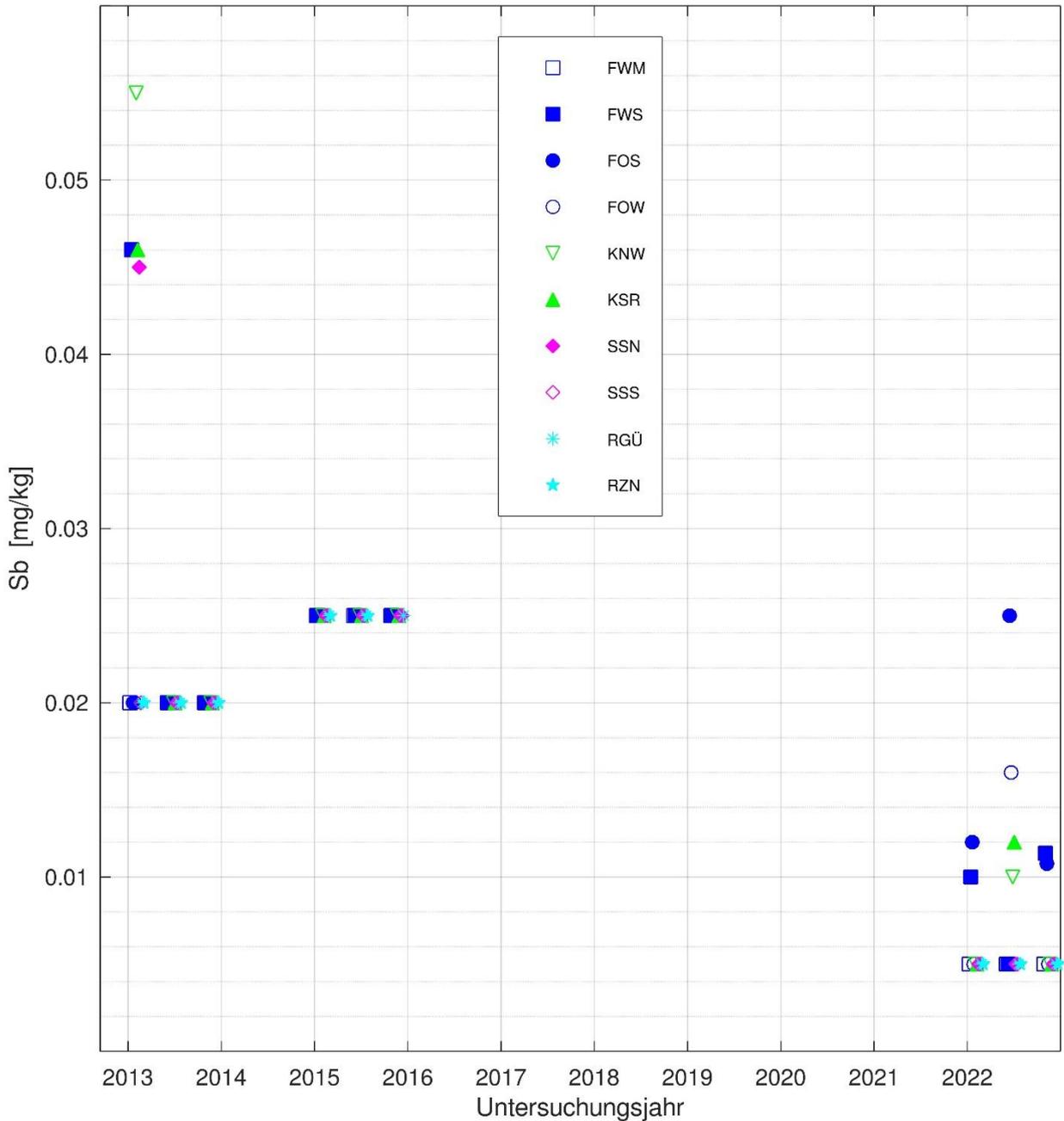
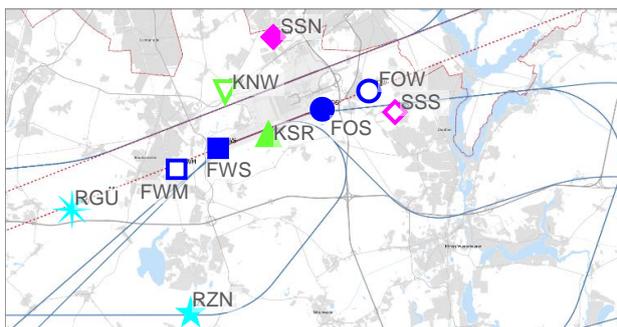


Bild 3.1-1: Antimonergehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ✱✱ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Ein relativer Messpunktvergleich, durch den serienweise Schwankungen eliminiert und die Streuung relativiert werden könnten (Kapitel 2.5), ist für Antimon 2013–2022 nicht möglich, da nur 12 von 89 Werten oberhalb BG lagen.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Höhe der Antimongehalte in Graskulturen ist unauffällig und niedrig, wie Tabelle 3.1-2 zeigt: Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg lag 2022 im unteren Bereich von Hintergrund und Wertespannen aktueller Graskultur-Biomonitorings.

Tabelle 3.1-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Antimon [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
-	<0,01–0,025 <0,05 <0,04–0,055	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2022 2015 2013
-	<0,02–0,058	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	<0,013–0,058	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
-	<0,025 – <0,05	<i>Mittelwerte</i> ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Beurteilungswerte für eine Gefährdungsabschätzung liegen für Antimon nicht vor.

### 3.2 Arsen in Graskultur

Arsen (As) ist Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, ebenso wie Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel 1998). Arsen kann auch aus industriellen Produktionsprozessen, Müllverbrennung und Düngieranwendungen stammen (BayLfU 2019). Bei der Freisetzung aus Verbrennung fossiler Energieträger in der Energiewirtschaft ist von weitflächiger Ausbreitung auszugehen (Kostka-Rick und Henningsen 2012). Hohe Arsengehalte in bestimmten Böden können eine natürlich bedingte, geologische Besonderheit sein. Dieses geogene Arsen, aber auch frühere Arsen-einträge in Böden, können durch Erdbewegungen bei landwirtschaftlicher und Bautätigkeit in die Luft gelangen.

Arsen war in allen Grasproben analytisch bestimmbar (BG 0,013 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Arsengehalte in Graskultur in einem engen Bereich: 0,08–0,17 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 ebenfalls, nur in der 3. Serie tendenziell höher und umfassten 0,11–0,27 mg/kg TM,
- im Jahr 2013 lagen sie in der 1. Serie eng bei 0,10–0,16 mg/kg TM wie 2022, aber in den Serien 2 und 3 höher mit 0,20–0,34 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.2).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Aufgrund der serienweise deutlichen Unterschiede konnte kein OmH für das Untersuchungsgebiet ermittelt werden. Ersatzweise wird der OmH aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 herangezogen (Tabelle 2.5-1): 0,23 mg/kg TM mit Standardunsicherheit  $u$  13 %. Bei den aus dem Jahr 2022 je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es zu keinen OmH-Überschreitungen und 2015 wurde der OmH nur 1 Mal überschritten: in der 3. Serie an FOS. Im Jahr 2013 trat je 1 OmH-Überschreitung auf – in der 3. Serie: an FOS, FOW, SSN, SSS, RGÜ und RZN (Tabelle 3.3-1). Folglich lagen im Untersuchungsgebiet allenfalls an FOS schwache, ansonsten temporäre, nicht relevante Immissionseinflüsse vor.

Tabelle 3.2-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Arsen zu den Messpunkten

Arsen in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	0,23 (VDI)	13%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	1	1	0	0	1	1	1	1

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Wie eingangs ausgeführt (Kapitel 2.5) können die Wertekollektive der Bioindikatoren von Expositionsserie zu Expositionsserie unterschiedlich stark schwanken und unterschiedlich hohe Streuungen aufweisen, weil sie äußeren Einflüssen, z. B. der Witterung, unterliegen, die auch auf die Vegetation wirken. Allerdings lassen sich die Ergebnisse – niedrige Arsengehalte 2022 bei trockener Witterung und höhere bei hohen Niederschlagsmengen 2013 und 2015 in Serie 2 (Bild 3.3-1) gerade nicht mit den Niederschlagsmengen nicht zu Deckung bringen (Bild 8.2-1 bis Bild 8.2-3). Die Ursache ist unbekannt.

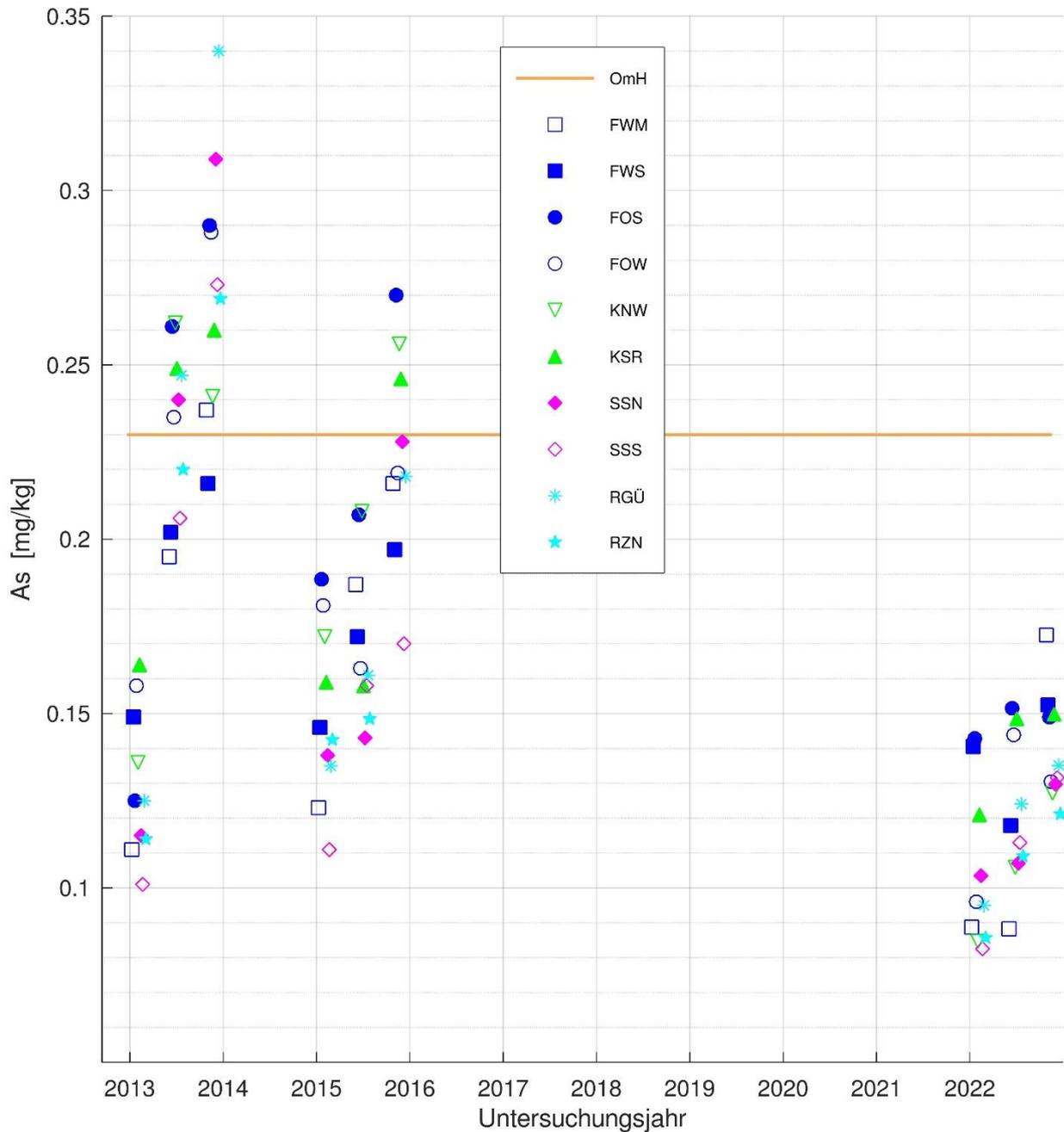
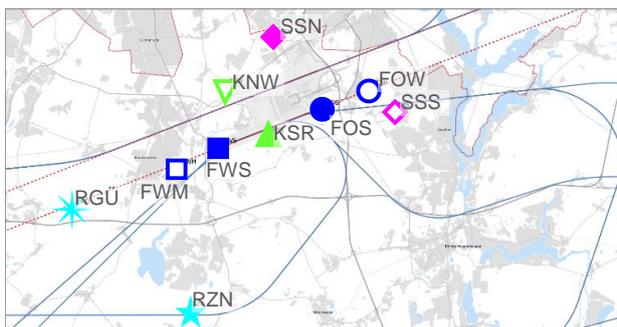


Bild 3.2-1: Arsengehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ✱✱ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

Ein gewisser zeitlicher Verlauf, der nicht mit den Niederschlagsmengen zur Deckung gebracht werden konnte, trat auch im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 auf (Wäber und Pompe 2020).

**Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), waren dort und sind hier für Arsen **nicht erkennbar**.

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Die Arsengehalte lagen mehrheitlich unterhalb der Schwelle für einen Immissionseinfluss, im Hintergrundbereich. Anhand normierter Z-Werte in (vgl. Kapitel 2.5) werden Schwankungen eliminiert und die Streuung relativiert, um im relativen Messpunktvergleich etwaige Unterschiede sichtbar zu machen. Der relative Messpunktvergleich für Arsen zeigt (Bild 3.3-2), dass an FOS und schwach an KSR überdurchschnittliche Arsenwerte auftraten (0,5–1 für den Mittelwert der 3 Jahre 2013, 2015, 2022, als Rahmen dargestellt), nicht aber an Messpunkt FWS, ebenfalls betriebsnah am Flughafen.

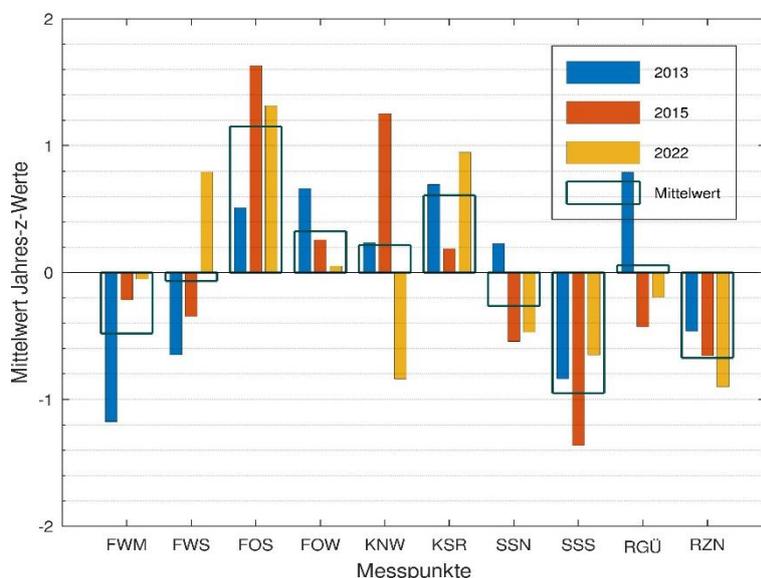


Bild 3.2-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Arsen 2013, 2015, 2022

An SSS in Schulzendorf und schwächer an FWM, im Flughafengradienten nach Westen bei Mahlow, sowie an RZN, naturnah landwirtschaftlich geprägt, traten unterdurchschnittliche Werte (Rahmen: -0,5 – -1) auf.

Der relative Messpunktvergleich wurde nicht nur über die 3 Jahre gemittelt vorgenommen, sondern auch für die Messjahre einzeln (Bild 3.3-2 Balken blau: 2013, rot: 2015 und gelb: 2022). So kann der Versuch unternommen werden Hinweise auf Quellen zu differenzieren: Im Jahr 2015 bei Südbahnbetrieb des Flughafens BER Schönefeld waren die Arsenwerte an FOS, an der Südbahn, vergleichsweise überdurchschnittlich sowie an KNW, nördlich der Nordbahn (>1; rote Balken in Bild 3.3-2).

Im Jahr 2022 bei Nord- und Südbahnbetrieb des BER waren die Arsenwerte an FWS, FOS und KSR, an der Südbahn, vergleichsweise überdurchschnittlich, aber nicht mehr an KNW. Flughafenbetrieb und Verkehr stellen keine direkten Quellen von Arsen dar. Es ist allerdings möglich, dass arsenhaltiger Staub **aus anderen Quellen**, z.B. aus dem Boden bei landwirtschaftlicher Tätigkeit, aufgewirbelt und **auf den versiegelten Flächen des Flughafens abgelagert** wird. Von dort könnte er im Flughafenbetrieb wieder aufgewirbelt und verdriftet werden – als sehr schwacher Effekte im Hintergrundbereich, unterhalb OmH.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Arsen kann anhand anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.2-2).

- Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg lag 2022, ebenso wie 2015 die Serien 1 und 2 und 2013 die Serie 1, im Bereich der Graskultur-Biomonitorings im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 und in der Umgebung des Flughafens München 2019.
- Die Wirkungssituation in Untersuchungsgebieten um die Flughäfen überschneidet sich auch mit dem niedrigen Arsen-Wertebereich ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern.
- Serienweise höhere Wertebereiche und Einzelwerte traten auch in Vergleichsuntersuchungen auf.

Insgesamt ist die Wirkungssituation bezüglich Arsen als unauffällig niedrig zu bewerten.

Tabelle 3.2-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Arsen [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
-	0,08–0,17 0,11–0,21; bis 0,27* 0,11–0,16; bis 0,34*	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2022 2015 2013
0,23		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 13%	2007–2016
-	0,06–0,20; bis 1,57**	Umgebung des Flughafens München (ab 2020 nicht untersucht)	2019
-	0,07–0,17; bis 0,29**	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
0,19	0,05–0,15	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

\*: Ausnahmeserien; \*\*: einmalige Ausnahmewerte; (aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Arsen wird als krebserregend eingestuft (Dietl et al. 1998), weshalb die Futtermittelverordnung (FuttMV) einen Höchstgehalt festgesetzt hat. Außerdem sind Maximale Immissions-Werte zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und zur Sicherung der Unbedenklichkeit der von diesen Tieren gewonnenen Lebensmittel für Arsen empfohlen (VDI 2310/35; Tabelle 2.5-2).

Der Futtermittel-Höchstgehalt von umgerechnet 2,3 mg/kg TM wurde von den Arsengehalten in Graskulturen, die am Messpunkt RGÜ 2013 maximal 0,34 mg/kg erreichten, deutlich unterschritten:

Höchstgehalt:	2,3	mg/kg TM
Max.Einzelwert	0,34	mg/kg TM

Die mittleren Arsengehalte über die Vegetationszeit, maximal mit 0,24 mg/kg TM an RGÜ 2013, unterschritten den unteren Wert der Spanne für Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln von umgerechnet 2,3 mg/kg TM entsprechend (s. u.: BU-Wert Min). Von einer Gefährdung ist nicht auszugehen.

BU-Wert Min:	2,3	mg/kg TM
Max.Mittelwert	0,24	mg/kg TM

### 3.3 Blei in Graskultur

Blei (Pb) gelangt aus Kohleverbrennung und vornehmlich bei der Bodenbearbeitung aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt, sowie aus Mineraldüngern oder Klärschlamm (Rentz und Martel 1998, UBA 2014). Nach Recherche des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019) kann es auch aus Bremsabrieb und Motorverschleiß stammen.

Blei war in allen Grasproben analytisch bestimmbar (BG 0,025 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Bleigehalte in Graskultur bei 0,09–0,45 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 lagen sie in vergleichbarem Bereich bei 0,10–0,43 mg/kg TM und
- im Jahr 2013 ebenfalls bei 0,12–0,45 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.3).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der für Graskultur ermittelte OmH beträgt 0,32 mg/kg TM (Tabelle 2.5-1), die Standardunsicherheit  $u$  15 % (VDI 3857/2). Bei den aus dem Jahr 2022 je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es an den Messpunkten FWS und FOS zu mehrheitlichen OmH-Überschreitungen (2 von 3 Werte) und an Kontrollmesspunkt KSR wurde der OmH 1 Mal überschritten. In den Jahren 2015 und 2013 traten nur je 1 OmH-Überschreitung auf: an FOS (2015), an FWS (2013) und an KNW (2013) (Tabelle 3.3-1). Folglich lag im Untersuchungsgebiet an FWS und FOS im Jahr 2022 ein deutlicher Immissionseinfluss für Blei vor, ansonsten kein relevanter Immissionseinfluss.

Tabelle 3.3-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Blei zu den Messpunkten

Blei in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	0,32	15%	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	1	0	0	1	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Bild 3.3-1 zeigt, dass im Jahr 2022 an den unmittelbar an der Südbahn des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) gelegenen Messpunkten FWS, FOS und KSR vergleichsweise höhere Bleigehalte in Graskulturen auftraten, als an den übrigen Messpunkten. An den übrigen Messpunkten wurden Hintergrund-Bleiwerte um 0,2 mg/kg TM gemessen, vergleichbar mit den Jahren 2015 und 2013.

**Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), sind **an den Messpunkten FWS und FOS, KSR möglich**. Hierbei könnten der Flughafen-Bodenbetrieb und der Straßenverkehr der Ringstraße mit entsprechenden Staubverwehungen ursächlich sein. Bleihaltiges Kerosin wird am BER nicht vertankt (mündliche Mitteilung Ref. Immissionsschutz, FBB).

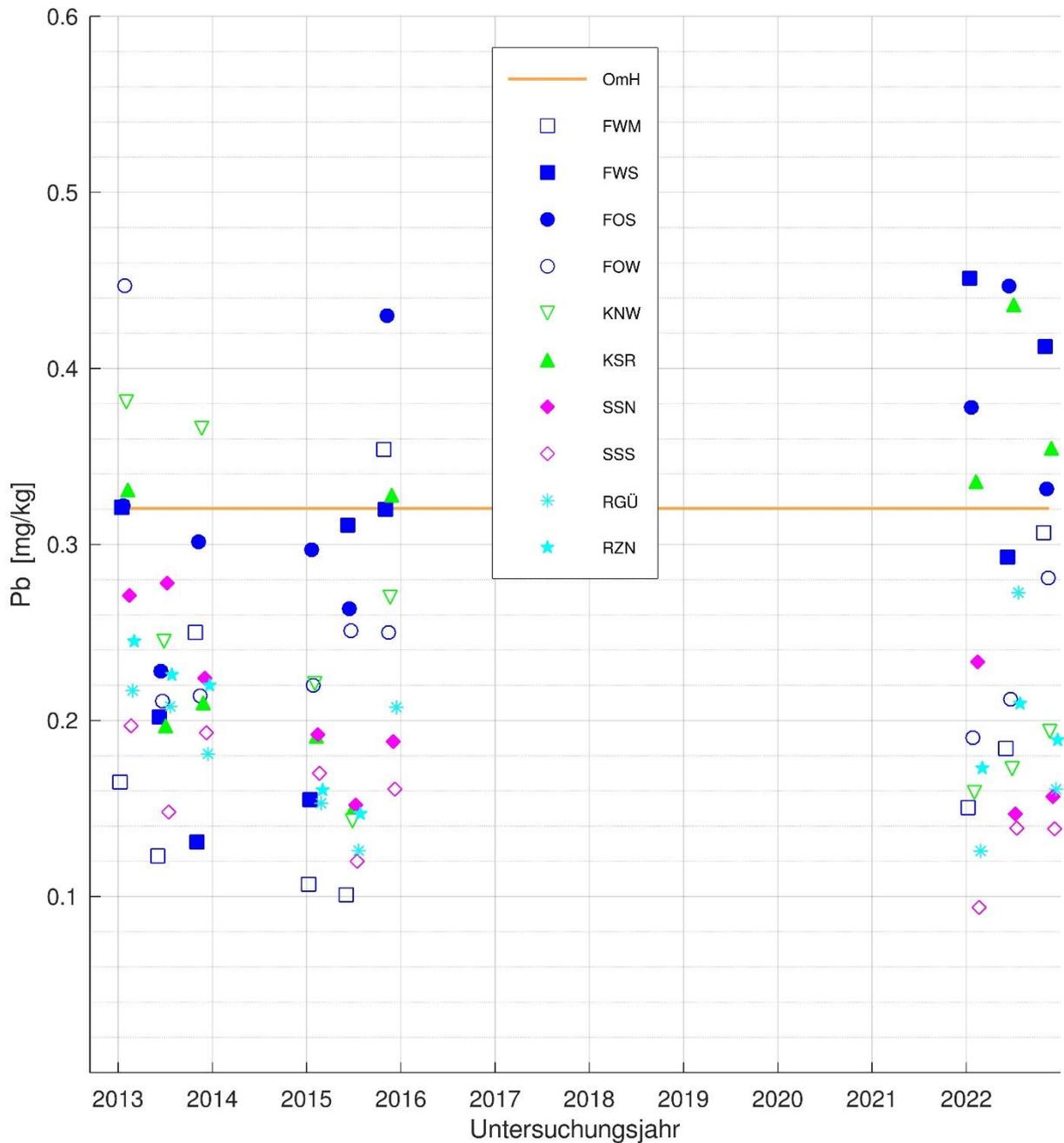
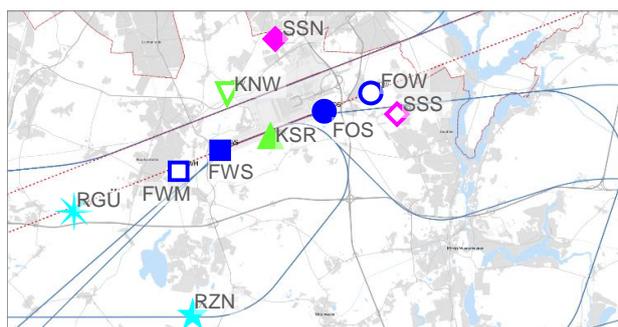


Bild 3.3-1: Bleigehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



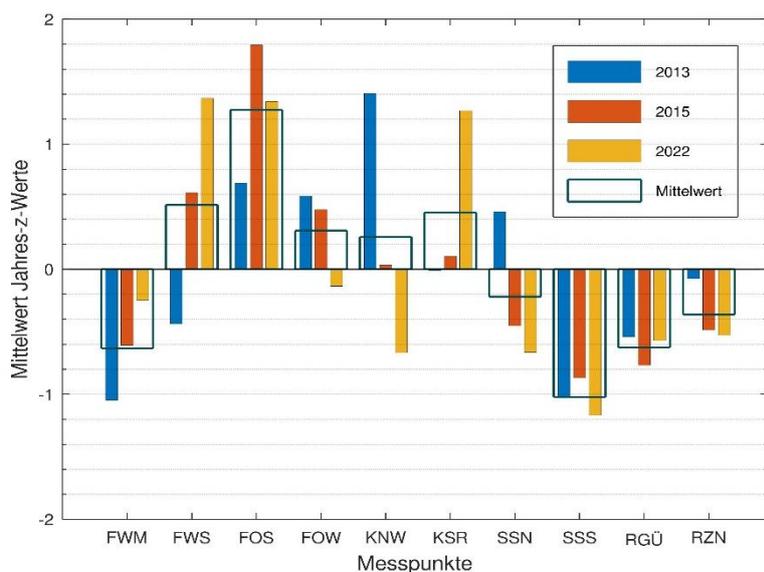
im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \* naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Die Bleigehalte lagen insgesamt mehrheitlich unterhalb der Schwelle für einen Immissionseinfluss im Hintergrundbereich. Anhand normierter Z-Werte in (vgl. Kapitel 2.5) werden Schwankungen eliminiert und die Streuung relativiert, um im relativen Messpunktvergleich etwaig unterschiedliche Anreicherungen sichtbar zu machen. Der relative Messpunktvergleich ist in Bild 3.3-2 gemittelt über die 3 Jahre dargestellt (Rahmen) sowie einzeln pro Messjahr (Balken blau: 2013, rot: 2015, gelb: 2022).



Der relative Messpunktvergleich zeigt (Bild 3.3-2), dass an FWS und KSR, betriebsnah am Flughafen im Mittel nur schwach überdurchschnittliche Werte (um 0,5) auftraten, an FOS überdurchschnittliche (>1). An SSS in Schulzendorf und – schwächer – an FWM, im Flughafengradienten nach Westen bei Mahlow, sowie an RGÜ, naturnah landwirtschaftlich geprägt, traten im Mittel unterdurchschnittliche Werte (-0,5 – -1) auf.

Im Jahr 2013 traten überdurchschnittliche Bleiwerte am Kontrollmesspunkt KNW bei Waßmannsdorf auf (blaue Balken), deren Ursache unbekannt ist. Im Jahr 2015 traten überdurchschnittliche Bleiwerte nur schwach an FWS,

Bild 3.3-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Blei 2013, 2015, 2022

aber deutlich an FOS an der Südbahn auf (rote Balken). Im Jahr 2022 traten überdurchschnittliche Bleiwerte an FWS, FOS sowie KSR an der Südbahn auf (gelbe Balken). An diesen Messpunkten könnten andere Bleiquellen im Nahbereich relevant sein, als der Flughafenbetrieb selbst, wie landwirtschaftliche Aktivitäten und Staubaufwirbelung z. B. durch und den Ausflugsverkehr rings um den Flughafen und die Quad-Rundtouren am Wochenende. Dies könnte Staubverfrachtungen auf die weitflächig **versiegelten Flächen des Flughafenareals** bewirken, von wo diese durch Wind, Verkehr und Flugverkehr wieder aufwirbeln und somit **als indirekte Bleiquelle im Nahbereich** wirken. Ein aktuelles Graskultur-Biomonitoring des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019) kam zu einem korrespondierenden Ergebnis: dass Straßenverkehr keine wesentliche direkte Quelle für Blei darstellt.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Blei kann anhand OmH-Vergleich für Graskultur sowie anhand anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.3-2).

- Der für Graskultur ermittelte OmH von 0,32 mg/kg TM ist in der Höhe mit dem überregionalen OmH 0,36 mg/kg TM der Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 vergleichbar. Beide sind höher als der niedrige OmH für das Umfeld des Flughafens München 0,16 mg/kg TM.
- Der Blei-Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg lag 2022 im unteren Bereich des Graskultur-Biomonitorings im Umland des Flughafens Leipzig/Halle und hinsichtlich der meisten Werte auch im Wertebereich der Umgebung des Flughafens München 2017–2021.

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet ist bezüglich Blei als unauffällig zu bewerten.

Tabelle 3.3-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Blei [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
0,32	0,09–0,45	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	0,10–0,43	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	0,12–0,45	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
0,36		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 15%	2007–2016
0,16	<0,05–0,26	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	0,13–0,70	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
<BG	<0,2 – <0,25	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Die wichtigste Aufnahmequelle von Blei für den Menschen ist die Nahrung. Aufgrund der ökotoxischen Bedeutung und Anreicherung über die Nahrungskette (Umweltatlas Hessen 2005), ist für Blei ein Höchstgehalt von 30 mg/kg bezogen auf 88 % TM gemäß Futtermittelverordnung (FuttMV) festgesetzt. Die Richtlinie VDI 2310 Blatt 27 definiert Maximale Immissions-Werte als langfristige Empfehlungswerte. Deren Spanne in Rinderfuttermitteln reicht von 0,9 bis 1,3 mg/kg und in Schaffuttermitteln von 4 bis 6 mg/kg bezogen auf 88 % TM. Der Futtermittel-Höchstgehalt von umgerechnet 34 mg/kg TM (Tabelle 2.5-2) wurde von den Bleigehalten in Graskulturen, die an den Messpunkten FWS, FOS und FOW maximal 0,45 mg/kg erreichten, weit unterschritten:

Höchstgehalt:	34	mg/kg TM
Max.Einzelwert	0,45	mg/kg TM

Die mittleren Bleigehalte über die Vegetationszeit, maximal mit 0,39 mg/kg TM an FWS und FOS 2022 unterschritten den unteren Wert der Spanne für Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln von umgerechnet 1,0 mg/kg TM ebenfalls (s. u.: BU-Wert Min). Von einer Gefährdung ist nicht auszugehen.

BU-Wert Min:	1,0	mg/kg TM
Max.Mittelwert	0,39	mg/kg TM

Nur orientierend kann ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) Nr. 2015/1005 mit Nr. 2021/1317): 0,30 mg/kg bezogen auf Frischmasse. Der höchste, im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Bleiwert an FWS, FOS und FOW beträgt umgerechnet auf Frischmasse rund 0,10 mg/kg FM. Er würde damit nur auf 33 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel liegen.

Blattkohl-Höchstgehalt	0,30	mg/kg Frischmasse
Max.Einzelwert FM	0,10	mg/kg Frischmasse

### 3.4 Cadmium in Graskultur

Cadmium (Cd) stammt vornehmlich aus der Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998), Zinkverhüttung, Phosphatdüngung und Müllverbrennung – und früher aus dem Kfz-Verkehr (z. B. Merian 1984).

Cadmium war in allen Grasproben analytisch bestimmbar (BG 0,0025 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Cadmiumgehalte in einem engen Bereich: 0,018–0,040 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 lagen die Gehalte ebenfalls in einem engen Bereich, tendenziell höher, und umfassten 0,029–0,055 mg/kg TM,
- im Jahr 2013 umfassten die Werte den gesamten Bereich 0,020–0,060 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.4).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH für das Untersuchungsgebiet wurde mit 0,049 mg/kg TM ermittelt, Standardunsicherheit  $u$  aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 beträgt 13 % (Tabelle 2.5-1): Bei keinem der je 3 Messwerte pro Messpunkt (MP) pro Jahr kam es zu OmH-Überschreitungen (Tabelle 3.4-1). Folglich wurden im Untersuchungsgebiet keine Immissionseinflüsse identifiziert. **Die Cadmiumgehalte lagen sämtlich im niedrigen Hintergrundbereich** (Bild 3.4-1).

Tabelle 3.4-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Cadmium zu den Messpunkten

Cadmium in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	0,049	13%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die Bioindikatoren integrieren die natürlichen Witterungseinflüsse, die auch auf die Vegetation wirken. So kann etwa Staub von der Blattoberfläche vom Wind oder durch Regenwasser wieder entfernt werden. Der zeitliche Verlauf kann wie bei Arsen nicht mit den Niederschlagsmengen zur Deckung gebracht werden. Ein Einfluss des Flughafenbetriebs und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), werden nicht erkennbar.

Bei einigen Metallen besteht auch ein gewisses Aufnahmevermögen aus dem Substrat über die Wurzeln: Dies gilt für Arsen, Cadmium, Kupfer, Nickel und Zink (Kapitel 2.3). Die Wertebereiche für Cadmium der Expositionsserien und Jahre überschritten sich (Bild 3.4-1), sie schwankten von Expositionsserie zu Expositionsserie allerdings unterschiedlich stark und wiesen unterschiedlich hohe Streuungen auf. Ein gewisser Einfluss der Cadmiumgehalte des Substrats, das vor jeder Biomonitoring-Saison neu angesetzt wurde, ist nicht auszuschließen.

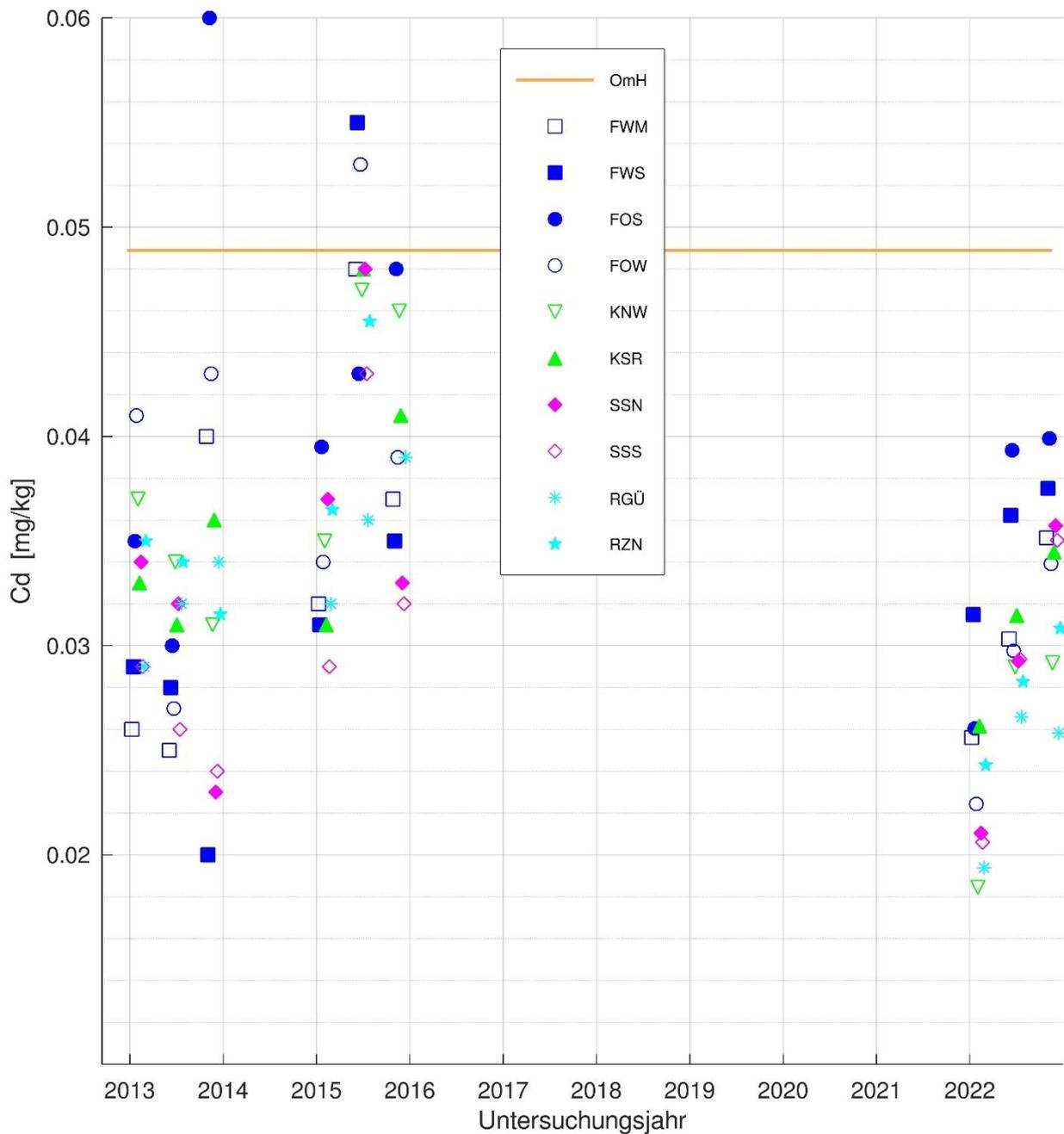
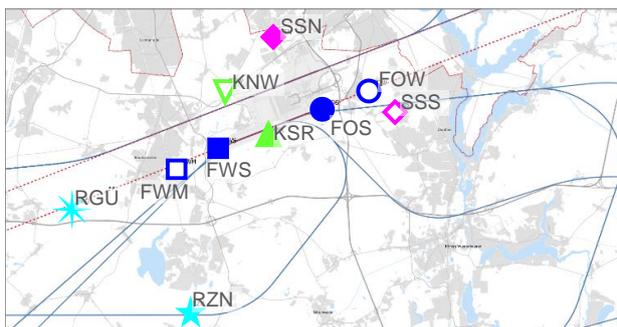


Bild 3.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



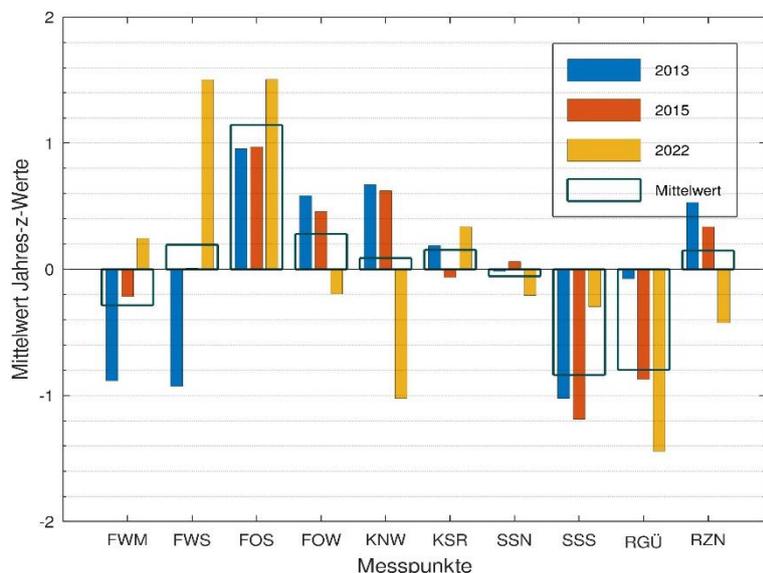
im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \* naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktstabufung und Quellenzuordnung

Anhand normierter Z-Werte werden die Schwankungen nivelliert (vgl. Kapitel 2.5), um im relativen Vergleich etwaige Unterschiede zwischen den Messpunkten sichtbar zu machen (Bild 3.4-2):



Der relative Messpunktvergleich zeigt im Mittel nur an FOS überdurchschnittliche Werte (Rahmen: rund 1), nicht aber an FWS und KSR, ebenfalls betriebsnah am Flughafen. An SSS in Schulzendorf und an RGÜ naturnah landwirtschaftlich geprägt traten im Mittel schwach unterdurchschnittliche Werte (um -0,5) auf.

Können Unterschiede zwischen 2013, 2015, 2022 differenziert werden? Im Jahr 2013 (blaue Balken) und im Jahr 2015 (rote Balken) traten nur schwach überdurchschnittliche Cadmiumwerte an FOS, FOW, KNW und RZN auf (0,5–1). Dies weist nicht auf Flughafenbetrieb als Quelle hin. Im Jahr 2022 traten überdurchschnittliche Werte an FWS und FOS auf (gelbe Balken: >1).

Bild 3.4-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Cadmium 2013, 2015, 2022

Flughafenbetrieb und Verkehr stellen keine direkten Quellen von Cadmium dar, vielmehr vorrangig Verbrennungsprozesse von Steinkohle sowie Anwendung von Dünger. Für die Cadmiumgehalte – die sämtlich unterhalb der Schwelle für einen Immissionseinfluss im Hintergrundbereich lagen – könnten an FWS und FOS **Staubaufwirbelung von den versiegelten Flächen** aus Flughafenareals und von der Ringstraße eine **schwache indirekte Quelle** darstellen.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Tabelle 3.4-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Cadmium [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
0,049	0,018–0,040	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	0,029–0,055	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	0,020–0,060*	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
0,057		für Bayern in VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 19%	2007–2016
-	0,011–0,028	Umgebung des Flughafens München (ab 2020 nicht untersucht)	2019
-	0,009–0,031	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
0,052	0,017–0,040	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Cadmium kann anhand OmH-Vergleich sowie anhand anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.4-2).

- Der hier ermittelte OmH von 0,49 mg/kg TM ist geringfügig niedriger der als vormals für den ländlichen Hintergrund in Bayern publizierte OmH 0,057 mg/kg TM (ein überregionaler OmH ist nicht möglich; VDI 3857/2) und in der Höhe gut vergleichbar mit dem aktuellen bayerischen OmH 0,52 mg/kg TM.
- Der Cadmium-Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Bild 3.4-1) überschneidet sich mit den Bereichen der Graskultur-Biomonitorings im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020, des Flughafens München 2019 und an ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern 2012–2021.

Insgesamt ist die Wirkungssituation bezüglich Cadmium als unauffällig zu bewerten.

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Cadmium wird als krebserregend eingestuft (VDI 2310/28). Für Futtermittelverordnung ist ein Höchstgehalt von 1 mg/kg bezogen auf 88 % TM festgesetzt (FuttMV). Außerdem sind Maximale Immissionswerte zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und zur Sicherung der Unbedenklichkeit der von diesen Tieren gewonnenen Lebensmittel für Cadmium empfohlen (s.u. BU-Wert Min und Tabelle 2.5-2): in Rinder- und in Schaffuttermitteln 0,6 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/28). Beide wurden weit unterschritten und von einer Gefährdung ist daher nicht auszugehen:

Höchstgehalt:	1,1	mg/kg TM
Max.Einzelwert	0,06	mg/kg TM

BU-Wert Min:	0,68	mg/kg TM
Max.Mittelwert	0,04	mg/kg TM

Nur orientierend kann ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) 2021/1323): 0,10 mg/kg bezogen auf Frischmasse. Der höchste, im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Cadmiumgehalt an FOS 2013 beträgt umgerechnet auf Frischmasse rund 0,014 mg/kg FM. Er würde damit nur auf 14 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel liegen.

Blattkohl-Höchstgehalt	0,10	mg/kg Frischmasse
Max.Einzelwert FM	0,014	mg/kg Frischmasse

### 3.5 Chrom in Graskultur

Laut Umweltbundesamt (UBA 2022) wird Chrom (Cr) überwiegend im Transport, vor allem im Straßenverkehr freigesetzt – wie Antimon aus Bremsbelägen (Peichl et al. 1994). Als Spurenelement ist Chrom lebensnotwendig. „Für die toxischen Eigenschaften sind die sechswertigen Chromverbindungen verantwortlich. Sie wirken ätzend auf Haut und Schleimhaut, können unter anderem Leber- und Nierenschäden verursachen und haben karzinogene (krebserregende) Wirkung“ (Umweltatlas Hessen 2005).

Chrom war in allen Grasproben bestimmbar (BG 0,025 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Chromgehalte in Graskultur bei 0,15–0,69 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 lagen sie in vergleichbarem Bereich bei 0,13–0,64 mg/kg TM,
- im Jahr 2013 ebenfalls bei 0,16–0,63 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.5).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH beträgt 0,43 mg/kg TM (Tabelle 2.5-1), die Standardunsicherheit  $u$  22 % (VDI 3857/2).

Bei den aus dem Jahr 2022 je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es an Messpunkt FWS zu mehrheitlichen OmH-Überschreitungen (2 von 3 Werte). Ansonsten traten nur ganz vereinzelt OmH-Überschreitungen auf (Tabelle 3.5-1). Folglich lag im Untersuchungsgebiet, außer an FWS für das Jahr 2022, kein relevanter Immissionseinfluss für Chrom vor.

Tabelle 3.5-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Chrom zu den Messpunkten

Chrom in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	0,43	22%	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Im Jahr 2022 traten an den unmittelbar an der Südbahn des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) gelegenen Messpunkten FWS, FOS und KSR während der 2. Serie Graskultur im Juli vergleichsweise höhere Bleigehalte in den Serien 1 (Juni) und 3 (August) auf. Dies traf allerdings auch auf RGÜ flughafenfern zu (Bild 3.5-1). **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), werden **nicht deutlich**. Denn auch im Jahr 2013 traten temporär in den Serien 1 und 3, im Mai und Juli am Messpunkt FOS an der Südbahn und an FOW im Gradienten dazu vergleichsweise höhere Chromgehalte auf – bei geringeren Flugzahlen als 2022 und ausschließlich Nordbahnbetrieb. Wie eingangs ausgeführt (Kapitel 2.5) können die Wertekollektive der Bioindikatoren von Expositionsserie zu Expositionsserie unterschiedlich stark und unterschiedlich hohe Streuungen aufweisen, weil sie äußeren Einflüssen, z. B. der Witterung, unterliegen, die auch auf die Vegetation wirken. Für 2022 würde das Ergebnis zur extrem trockenen Witterung und potenziellen Staubverwehungen während der 2. Serie Graskultur passen, für die 1. und 3. Serie Graskultur 2013 hingegen nicht. Die Ursache ist unbekannt.

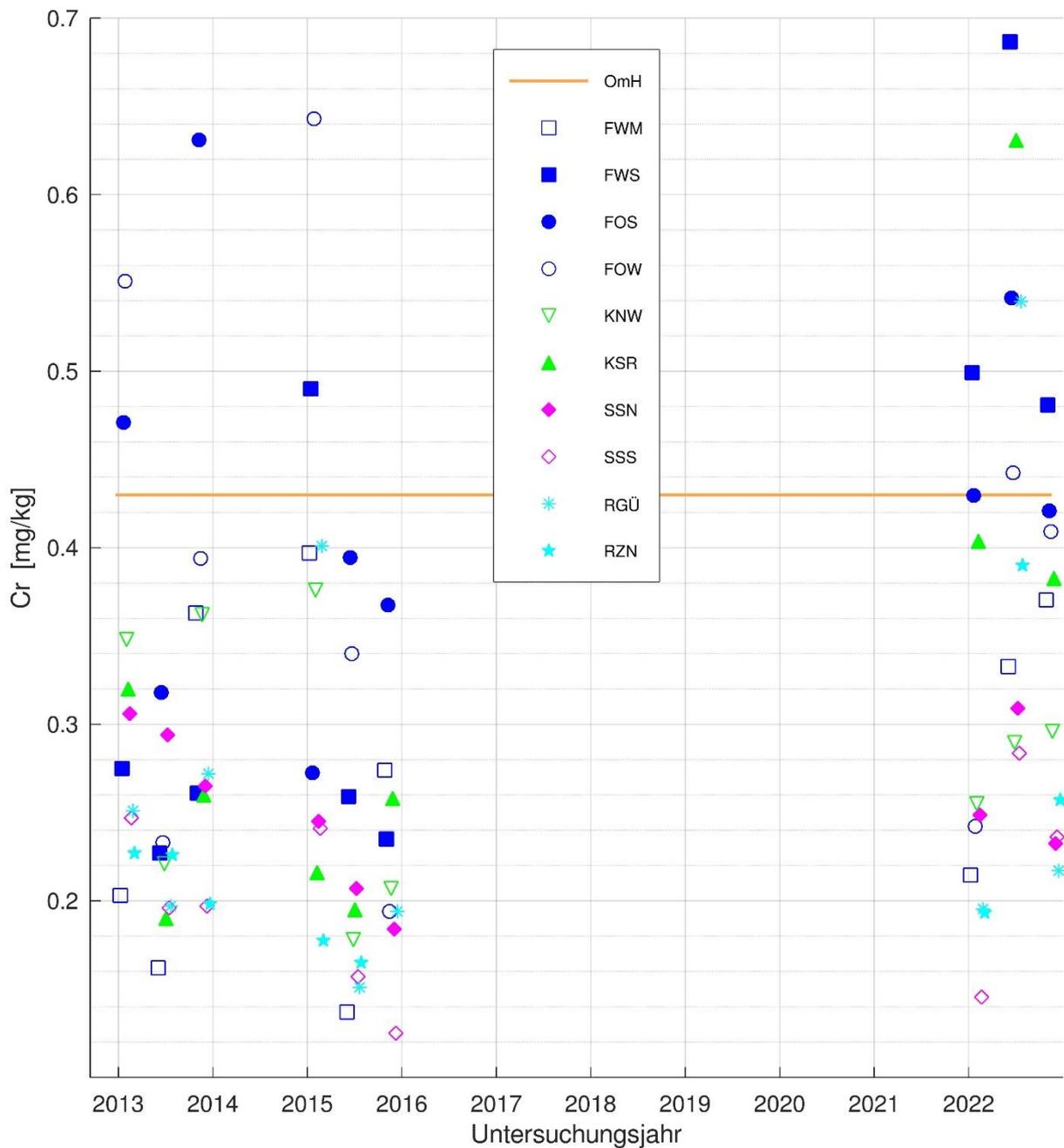
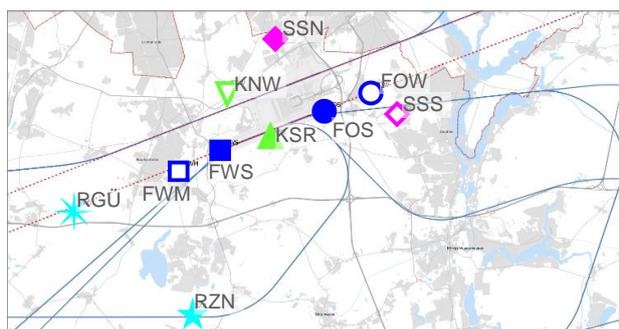


Bild 3.5-1: Chromgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blasse orangefarbene Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ✱✱ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktstabufung und Quellenzuordnung

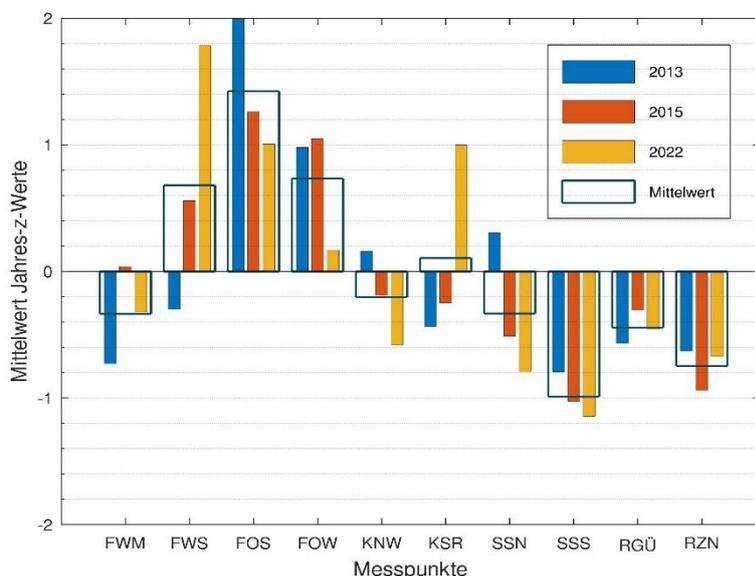


Bild 3.5-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Chrom 2013, 2015 und 2022

Obwohl die Chromgehalte mit wenigen Ausnahmen unterhalb der Schwelle für einen Immissions Einfluss lagen, können anhand normierter Z-Werte (Bild 3.5-2; vgl. Kapitel 2.5) relative Messpunktunterschiede sichtbar gemacht werden:

An FOS als betriebsnahe Messpunkte des Flughafens traten im Mittel (Rahmen) deutlich überdurchschnittliche Chromwerte auf. An FWS ebenfalls an der Südbahn sowie an FOW im Gradienten zu FOS traten im Mittel nur schwach überdurchschnittliche Werte auf (0,5–1) – im Unterschied zu Blei aber nicht am Kontrollmesspunkt KSR (vgl. Bild 3.3-2).

An SSS, innerorts in Schulzendorf, und RZN, flughafenfern landwirtschaftsnahe, traten schwach unterdurchschnittliche Werte auf (-0,5 – -1). Die überdurchschnittlichen Werte jahresweise näher differenziert ergibt folgendes Bild: Im Jahr 2013 bei Nordbahnbetrieb waren die Chromwerte an FOS, an der Südbahn, überdurchschnittlich und schwächer an FOW (blaue Balken). Dies weist nicht auf Flughafenbetrieb als Chromquelle hin. Im Jahr 2015 bei Südbahnbetrieb waren die Chromwerte an FOS überdurchschnittlich und an FWS und FOW schwach überdurchschnittlich (rote Balken). Im Jahr 2022, bei Betrieb beider Start-Landebahnen, waren die Chromwerte an FWS, FOS und KSR im Nahbereich der Südbahn überdurchschnittlich (gelbe Balken). Dies weist in **2022 auf Flughafenbetrieb als eher indirekte Chromquelle** hin. Das Ergebnis korrespondiert mit einem Graskultur-Biomonitoring des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019): Straßen mit Bremsabrieb von Fahrzeugen wurden dort als direkte Quelle und Staubverwehungen als indirekten Quellen für Chromanreicherungen identifiziert.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Chrom kann anhand OmH-Vergleich sowie anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.5-2).

- Der für Graskultur ermittelte OmH von 0,43 mg/kg TM ist geringfügig niedriger als der überregionale OmH 0,51 mg/kg TM der Richtlinie VDI 3857 Blatt 2. Beide sind höher als der niedrige OmH für das Umfeld des Flughafens München 0,28 mg/kg TM.
- Der Hintergrundwertebereich für Chrom im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg überschneidet sich mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings des Flughafens Leipzig/Halle und München.

Die Wirkungssituation im Hintergrundbereich des Untersuchungsgebiets ist bezüglich Chrom als unauffällig zu bewerten. Immissionsbeeinflusste Einzelwerte reichten bis knapp 0,7 mg/kg TM. Dass dies niedrig ist, zeigt die nachfolgende Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung.

Tabelle 3.5-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Chrom [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
0,43	0,15–0,69	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	0,13–0,64	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	0,16–0,63	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
0,51		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 22%	2007–2016
0,28	0,05–0,42	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	0,10–0,27	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
<BG	<0,20	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

#### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Ein Futtermittel-Höchstgehalt ist für Chrom nicht festgelegt. Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln sowie in Schaffuttermitteln (VDI 2310/44) betragen gleichermaßen 50 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/44). Dieser Beurteilungswert von 57 mg/kg umgerechnet auf 100% TM (Tabelle 2.5-2) ist auf Graskultur-Mittelwerte über die Vegetationsperiode zu beziehen. Die Graskultur-Mittelwerte – maximal mit 0,56 mg/kg TM an FWS 2022 – lagen weit unterhalb einer Schwelle, ab der eine Gefährdung zu vermuten wäre (s. u.: BU-Wert Min).

BU-Wert Min:	57	mg/kg TM
Max.Mittelwert	0,56	mg/kg TM

### 3.6 Kupfer in Graskultur

Der Straßenverkehr stellt die Hauptquelle für Kupfer (Cu) dar (UBA 2022). So konnte in Depositionsuntersuchungen der Kfz-Verkehr (Bremsbelag- und Reifenabrieb) als relevante Quelle von Kupfer identifiziert werden (BayLfU 2017), daneben können auch Abgase eine Quelle von Kupfer darstellen (BayLfU 2019). Der Gehalt von Kupfer in Graskulturen kann über die Aufnahme aus dem Substrat in relevantem Maß beeinflusst sein (VDI 3857/2).

Kupfer wurde im Jahr 2013 nicht untersucht. Ab 2015 war es in allen Graskulturproben analytisch bestimmbar (BG: 0,05 mg/kg TM):

- Im Jahr 2022 lagen die Kupfergehalte in äußerst engem Bereich bei 3,4–5,5 mg/kg TM und
- im Jahr 2015 ebenfalls in vergleichbarem Bereich bei 3,8–6,8 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.6).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2015–2022 für Kupfer ermittelte OmH beträgt 5,9 mg/kg TM (Tabelle 2.5-1), die Standardunsicherheit  $u$  12 % (VDI 3857/2). Ein Immissionseinfluss liegt dann vor, wenn der Messwert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  den OmH überschreitet. Dies kam nur 1 Mal vor (Tabelle 3.6-1 und Bild 3.6-1): an FOW in der 2. Serie 2015. Folglich lag im Untersuchungsgebiet kein relevanter Immissionseinfluss für Kupfer vor.

Tabelle 3.6-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Kupfer zu den Messpunkten

Kupfer in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015	5,9	12%	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

**Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), werden **nicht erkennbar**.

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Obwohl die Kupfergehalte mit einer Ausnahme unterhalb der Schwelle für einen Immissionseinfluss lagen und in äußerst engem Wertebereich, können anhand normierter Z-Werte (; vgl. Kapitel 2.5) relative Messpunktunterschiede sichtbar gemacht werden:

An FWS und FOS, als betriebsnahen Messpunkten des Flughafens, und FWM und FOW, jeweils im Gradienten, traten im Mittel (Rahmen in Bild 3.6-2) schwach überdurchschnittliche Werte auf (0,5 – 1). An SSN und SSS, innerorts in Schönefeld und Schulzendorf, sowie an RGÜ und RZN, flughafenfern landwirtschaftsnah, traten im Mittel schwach unterdurchschnittliche Werte auf (-0,5 – -1).

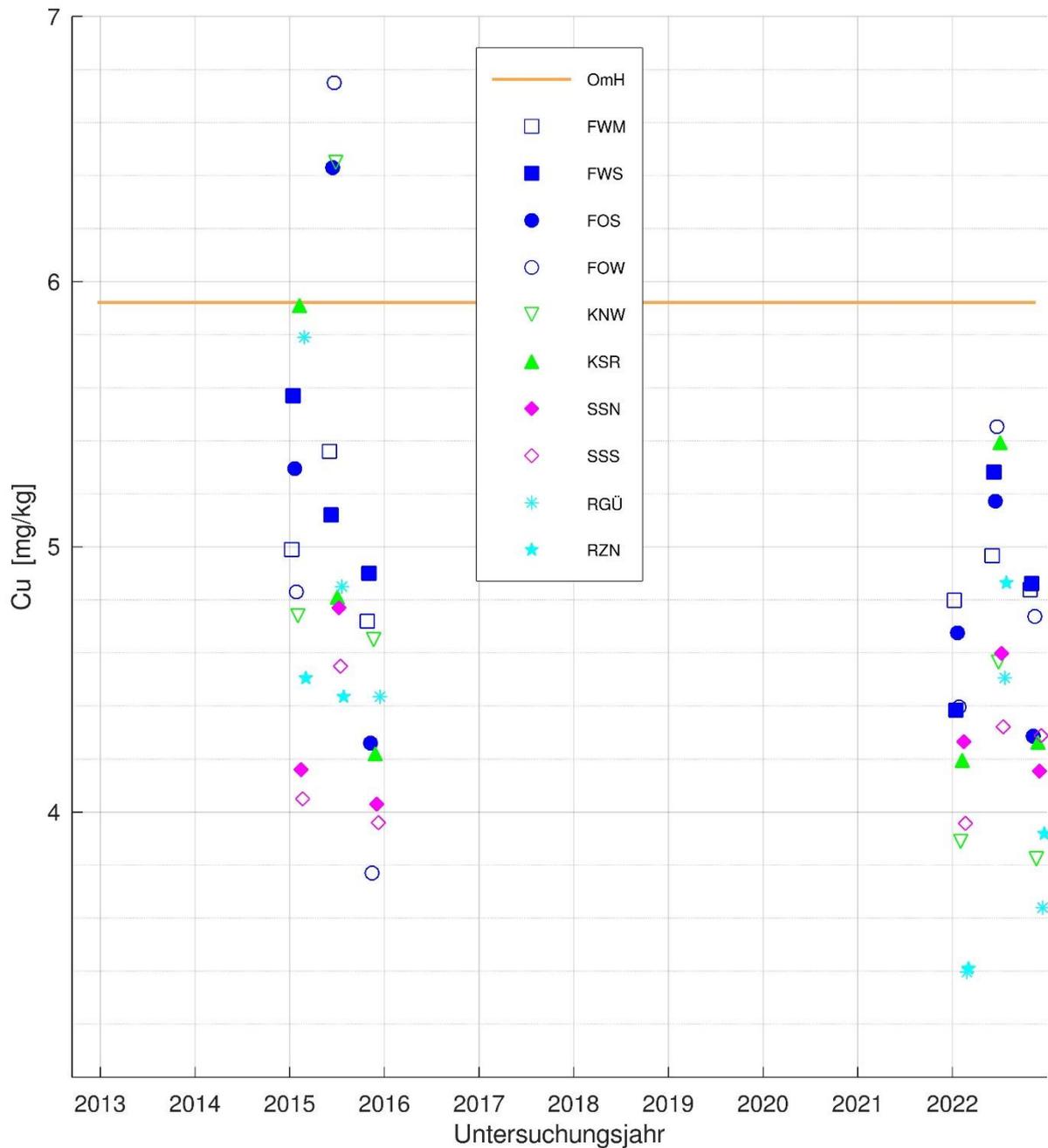
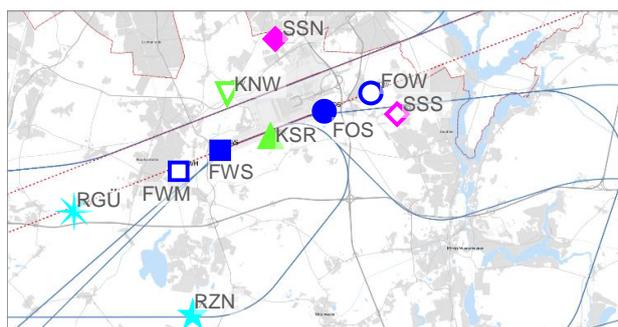


Bild 3.6-1: Kupfergehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \* naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

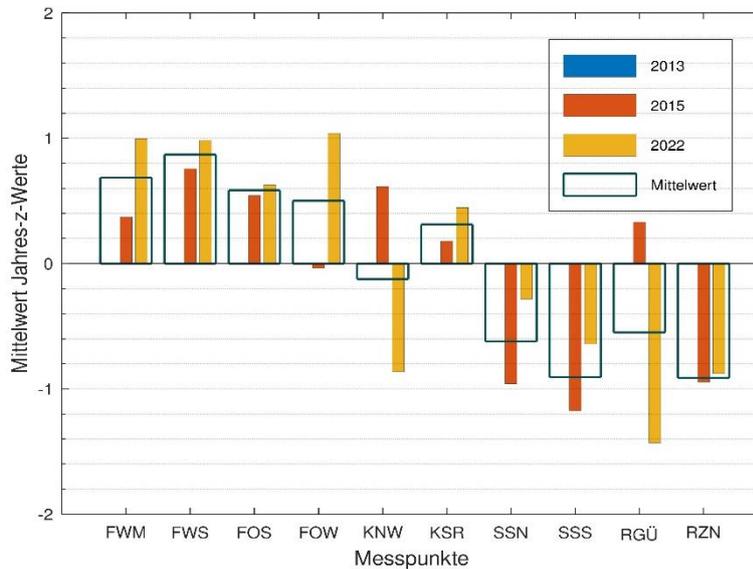


Bild 3.6-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Kupfer 2015 und 2022

Im Jahr 2015 bei Südbahnbetrieb waren die Kupferwerte an FWS und FOS schwach überdurchschnittlich (rote Balken: 0,5–1) sowie auch die Kupferwerte an KNW als Kontrollmesspunkt nördlich der Nordbahn. Im Jahr 2022, bei Betrieb beider Start-Landebahnen, waren die Chromwerte an FWS und an FWM und FOW als Gradientenmesspunkte im landwirtschaftlichen Umfeld mit einem Wert von 1 überdurchschnittlich (gelbe Balken). Nur schwach überdurchschnittlich waren FOS und KSR an der Südbahn (0,5). Die (schwach) überdurchschnittlichen Werte an **FWS und FOS lassen Verkehr und Flughafenbodenbetrieb als direkte Nahquellen vermuten, an FWM und FOW eher landwirtschaftliche Bodenbearbeitung als Überflug.**

Dieses Ergebnis wird durch das Biomonitoring des Flughafens München gestützt, das Kupfer aktuell mit Grünkohl statt Graskultur untersucht. Dort lagen die Kupfergehalte unterhalb OmH als Schwelle für Immissionseinflüsse, aber im relativen Messpunktvergleich waren Abstufungen erkennbar: Überdurchschnittliche Werte an 2 Messpunkten, deren Lage mit FWS und FOS vergleichbar ist, ließen Verkehr, Flughafenbetrieb und Aufwirbelung kupferhaltiger Stäube von den versiegelten Oberflächen des Flughafenareals als Quellen vermuten. Die nächstgelegenen landwirtschaftlichen Messpunkte, vergleichbar mit FWM und FOW, zeigten allerdings unterdurchschnittliche Kupferwerte so wie auch innerorts (Wäber und Pompe 2022).

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Chrom kann anhand OmH-Vergleich sowie anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.6-2).

- Der für Graskultur ermittelte OmH von 5,9 mg/kg TM ist niedriger als der überregionale OmH 8,8 mg/kg TM der Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 und stimmt gut mit dem aktuellen OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern 6,1 mg/kg TM überein.
- Der Wertebereich für Kupfer im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg überschneidet sich mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings des Flughafens München 2019 und im ländlichen Hintergrund in Bayern.

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet ist bezüglich Kupfer als unauffällig zu bewerten.

Tabelle 3.6-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Kupfer [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
5,9	3,4–5,5 3,8–6,8	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2022 2015
8,8		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 12%	2007–2016
-	2,1–5,5	Umgebung des Flughafens München	2019
6,1	2,7–4,7	<i>Mittelwerte</i> ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Einerseits ist Kupfer als Spurenelement lebensnotwendig, andererseits hat es ökotoxische Eigenschaften. Ein Futtermittel-Höchstgehalt ist für Kupfer nicht festgelegt. Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln reichen von 40–100 mg/kg, in Schaffuttermitteln von 10–20 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/38). Der strengste Beurteilungswert von 11,4 mg/kg umgerechnet auf 100% TM (Tabelle 2.5-2 und s.u BU-Wert Min.) ist auf Graskultur-Mittelwerte über die Vegetationsperiode zu beziehen. Die Graskultur-Mittelwerte – maximal mit 5,3 mg/kg TM an FOS und KNW 2015 – lagen somit unterhalb einer Schwelle, ab der eine Gefährdung zu vermuten wäre.

BU-Wert Min:	11,4	mg/kg TM
Max.Mittelwert	5,3	mg/kg TM

### 3.7 Nickel in Graskultur

Laut UBA geht etwa die Hälfte des freigesetzten Nickels (Ni) von der Energiegewinnung aus und rund ein Drittel vom Straßenverkehr (UBA 2022) – aus Katalysatoren und Motorverschleiß (BayLfU 2019).

Nickel war in allen Grasproben bestimmbar (BG 0,025 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Gehalte in einem engen niedrigen Bereich bei 1,7–3,2 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 lagen ebenfalls in engem Bereich, aber höher bei 3,8–7,3 mg/kg TM wie
- im Jahr 2013 bei 4,6–7,4 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.7).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Aufgrund der deutlich unterschiedlichen Ergebnisse 2022 gegenüber 2015 und 2013 konnte kein OmH für das Untersuchungsgebiet 2013–2022 ermittelt werden. Ersatzweise wird der OmH aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 herangezogen (Tabelle 2.5-1): 5,7 mg/kg TM, mit Standardunsicherheit  $u$  14 %. Bei den aus dem Jahr 2022 je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es zu keinen OmH-Überschreitungen. Im Jahr 2015 wurde der OmH je 1 Mal überschritten: in der 1. Serie an FWS und KSR und in der 2. Serie an FOW und KNW. Im Jahr 2013 wurde der OmH an FOS mehrheitlich überschritten (2 von 3 Werte) sowie je 1 Mal an FOS, KSR und RZN (Tabelle 3.7-1). Folglich lagen im Untersuchungsgebiet 2013 an FOS deutliche Immissionseinflüsse vor, ansonsten 2013 und 2015 temporäre, nicht relevante Immissionseinflüsse.

Tabelle 3.7-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Nickel zu den Messpunkten

Nickel in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	5,7 (VDI)	14%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	2	1	0	1	0	0	0	1

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die Differenzierung von Messpunktstufungen wird bei Nickel durch die unterschiedlichen Hintergrundgehalte 2022 gegenüber 2015 und 2013 erschwert (Bild 3.7-1): Pflanzen können Nickel in relevantem Maß aus dem Substrat aufnehmen, was bei der Durchführung und Bewertung berücksichtigt werden muss. Das 2022 verwendete Substrat wurde nach Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 (aktuelle Fassung 2020) so eingestellt, dass die Nickelaufnahme über die Wurzeln möglichst minimiert wurde. Das Vorgehen in früheren Jahren unterschied sich davon etwas, so dass Nickel-Hintergrundgehalte vergleichsweise höher lagen – wie auch in anderen Untersuchungen (Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022). **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), werden anhand der absoluten Nickelgehalte **nicht deutlich**.

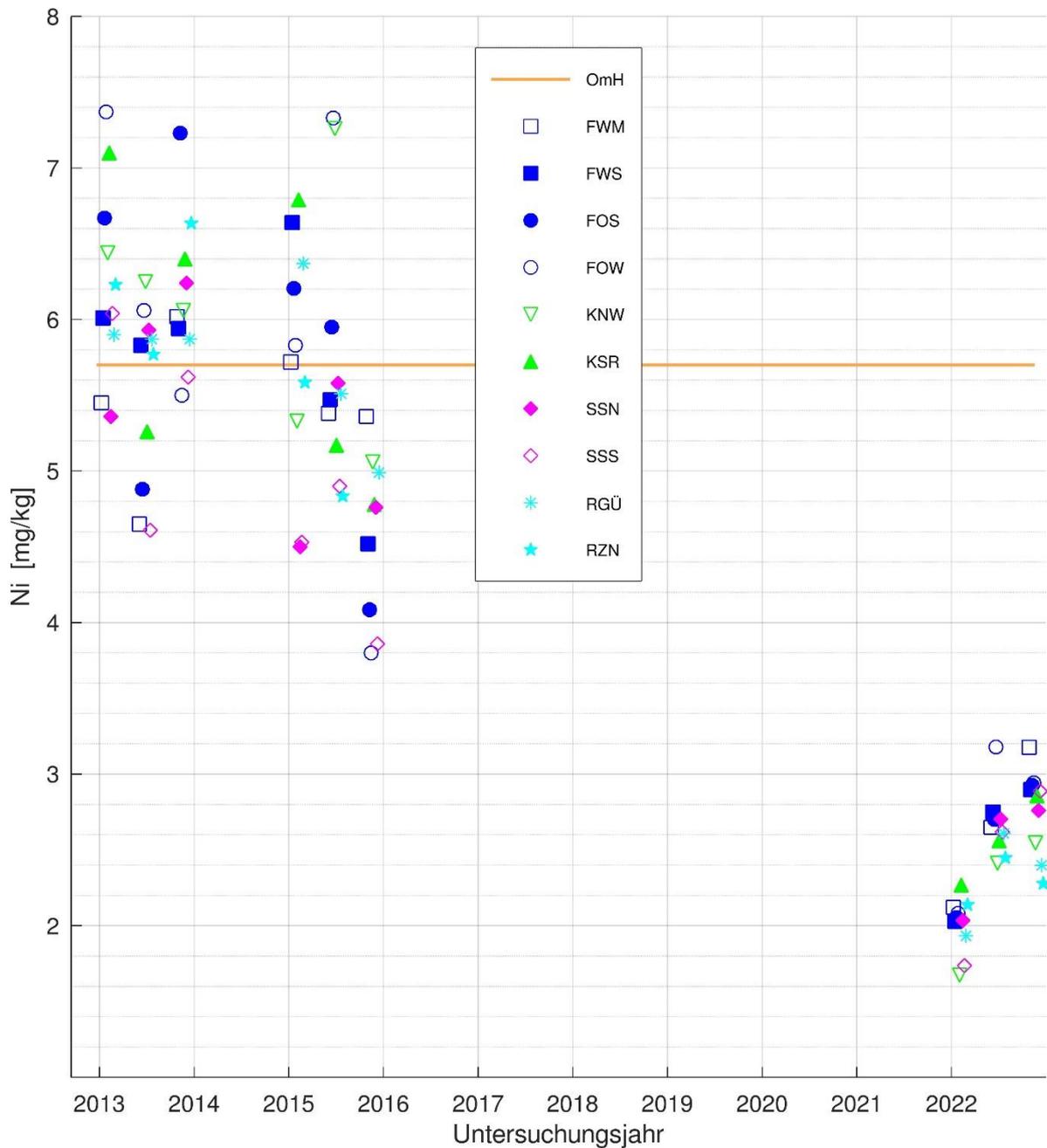
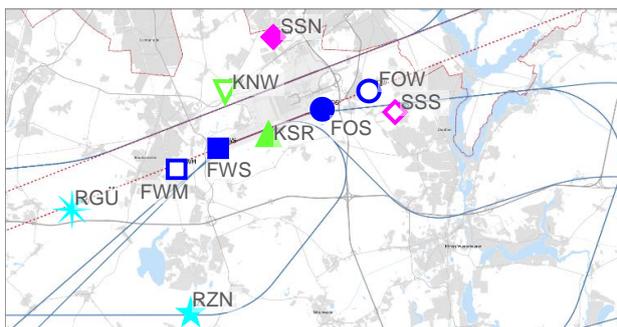


Bild 3.7-1: Nickelgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \* naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktstabufung und Quellenzuordnung

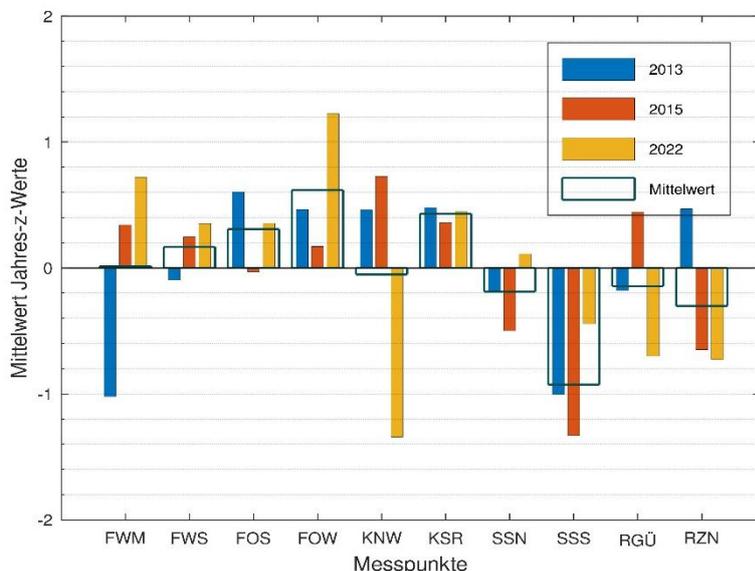


Bild 3.7-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Nickel 2013, 2015 und 2022

Anhand normierter Z-Werte in (vgl. Kapitel 2.5) können Schwankungen eliminiert und die Streuung relativiert werden, um im relativen Messpunktvergleich etwaige Unterschiede sichtbar zu machen. Der relative Messpunktvergleich für Nickel zeigt (Bild 3.7-2), dass im Mittel nur schwach überdurchschnittliche Werte an FOW auftraten, im Gradienten von der Südbahn nach Osten (Rahmen: 0,5–1), kaum aber KSR und FOS an der Südbahn. **Somit wird für Nickel keine Messpunktstabufung deutlich.** An SSS, innerorts in Schulzendorf, waren die Nickelwerte im Mittel schwach unterdurchschnittlich (-0,5 – -1). Die Differenzierung nach Jahren (farbige Balken in Bild 3.7-2) liefert keine Hinweise auf Nickelquellen.

Verkehr und Flughafenbetrieb kommen zwar als direkte, schwache Quellen von Nickel in Frage. Aber die Anreicherung über den Luftpfad ist sehr wahrscheinlich **durch die Aufnahme von Nickel aus dem Substrat überlagert.**

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Nickel kann anhand anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.7-2).

Tabelle 3.7-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Nickel [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
-	1,7–3,2 3,8–7,3 4,6–7,4	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2022 2015 2013
5,7		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 22%	2007–2016
5,4	1,2–5,3	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	2,4–4,5	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
5,4	3,9 / 2,8 / 4,9 / 2,9	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2013 / 2015 / 2020 / 2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

- Der Hintergrundwertebereich für Nickel im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg überschneidet sich mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings des Flughafens Leipzig/Halle und München sowie ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern.

Die Wirkungssituation im Hintergrundbereich des Untersuchungsgebiets ist bezüglich Nickel als unauffällig zu bewerten.

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Im menschlichen Organismus kommt Nickel als Spurenelement vor. In höheren Konzentrationen kann es allergische Hautreaktionen und die Reizung der Atemwege bewirken. Nickel sowie manche seiner Verbindungen sind als karzinogen (krebserzeugend) eingestuft. Ein Futtermittel-Höchstgehalt ist für Nickel nicht festgelegt. Maximale Immissions-Werte, die auf Mittelwerte über die Vegetationszeit zu beziehen sind, betragen in Rinderfuttermitteln und in Schaffuttermitteln 50 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/30). Der Beurteilungswert von 57 mg/kg umgerechnet auf 100% TM (s.u. BU-Wert Min und Tabelle 2.5-2) wurde auch von maximalen Graskultur-Mittelwerten 2013 an FOS, FOW, KNW und KSR weit unterschritten – eine Gefährdung ist folglich nicht zu vermuten:

BU-Wert Min:	57	mg/kg TM
Max.Mittelwert	6,3	mg/kg TM

### 3.8 Quecksilber in Graskultur

Quecksilber (Hg) stammt in partikel- und gasförmiger Form hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas zur Energie- und Wärmergewinnung (UBA 2022).

Quecksilber wurde 2013 nicht in Graskulturen untersucht. Ab 2022 war es in allen Grasproben analytisch bestimmbar (Bestimmungsgrenze BG 2022: 0,005 mg/kg TM, BG 2015: 0,01 mg/kg TM).

- Im Jahr 2022 lagen die Quecksilbergehalte in engem Bereich, nahe BG: 0,005–0,010 mg/kg TM.
- Im Jahr 2015 war die Wertespanne weiter: <0,010 bis 0,016 mg/kg TM (Werte kleiner BG sind mit deren halben Wert dargestellt; der Wert 0,08 mg/kg in der 3. Serie 2015 an FOS ergibt sich durch Mittelwertbildung der beiden Parallelmessungen; Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.8).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der ermittelte OmH beträgt gerundet 0,0165 mg/kg TM; Tabelle 2.5-1), die Standardunsicherheit  $u$  6 % (VDI 3857/2). Er traten keine OmH-Überschreitungen auf (Tabelle 3.8-1). Folglich wurde im Untersuchungsgebiet kein Immissionseinfluss identifiziert.

Tabelle 3.8-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Quecksilber zu den Messpunkten

Quecksilber in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	0,0165	6%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die Quecksilbergehalte lagen an den Messpunkten im Untersuchungsgebiet unterhalb der Schwelle für einen Immissionseinfluss, im Hintergrundbereich um 0,01 mg/kg TM. **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1), sind **nicht erkennbar**.

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung

Flughafenbetrieb und Verkehr mit Kraftstoffverbrennung stellen keine direkten Quellen von Quecksilber dar. Trotzdem wird der Versuch unternommen, anhand normierter Z-Werte (in (vgl. Kapitel 2.5) Schwankungen zu eliminieren und die Streuung zu relativieren, um etwaig unterschiedliche Anreicherungen sichtbar zu machen. Das Ergebnis des relativen Messpunktvergleichs für Quecksilber ist in Bild 3.8-2 dargestellt.

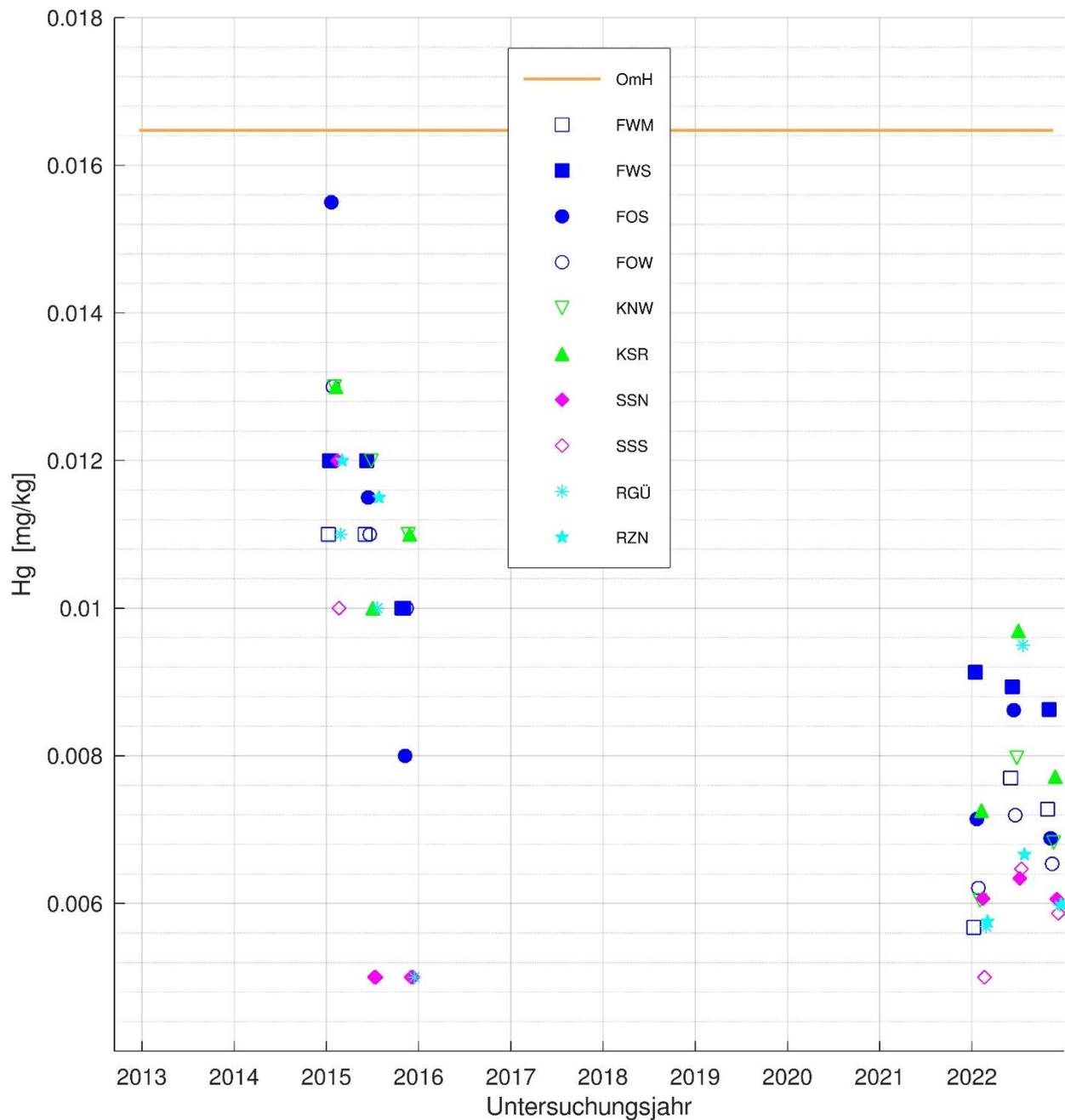
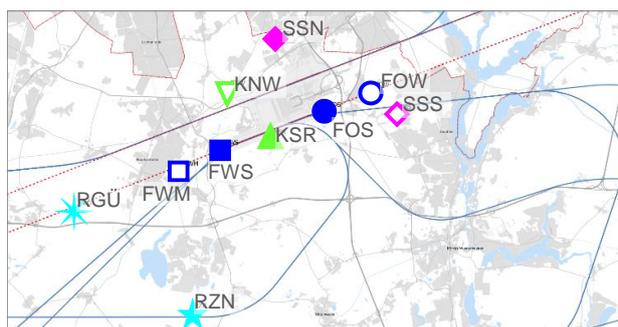


Bild 3.8-1: Quecksilbergehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \* naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

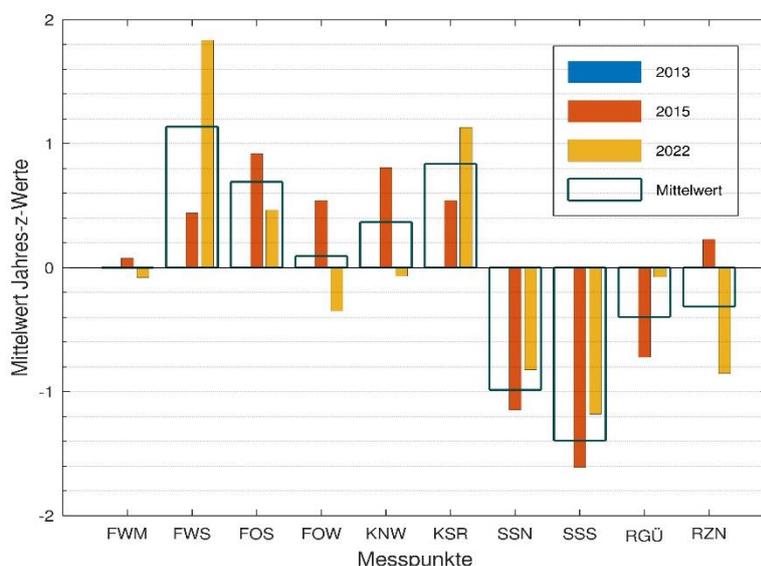


Bild 3.8-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Quecksilber 2015 und 2022

Der relative Messpunktvergleich zeigt (Bild 3.8-2), dass an FWS, FOS und KSR, betriebsnah an der Südbahn des Flughafens, im Mittel schwach überdurchschnittliche Quecksilberwerte (Rahmen: 0,5–1) auftraten. Innerorts in Schönefeld und Schulzendorf, an SSN schwach und an SSS deutlich, traten im Mittel unterdurchschnittliche Werte (-0,5 – -1 bzw. > -1) auf.

Differenziert nach Jahren ergibt sich folgendes Ergebnis: im Jahr 2015 nur schwach überdurchschnittliche Werte an FOS, FOW und KNW (rote Balken: 0,5–1); im Jahr 2022 hingegen deutlich überdurchschnittliche Werte an FWS, gefolgt von KSR als Kontrollmesspunkt, der 2022 unmittelbar an die Südbahn versetzt war.

Es wäre möglich, dass quecksilberhaltige Stäube **aus anderen Quellen** auf die versiegelten Flughafenflächen deponiert werden und der **Flughafenbetrieb im Nahbereich als indirekte Quelle** durch Staubaufwirbelung und Staubverfrachtungen wirkt.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Quecksilber kann anhand OmH-Vergleich sowie anhand anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.8-2):

Tabelle 3.8-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Quecksilber [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
0,016	0,005–0,010	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	<0,010–0,016	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
0,011		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 6%	2007–2016
-	<0,005–0,010	Umgebung des Flughafens München (ab 2020 nicht untersucht)	2019
-	<0,005–0,010; 0,016*	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
0,009	0,0029 – 0,0065	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

\*\* : einmaliger Ausnahmewert; (aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

- Der für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2015–2022 ermittelte OmH von 0,016 mg/kg TM ist höher als der überregionale OmH 0,011 mg/kg TM der Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 und der niedrige OmH für den aktuellen ländlichen Hintergrund in Bayern 0,009 mg/kg TM.

- Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg lag 2022 im Bereich der Vergleichs-Biomonitorings im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020, und der Umgebung des Flughafens München 2019. Der Wertebereich 2015 lag teilweise höher. Als Ursache kommen der Flug- und Bodenverkehr hierbei nicht als direkte Quellen in Frage.

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet ist bezüglich Quecksilber als unauffällig und im aktuellen Jahr 2022 als niedrig zu bewerten.

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Aufgrund der ökotoxischen Bedeutung und Anreicherung über die Nahrungskette ist für Quecksilber ein Höchstgehalt von 0,10 mg/kg bezogen auf 88 % TM gemäß Futtermittelverordnung (FuttMV) festgesetzt. Die Richtlinie VDI 2310 Blatt 33 definiert Maximale Immissions-Werte als langfristige Empfehlungswerte: in Rinderfuttermitteln 0,10 mg/kg und in Schaffuttermitteln 0,05 mg/kg bezogen auf 88 % TM. Der Futtermittel-Höchstgehalt von umgerechnet 0,114 mg/kg TM (Tabelle 2.5-2) wurde vom maximalen Einzelwert in Graskulturen, der 2015 an FOS 0,016 mg/kg betrug, weit unterschritten:

Höchstgehalt:	0,114	mg/kg TM
Max.Einzelwert	0,016	mg/kg TM

Die mittleren Quecksilbergehalte über die Vegetationszeit, maximal mit 0,012 mg/kg TM an FOS, KNW und RZN 2015 unterschritten den unteren Wert für Maximale Immissions-Werte in Schaffuttermitteln von umgerechnet 0,057 mg/kg TM ebenfalls deutlich (s. u.: BU-Wert Min).

BU-Wert Min:	0,057	mg/kg TM
Max.Mittelwert	0,012	mg/kg TM

Nur orientierend kann ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) 2018/73): 0,01 mg/kg bezogen auf Frischmasse. Der höchste, im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Quecksilbergehalt an FOS 2015 beträgt umgerechnet auf Frischmasse rund 0,003 mg/kg FM. Er würde damit nur auf 29 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel liegen.

Blattkohl-Höchstgehalt	0,010	mg/kg Frischmasse
Max.Einzelwert FM	0,003	mg/kg Frischmasse

### 3.9 Zink in Graskultur

Zink (Zn) gilt als Indikator für den allgemeinen Staubeintrag. Anthropogene Quellen können Korrosionsschutz, Reifen, Bremsen und Motoröl, Straßenbelag und Düngemittel in der Landwirtschaft sein (Hüffmeyer 2007, BayLfU 2019). Laut Umweltbundesamt sind Zinkemissionen ganz überwiegend verkehrsbedingt (UBA 2022).

Zink war in allen Grasproben analytisch bestimmbar (BG 0,5 mg/kg TM) und lag in sehr engem Bereich:

- im Jahr 2022 bei 19–30 mg/kg TM,
- im Jahr 2015 vergleichbar bei 20–35 mg/kg TM,
- im Jahr 2013 ebenfalls, bei 17–28 mg/kg TM (Einzelwertetabellen und -grafiken: Kap. 10.9).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH konnte für das Untersuchungsgebiet mit 32 mg/kg TM ermittelt werden, die Standardunsicherheit  $u$  aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 beträgt 14 %. (Tabelle 2.5-1). Bei den pro Jahr je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es zu keiner OmH-Überschreitung (Tabelle 3.9-1).

Tabelle 3.9-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Zink zu den Messpunkten

Zink in Graskultur	OmH [mg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	32	14%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

**Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit dem Flughafenbetrieb und den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 3.9-1 und Bild 8.1-1), **werden nicht erkennbar**. Auch beim Graskultur-Biomonitoring im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 lag die ermittelte Wirkungssituation **im Hintergrundbereich** und eine Messpunktastufung wurde anhand absoluter Zinkgehalte nicht sichtbar (Wäber und Pompe 2020).

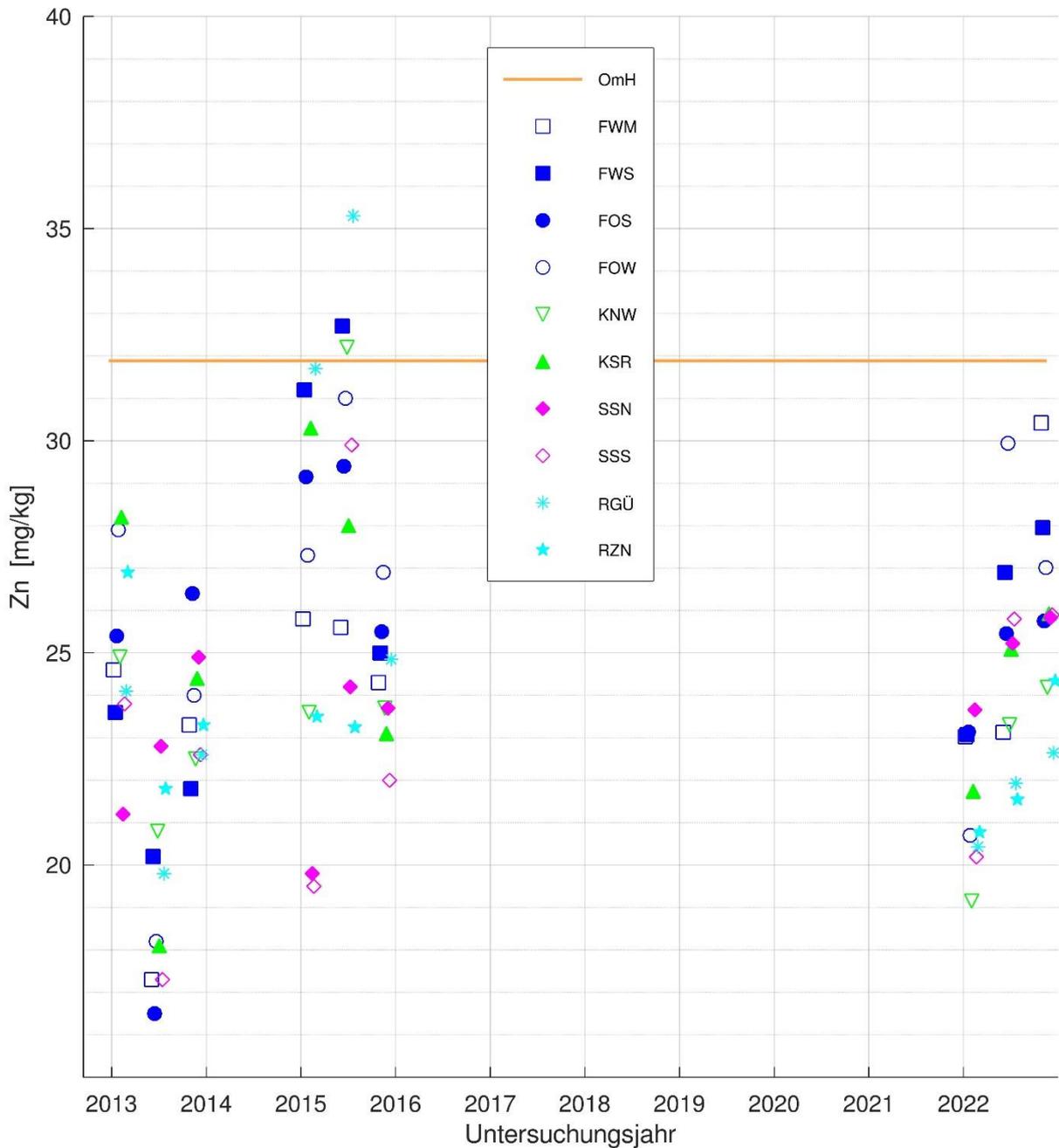
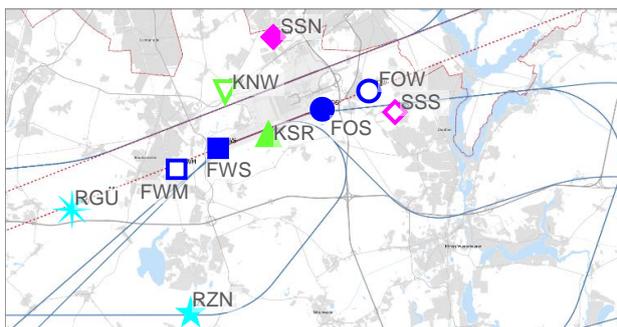


Bild 3.9-1: Zinkgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

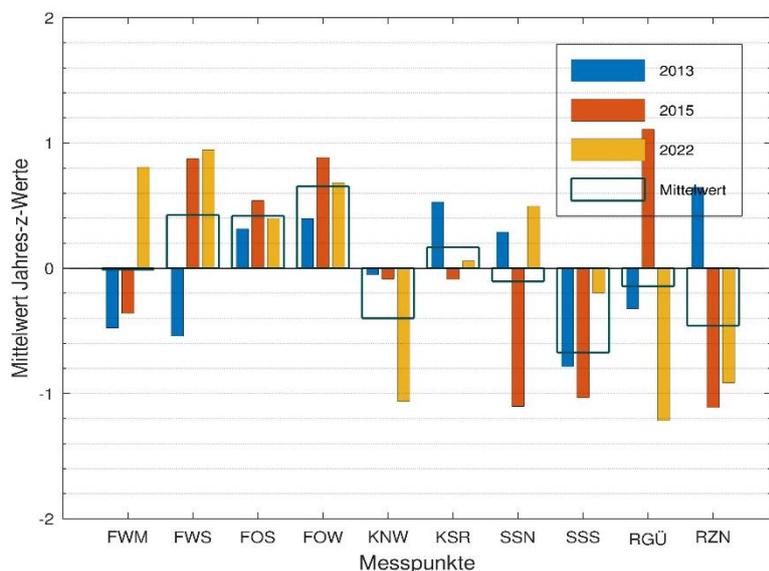


im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blasse orangefarbene Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★☆ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### Messpunktstabufung und Quellenzuordnung



Anhand normierter Z-Werte in (vgl. Kapitel 2.5) wurde versucht im relativen Messpunktvergleich etwaige Unterschiede sichtbar zu machen. Bild 3.9-2 zeigt, dass nur an FOW im Mittel schwach überdurchschnittliche Werte erreicht wurden (Rahmen: 0,5–1), nicht aber an FWS und FOS, Betriebsnahe am Flughafen. An SSS in Schulzendorf traten im Mittel schwach unterdurchschnittliche Werte (-0,5 – -1) auf. Bei der getrennten Betrachtung nach Jahren – 2013 (blaue Balken), 2015 (rot), 2022 (gelb) – zeigten sich teilweise Unterschiede: Im Jahr 2013 waren die Zinkwerte an FOW mit <0,5 nicht überdurchschnittlich, dafür an KSR und RZN.

Bild 3.9-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Zink 2013, 2015, 2022

Im Jahr 2015 traten, neben FOW, auch an FWS am Westende der Südbahn und am landwirtschaftlichen Messpunkt RGÜ (schwach) überdurchschnittliche Zinkwerte auf und im Jahr 2022 traten, neben FOW, auch an FWM, FWS und mit 0,5 schwächer an SSN überdurchschnittliche Zinkwerte auf. **Für Zink wird kein Zusammenhang mit dem Flugbetrieb sichtbar**, auch wenn Flughafenbetrieb und Verkehr theoretisch Quellen darstellen, da die Messpunkte FOS und KSR 2015 und 2022 unterhalb der Erwartung blieben.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich Zink kann anhand OmH und anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.9-2):

Tabelle 3.9-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Zink [mg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
32	19–30	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	20–35	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	17–28	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
41		VDI 3857 Blatt 2 Standardunsicherheit $u$ 14%	2007–2016
-	14-32	Umgebung des Flughafens München (ab 2020 nicht untersucht)	2019
-	17–28	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
37	15–28	Mittelwerte ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern	2012–2021

(aus: VDI3857/2 2021, Wäber und Pompe 2022, Wäber und Pompe 2020, BayLfU 2022 v. o. n. u.)

- Der für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH von 32 mg/kg TM ist niedriger als der überregionale OmH 41 mg/kg TM der Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 und geringfügig niedriger als der OmH für den aktuellen ländlichen Hintergrund in Bayern 37 mg/kg TM.
- Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg stimmt mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020, des Flughafens München 2019 sowie des ländlichen Hintergrunds in Bayern überein.

Insgesamt ist die Wirkungssituation bezüglich Zink als unauffällig niedrig zu bewerten.

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Für den Menschen ist Zink einerseits ein wichtiges Spurenelement, in hohen Konzentrationen kann es andererseits negativ auf Gewässer und Ökosysteme wirken (Hüffmeyer 2007). Richtlinie VDI 2310 Blatt 31 definiert einen Maximalen Immissions-Wert zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere (Tabelle 2.5-2). Die mittleren Zinkgehalte über die Vegetationszeit, maximal mit 31 mg/kg TM an RGÜ 2015, unterschritten den unteren Wert der Spanne für Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln von umgerechnet 341 mg/kg TM weit (s. u.: BU-Wert Min). Von einer Gefährdung ist nicht auszugehen.

BU-Wert Min:	341	mg/kg TM
Max.Mittelwert	31	mg/kg TM

### 3.10 Summe der 16 PAK nach EPA in Graskultur

Verkehrsabgase und der Flughafenbetrieb stellen direkte, kontinuierliche PAK-Quellen mit rund 2 % Anteil an den Gesamtemissionen dar (UBA 2016). Hausbrand (Betrieb häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen zu Heizzwecken) stellt als saisonale Quelle mit 80 % Anteil die Hauptquelle an den Gesamtemissionen dar.

Neben der Summe der 16 untersuchten EPA-PAK (16 PAK), werden die Summe der schwerer flüchtigen 12 PAK (Kapitel 3.11), die Summe PAK4 (Kapitel 3.12) sowie Benzo[a]pyren (BaP) (Kapitel 3.13) betrachtet. Die Einzelwertetabellen und -grafiken zu PAK finden sich in Kapitel 10.10. Wie bei den Metallen kam es wegen Vandalismus zu einem Totalausfall an RZN in der 3. Serie 2015.

Von den 16 PAK-Verbindungen lag Dibenzo[ah]anthracen in 3 von 96 Fällen unterhalb der Bestimmungsgrenze 0,1 µg/kg TM. Diese Ergebnisse gingen mit 0,05 µg/kg TM in die Summen der 16 PAK (und 12 PAK) ein. Die Summen der 16 PAK lagen:

- im Jahr 2022 bei 21–50 µg/kg TM,
- im Jahr 2015 vergleichbar bei 26–47 µg/kg TM,
- im Jahr 2013 in den Serie 2 und 3 – im Juni und Juli – vergleichbar bei 27–49 µg/kg TM,
- aber im Jahr 2013 in Serie 1 – im Mai – tendenziell höher bei 46–76 µg/kg TM.

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH wurde aus den Hintergrunddaten ohne 1. Serie 2013 für das Untersuchungsgebiet mit 48 µg/kg TM ermittelt. Als Standardunsicherheit  $u$  wird für PAK gemäß Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 33,3 % angewendet (Tabelle 2.5-1). Bei den pro Jahr je 3 Messwerten pro Messpunkt (MP) kam es nur zu einer OmH-Überschreitung: in Serie 1 im Mai 2013 an FOW (Tabelle 3.10-1).

Tabelle 3.10-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für 16 PAK zu den Messpunkten

16 PAK in Graskultur	OmH [µg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	48	33,3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Bei den tendenziell höheren 16 PAK-Gehalten in der 1. Serie 2013 (nicht an FWM) ist von einem überregionalen temporären Einfluss ist auszugehen: vermutlich saisonalem Hausbrand, aufgrund der vergleichsweise kühlen Witterung im Mai 2013 (die Graskulturexpositionen 2015 und 2022 starteten mit Serie 1 jeweils im Juni).

Die ermittelte Wirkungssituation lag insgesamt im Hintergrundbereich und eine Messpunktastufung wurde anhand absoluter Gehalte nicht sichtbar. **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit dem Flughafenbetrieb und den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 3.10-1 und Bild 8.1-1), **werden nicht erkennbar**.

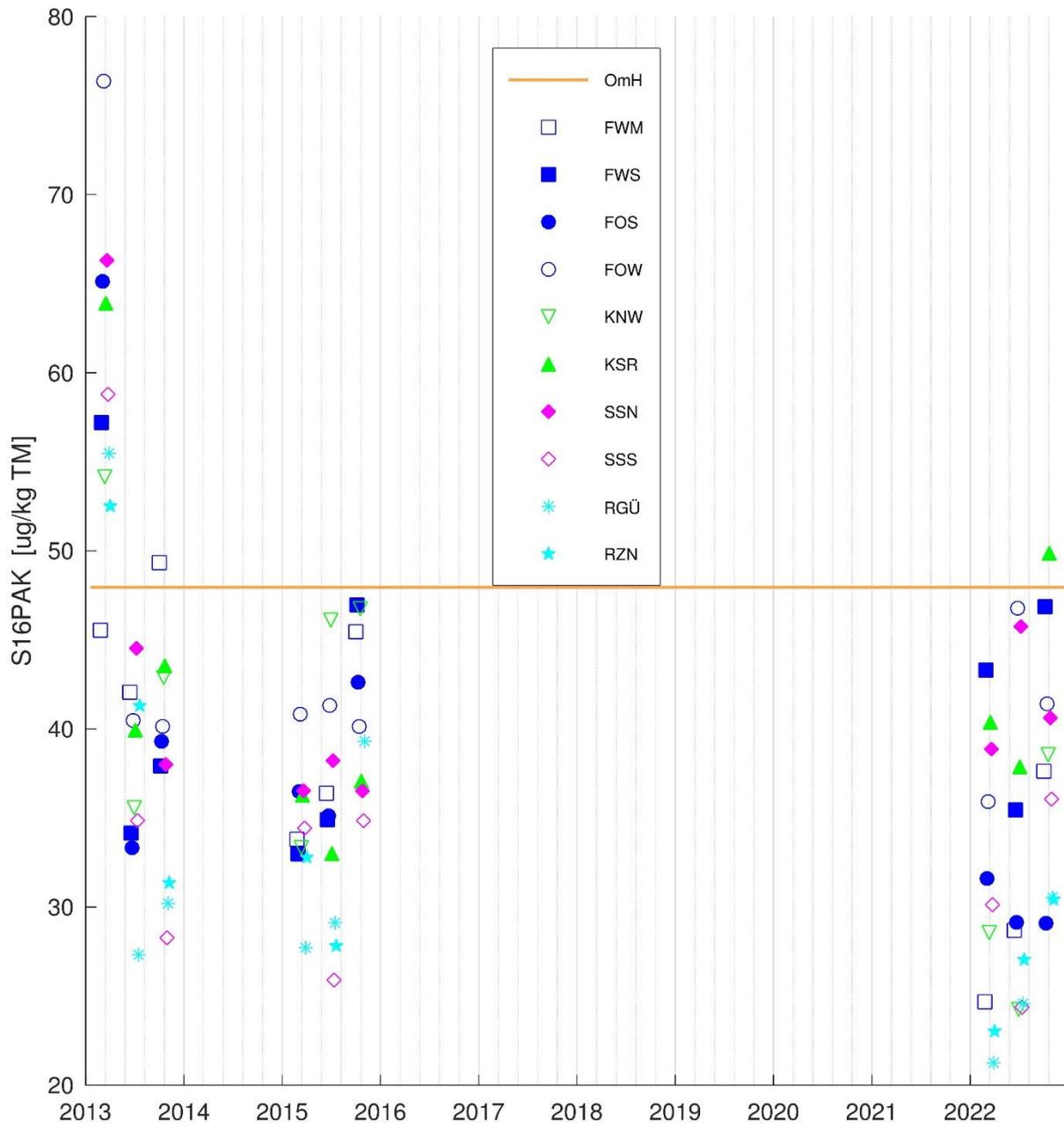
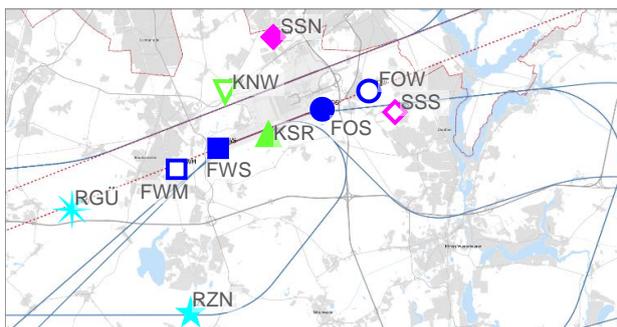


Bild 3.10-1: 16 PAK-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

**Messpunktstabufung und Quellenzuordnung:**

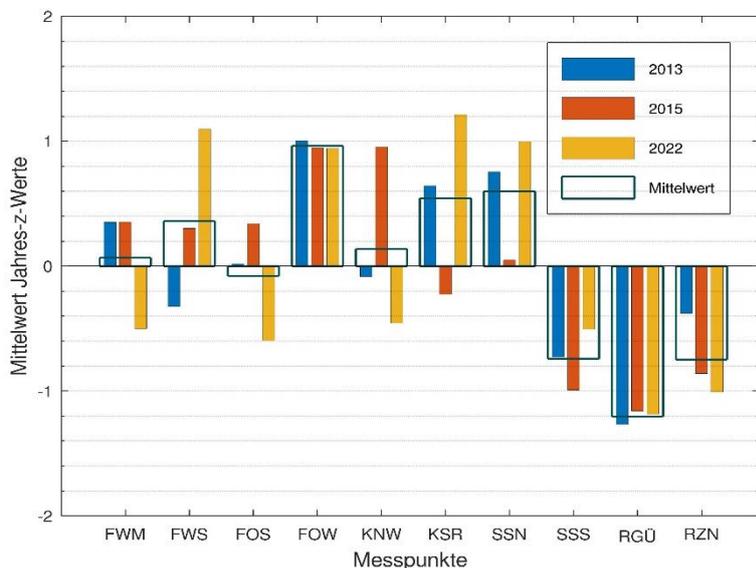


Bild 3.10-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für 16 PAK 2013, 2015, 2022

Anhand normierter Z-Werte in (vgl. Kapitel 2.5) wurde versucht im relativen Messpunktvergleich etwaige Unterschiede sichtbar zu machen. Bild 3.10-2 zeigt, dass nur an FOW überdurchschnittliche Werte um 1 auftraten, nicht aber an FOS, betriebsnah am Flughafen. An SSS in Schulzendorf und RZN traten schwach unterdurchschnittliche Werte auf (-0,5 – -1), deutlicher an RGÜ, wie RZN naturnah landwirtschaftlich geprägt (> -1).

Bei der getrennten Betrachtung nach Jahren zeigen sich folgende Unterschiede: 2013 (blaue Balken) neben FOW auch schwach überdurchschnittliche Werte (0,5–1) an KSR, nahe der nicht betriebenen Südbahn und an SSN, innerorts in Schönefeld.

Im Jahr 2015 (rot) traten schwach überdurchschnittliche Werte, neben FOW, an KNW bei Waßmannsdorf auf, im Jahr 2022 (gelb) hingegen, neben FOW, an FWS, KSR und SSN – nicht aber an FOS, sondern dort schwach unterdurchschnittliche Werte. Damit wird **für 16 PAK kein Zusammenhang mit dem Flugbetrieb deutlich**, auch wenn Flughafenbetrieb und Verkehr theoretisch PAK-Quellen sind. An FOW, an dem nur ein Immissionseinfluss über OmH identifiziert wurde, lagen die PAK-Gehalte in Graskulturen im Messpunktvergleich insgesamt im oberen Wertebereich. Hier könnten weiträumiger schwach wirkende Quellen wie Verkehr und Flugverkehr, Gewerbe und Abdrift aus dem Großraum Berlin beitragen.

**Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:**

Tabelle 3.10-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 16 PAK [µg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
48	21–50	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	26–47	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	27–49; Mai: 46–76	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
26*/26**	10–30	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	14–36	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
44*/44**	9–48*/13–46**	ländliche Hintergrundmesspunkte in Bayern	2005–2014
320	-	Hintergrund in Nordrhein-Westfalen	2010–2019

\*: OmH oder Wert Mischprobe Mai–Juli; \*\*: OmH oder Wert August; (aus: Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2017, Hombrecher 2021, Wäber und Pompe 2020 v. o. n. u.)

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich der Summe der 16 untersuchten EPA-PAK kann anhand OmH und anderer Biomonitorings für Graskultur eingeordnet werden (Tabelle 3.10-2):

- Der für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH von 48 µg/kg TM ist um ein Vielfaches niedriger als der OmH 320 µg/kg TM für NRW. Er ist in der Höhe vergleichbar mit dem OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern 44 µg/kg TM, aber höher als der OmH für das Umland des Flughafens München 26 µg/kg TM.
- Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg überschneidet sich – mit Ausnahme der tendenziell höheren, vermutlich hausbrandbeeinflussten 1. Serie im Mai 2013 – mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings im Umland der Flughäfen München 2017–2021 und Leipzig/Halle 2020 sowie dem ländlichen Hintergrund in Bayern 2005–2014.

Insgesamt ist die Wirkungssituation bezüglich 16 PAK als unauffällig zu bewerten.

### **Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung**

Beurteilungswerte für eine Gefährdungsabschätzung liegen für die Summen der 16 PAK nicht vor.

### 3.11 Summe der 12 schwerer flüchtigen PAK in Graskultur

Die Ergebnisse für die 12 PAK fielen ähnlich aus wie für 16 PAK (Kapitel 3.10). Die Gehalte (Einzelwertetabellen in Kapitel 10.10 ff) lagen:

- im Jahr 2022 bei 16–42 µg/kg TM,
- im Jahr 2015 vergleichbar bei 20–40 µg/kg TM,
- im Jahr 2013 in den Serie 2 und 3 – im Juni und Juli – vergleichbar bei 22–43 µg/kg TM,
- aber im Jahr 2013 in Serie 1 – im Mai – tendenziell höher bei 39–70 µg/kg TM.

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH wurde analog 16 PAK ermittelt zu 41 µg/kg TM und mit Standardunsicherheit  $u$  33,3 % angewendet (VDI 3857/2; Tabelle 2.5-1). Nur eine OmH-Überschreitung trat auf: im Mai 2013 an FOW, wie für 16 PAK in Serie 1 (Tabelle 3.11-1, vgl. Tabelle 3.10-1).

Tabelle 3.11-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für 12 PAK zu den Messpunkten

12 PAK in Graskultur	OmH [µg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	41	33,3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Wie für 16 PAK (Kapitel 3.10) zeigen sich auch für 12 PAK in der 1. Serie 2013 (nicht an FWM) tendenziell höhere Werte, die auf saisonalen Hausbrand als überregionalen Einfluss hindeuten.

Die ermittelte Wirkungssituation lag insgesamt im Hintergrundbereich. **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit dem Flughafenbetrieb und den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 3.11-1 und Bild 8.1-1), **werden nicht erkennbar**.

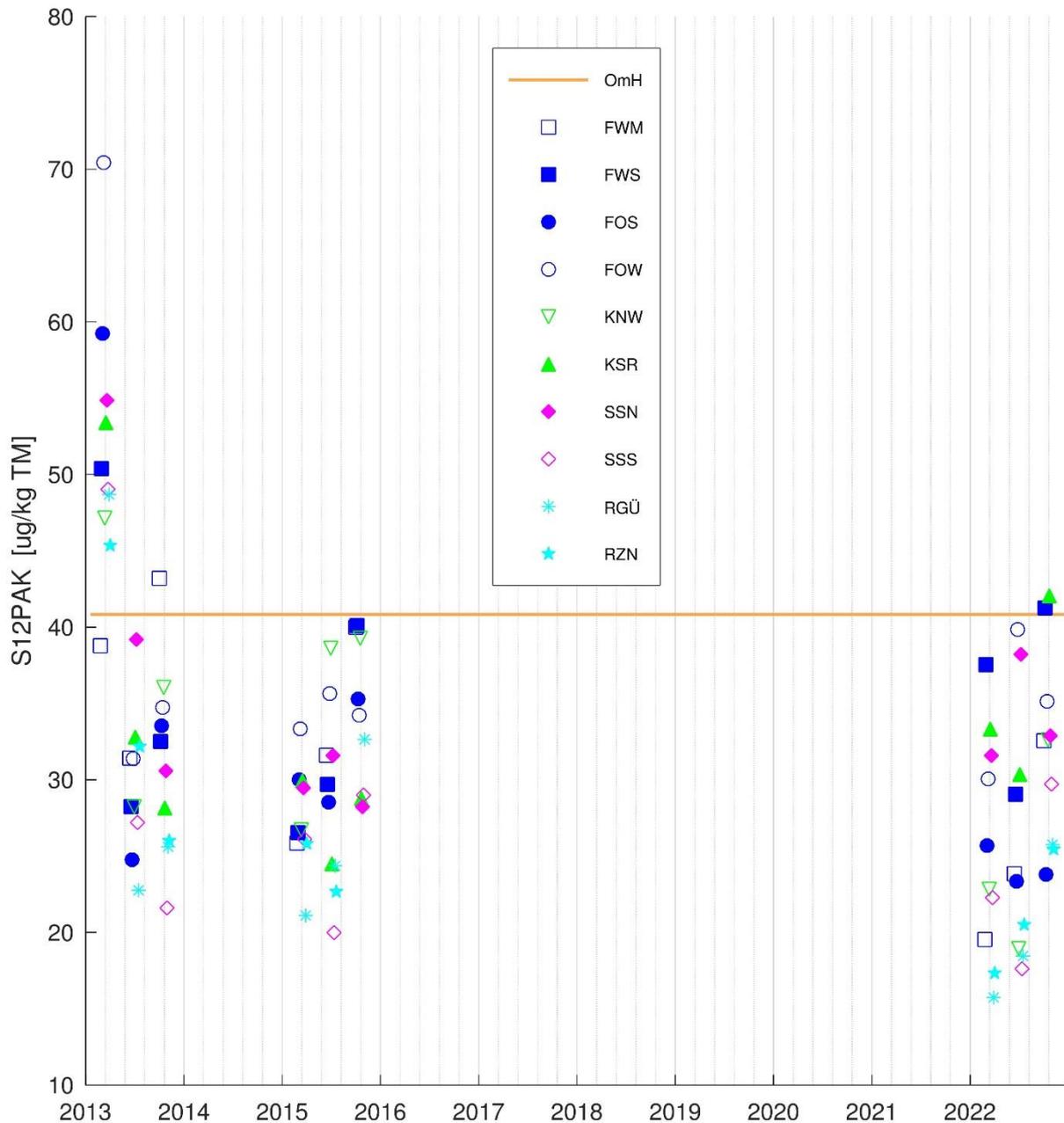
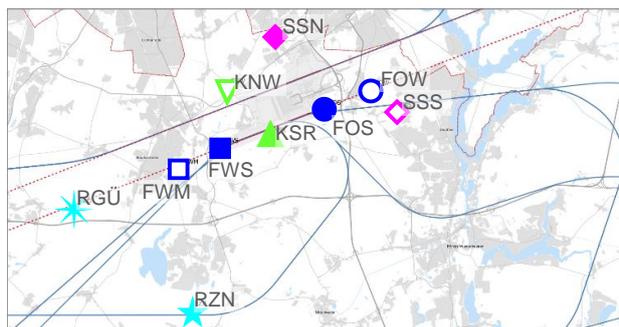


Bild 3.11-1: 12 PAK-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

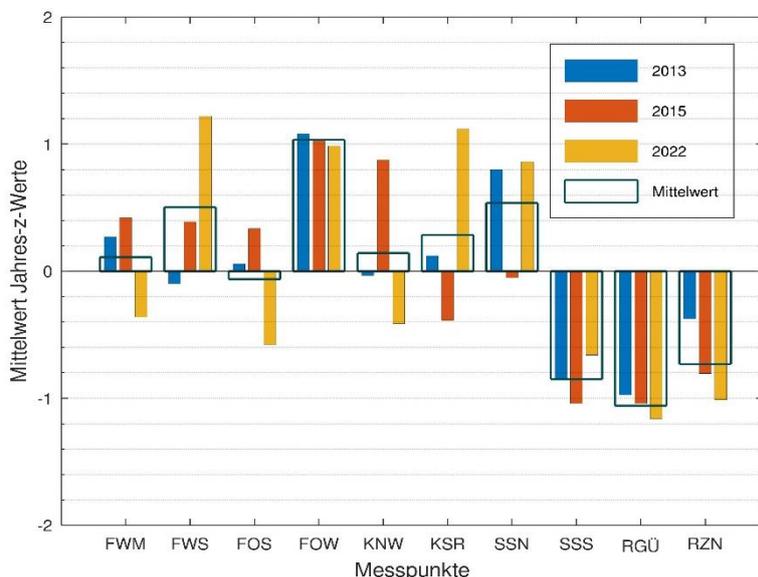


im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★☆ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

**Messpunktstabufung und Quellenzuordnung:**



Die 12 PAK lagen im Hintergrundbereich. Im relativen Messpunktvergleich (Bild 3.11-2, vgl. Kapitel 2.5) zeigen sich nur an FOW insgesamt überdurchschnittliche Werte um 1 (Rahmen) und schwächer an SSN und KSR (0,5–1). An SSS in Schulzendorf, innerorts, sowie an RZN und RGÜ, naturnah landwirtschaftlich geprägt, traten (schwach) unterdurchschnittliche Werte auf (-0,5 – -1).

Bei der getrennten Betrachtung nach Jahren zeigen sich – neben FOW – auch schwach überdurchschnittliche Werte für 2013 (blaue Balken) an SSN innerorts in Schönefeld und für 2015 (rot) an KNW bei Waßmannsdorf.

Bild 3.11-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für 12 PAK 2013, 2015, 2022

Im Jahr 2022 traten überdurchschnittliche Werte um 1 (gelb), neben FOW, an FWS, KSR und SSN auf – nicht aber an FOS, sondern dort analog 16 PAK schwach unterdurchschnittliche Werte. Damit wird auch für 12 PAK kein Zusammenhang mit dem Flugbetrieb deutlich. Die 12 PAK an FOW lagen – wie für 16 PAK – im Messpunktvergleich im oberen Wertebereich, wozu weiträumiger schwach wirkende Quellen wie Flugverkehr, Verkehr, Gewerbe und Abdrift aus dem Großraum Berlin beitragen haben könnten.

**Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:**

Tabelle 3.11-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 12 PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
41	16–42	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	20–40	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	22–43; Mai: 39–70	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
21*/21**	5–20	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	rund 11–29	12 PAK abgeleitet aus Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
*/29**	7–39*/9–35**	ländliche Hintergrundmesspunkte in Bayern	2005–2014
-	-	Hintergrund in Nordrhein-Westfalen	2010–2019

\*: OmH oder Wert Mischprobe Mai–Juli; \*\*: OmH oder Wert August; (aus: Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2017, Hombrecher 2021, Wäber und Pompe 2020 v. o. n. u.)

Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich der Summe der 12 schwerer flüchtigen PAK ist analog 16 PAK als unauffällig zu bewerten (Tabelle 3.11-2):

- Der für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH von 41 µg/kg TM ist – unter Berücksichtigung der Standardunsicherheit  $u$  33,3% – in der Höhe in etwa mit dem OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern von 29 µg/kg TM vergleichbar, aber höher als der OmH für das Umland des Flughafens München von 21 µg/kg TM (für NRW liegt kein OmH zum Vergleich vor).
- Der Wertebereich im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg überschneidet sich – mit Ausnahme der tendenziell höheren Werte der 1. Serie im Mai 2013 – mit den Wertebereichen der Graskultur-Biomonitorings im Umland der Flughäfen München 2017–2021 und Leipzig/Halle 2020 und im ländlichen Hintergrund in Bayern 2005–2014.

#### **Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung**

Beurteilungswerte für eine Gefährdungsabschätzung liegen für die Summen der 12 PAK nicht vor.

### 3.12 PAK4 in Graskultur

Die Gehalte der Einzelverbindungen Benzo[a]pyren, Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen und Chrysen, die die Summe PAK4 bilden, lagen allesamt über der Bestimmungsgrenze. Die PAK4-Gehalte in Graskultur (Einzelwertetabellen in Kapitel 10.10 ff) lagen:

- im Jahr 2022 bei 3,9–11,9 µg/kg TM,
- im Jahr 2015 nur geringfügig höher bei 5,5–15,9 µg/kg TM,
- im Jahr 2013 in den Serie 2 und 3 – im Juni und Juli – vergleichbar bei 6,7–18,7 µg/kg TM und
- auch in der 1. Serie im Mai 2013 nicht tendenziell höher, bei 7,1–23,7 µg/kg TM.

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH wurde analog 16 PAK und 12 PAK ermittelt zu 15,9 µg/kg TM und mit Standardunsicherheit  $u$  33,3 % angewendet (VDI 3857/2; Tabelle 2.5-1). Anders als für 16 PAK und 12 PAK trat auch an FOW keine OmH-Überschreitung in Serie 1 im Mai 2013 auf (Tabelle 3.12-1).

Tabelle 3.12-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für PAK4 zu den Messpunkten

PAK4 in Graskultur	OmH [µg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	15,9	33,3%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die für PAK4 ermittelte Wirkungssituation lag sämtlich im Hintergrundbereich. Anders als für 16 PAK und für 12 PAK (Kapitel 3.10 und 3.11) zeigten sich für PAK4 im Mai 2013 keine tendenziell höheren Werte. Anhand der PAK4-Absolutgehalte in Graskulturen werden **ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit dem Flughafenbetrieb und den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 3.12-1 und Bild 8.1-1), **nicht erkennbar**.

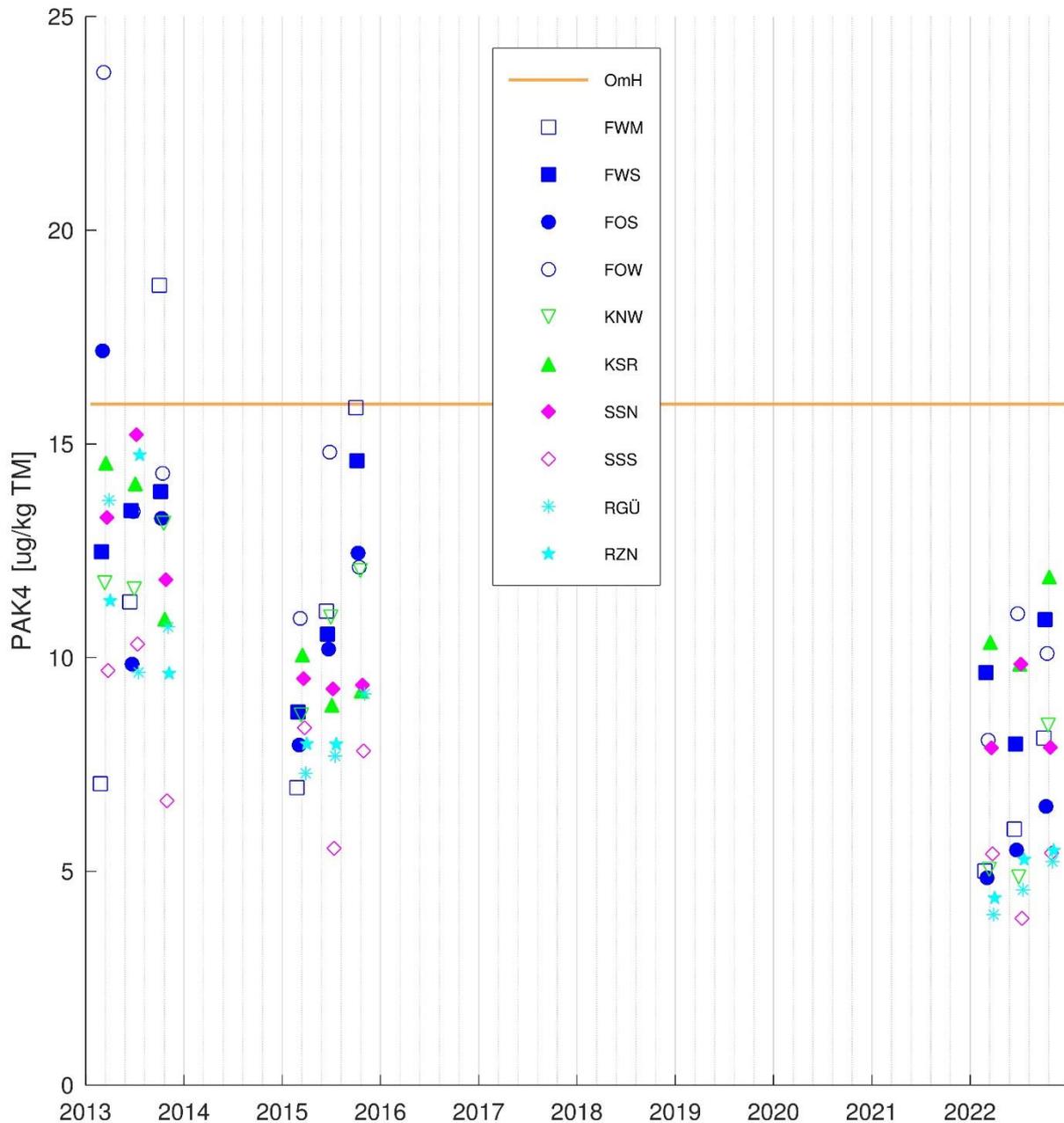
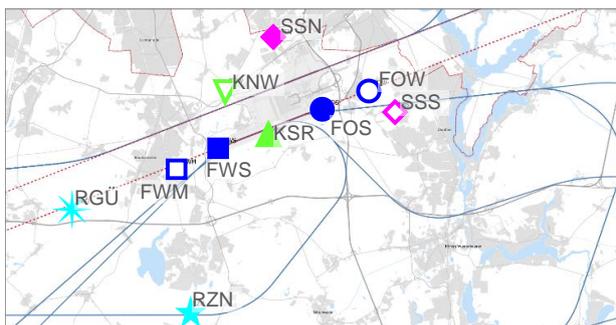


Bild 3.12-1: PAK4-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

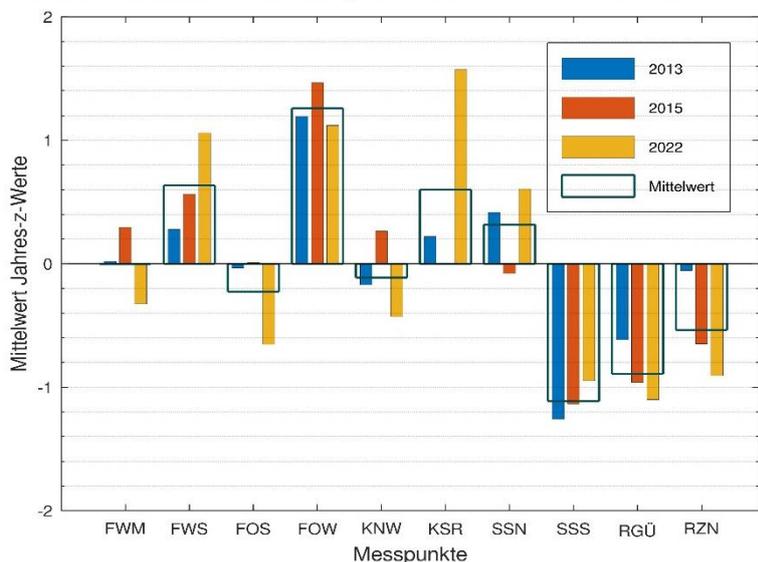


im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- \*★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

**Messpunktstabufung und Quellenzuordnung:**



Im relativen Messpunktvergleich (vgl. Kapitel 2.5) stellen sich die Messpunktunterschiede ähnlich wie für 16 PAK und für 12 PAK (Kapitel 3.10 und 3.11) dar: an FOW überdurchschnittliche Werte (Rahmen >1 in Bild 3.12-2) und schwach überdurchschnittlich an FWS und KSR, demgegenüber unterdurchschnittliche Werte an RGÜ, SSS und schwächer an RZN (-0,5 – -1).

Im Jahr 2013 traten nur an FOW überdurchschnittliche PAK4-Werte auf (blaue Balken). Im Jahr 2015 traten, neben FOW, schwach überdurchschnittliche Werte an FWS auf (rote Balken), aber nicht an FOS, ebenfalls an der damals in Betrieb befindlichen Flughafen-Südbahn.

Bild 3.12-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für PAK4 2013, 2015, 2022

Im Jahr 2022 traten überdurchschnittliche PAK4-Werte, neben FOW an FWS, am deutlichsten an KSR und schwach an SSN auf – aber wiederum nicht an FOS. Ein **Zusammenhang mit dem Flugbetrieb** würde deutlich, wenn an FOS 2015 und 2022 überdurchschnittliche Werte aufgetreten wären. Dieser wird **nicht deutlich**.

**Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:**

Tabelle 3.12-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für PAK4 [µg/kg TM]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
15,9	3,9–11,9	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	5,5–15,9	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	6,7–23,7	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
2,1*/2,6**	0,8–6	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	2,2–5,3	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
8,6*/8,1**	1,4–8,8*/1,5–10,4**	ländliche Hintergrundmesspunkte in Bayern	2005–2014
22	-	Hintergrund in Nordrhein-Westfalen	2010–2019

\*: OmH oder Wert Mischprobe Mai–Juli; \*\*: OmH oder Wert August; (aus: Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2017, Hombrecher 2021, Wäber und Pompe 2020 v. o. n. u.)

- Der für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH von 15,9 µg/kg TM ist in der Höhe vergleichbar mit dem OmH 22 µg/kg TM für NRW. Beide sind höher als die OmH für das Umland des Flughafens München 2,1 und 2,6 µg/kg TM sowie 8,6 und 8,1 µg/kg für den ländlichen Hintergrund in Bayern (Tabelle 3.12-2).
- Die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich PAK4 überschneidet sich mit den Wertebereichen der Vergleichsuntersuchungen, liegt aber in deren oberem Bereich. **Sie könnte durch weiträumige kontinuierliche PAK4-Quellen aus dem Großraum Berlin überlagert sein.**

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Gesetzliche Höchstgehalte oder Höchstmengenempfehlungen für PAK in Futtermitteln liegen für den Bezug auf Graskulturen nicht vor. Ebenfalls liegen keine Beurteilungswerte in Hinblick auf den Gesundheitsschutz des Menschen für Blattgemüse-Lebensmittel vor. Verordnung (EU) 2015/1933 legt Höchstgehalte für trockene pflanzliche Lebens- und Nahrungsergänzungsmittel fest: für getrocknete Kräuter und Gewürze 50 µg/kg für PAK4 und 10 µg/kg für Benzo[a]pyren (Tabelle 2.5-2). Diese Höchstgehalte wurden vom BayLfU (2017) hilfsweise zur Beurteilung für PAK4 und Benzo[a]pyren-Gehalte beim Grünkohl-Biomonitoring angewendet. Hier werden sie hilfsweise orientierend für den Bezug auf (getrocknete) Graskulturen herangezogen. Dabei ist einschränkend zu beachten:

- Graskulturen sind Futtermittel-Repräsentanten, keine Kräuter für den menschlichen Verzehr.
- Unterschiedliche Pflanzenarten besitzen individuelle Anreicherungseigenschaften.
- Die Bioindikatoren werden ungewaschen analysiert, während sich die Höchstgehalte des Lebensmittelrechts auf verzehrfertig aufbereitete, in diesem Fall auch gewaschene Kräuter beziehen.

Der höchste PAK4-Gehalt in Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg von 23,7 µg/kg TM im Mai 2013 lag unterhalb des hilfsweisen Beurteilungswertes von 50 µg/kg.

### 3.13 Benzo[a]pyren in Graskultur

Die Benzo[a]pyren-Gehalte (BaP) in Graskultur (Einzelwertetabellen in Kapitel 10.10 ff) lagen:

- im Jahr 2022 bei 0,4–2,6 µg/kg TM,
- im Jahr 2015 vergleichbar bei 0,6–2,3 µg/kg TM,
- wie auch im Jahr 2013 in den Serie 2 und 3 – im Juni und Juli – bei 0,5–2,1 µg/kg TM und
- analog PAK4 (Kapitel 3.12) in der 1. Serie im Mai 2013 nicht höher, bei 0,5–2,3 µg/kg TM.

#### Identifikation von Immissionseinflüssen

Der OmH wurde analog der anderen PAK-Parameter ermittelt. Er beträgt 1,7 µg/kg TM und wird mit Standardunsicherheit  $u$  33,3 % angewendet (VDI 3857/2; Tabelle 2.5-1). Anders als für 16 PAK und 12 PAK trat für BaP aber keine OmH-Überschreitung in Serie 1 im Mai 2013 an FOW auf, sondern eine Überschreitung in Serie 3 im Juli 2022 an FWS (Tabelle 3.13-1).

Tabelle 3.13-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Benzo[a]pyren zu den Messpunkten

BaP in Graskultur	OmH [µg/kgTM]	Standardunsicherheit $u$	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN
3 Werte/MP 2022	1,7	33,3%	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2015			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Werte/MP 2013			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

Die für Benz[a]pyren ermittelte Wirkungssituation lag insgesamt im Hintergrundbereich. **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs** und eine zeitliche Entwicklung, die mit dem Flughafenbetrieb und den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 3.13-1 und Bild 8.1-1), waren **nicht erkennbar**.

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Der relative Messpunktvergleich in Bild 3.13-2 zeigt für BaP – wie für die anderen PAK-Parameter – im Mittel nur an FOW überdurchschnittliche Werte (Rahmen: rund 1). An FWS zeigt er wie an SSN im Mittel nur schwach überdurchschnittliche Werte (Rahmen: rund 0,5) und an KSR und FOS durchschnittliche, obwohl wie FWS betriebsnah am Flughafen gelegen. An SSS in Schulzendorf sowie an RGÜ und RZN traten im Mittel schwach unterdurchschnittliche Werte (um -0,5) auf.

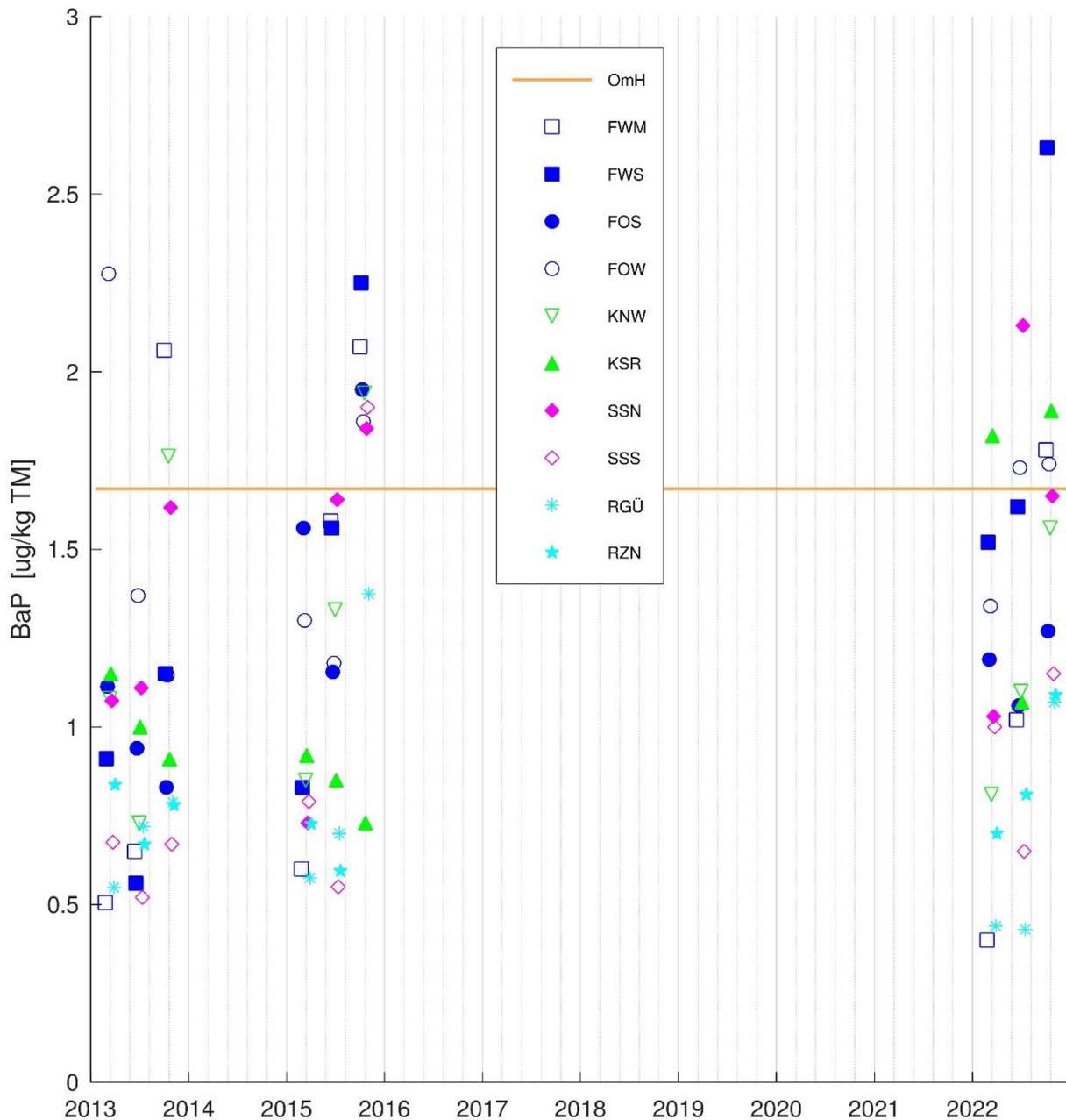
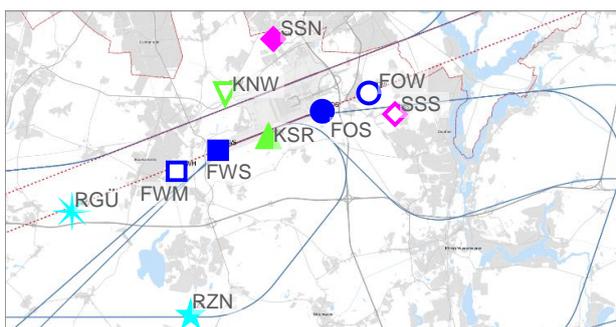


Bild 3.13-1: Benzo[a]pyren-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

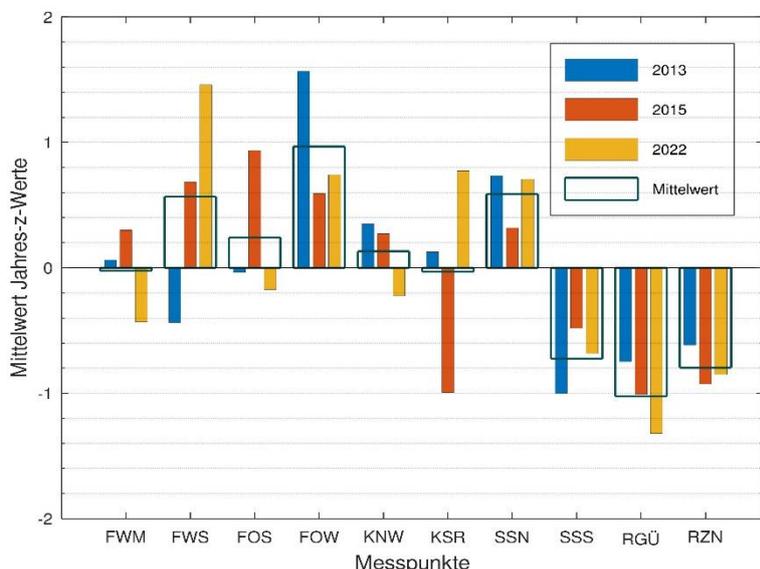


im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

**Messpunktstabufung und Quellenzuordnung:**



Folgende Unterschiede können im relativen Messpunktvergleich zwischen 2013, 2015, 2022 differenziert werden (Bild 3.13-2): Im Jahr 2013 (blaue Balken) waren die BaP-Werte an FOW deutlich überdurchschnittlich, an SSN nur schwach, aber an FWS sehr schwach unterdurchschnittlich. Im Jahr 2015 (rote Balken) traten nur schwach überdurchschnittliche auf: an FWS und FOS, an den beiden Enden der Südbahn, aber auch an FOW (0,5–1). Im Jahr 2022 traten überdurchschnittliche Werte an FWS auf (gelbe Balken: >1) und schwach überdurchschnittliche Werte an FOW, KSR und SSN (0,5–1). Dies **weist nicht auf Flughafenbetrieb als maßgebliche Quelle** hin.

Bild 3.13-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Benzo[a]pyren 2013, 2015, 2022

**Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:**

Tabelle 3.13-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Benzo[a]pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ]

OmH	Wertebereich	Untersuchungsgebiet	Zeitraum
1,7	0,4–2,6	Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg BER	2022
	0,6–2,3	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Südbahnbetrieb	2015
	0,5–2,3	Umfeld des Flughafens BER Schönefeld: Nordbahnbetrieb	2013
0,57* / 0,32**	0,1–0,6	Umgebung des Flughafens München	2017–2021
-	0,5–1,1	Umland des Flughafens Leipzig/Halle	2020
1,8*/0,8**	<0,1–3*/<0,1–3,6**	ländliche Hintergrundmesspunkte in Bayern	2005–2014
3,2	-	Hintergrund in Nordrhein-Westfalen	2010–2019

\*: OmH oder Wert Mischprobe Mai–Juli; \*\*: OmH oder Wert August; (aus: Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2017, Hombrecher 2021, Wäber und Pompe 2020 v. o. n. u.)

- Der für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013–2022 ermittelte OmH für BaP von 1,7  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  ist niedriger als der OmH 3,2  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  für NRW. Er ist in der Höhe vergleichbar mit 1,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  als OmH für Mai bis Juli für den ländlichen Hintergrund in Bayern. Er ist aber höher als die OmH 0,8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  für August für den ländlichen Hintergrund in Bayern sowie 0,57 bzw. 0,32  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  für das Umland des Flughafens München (Tabelle 3.12-2).

- Analog PAK4 überschneidet sich die Wirkungssituation im Untersuchungsgebiet bezüglich BaP mit den Wertebereichen der Vergleichsuntersuchungen, liegt aber in deren oberem Bereich –möglicherweise beeinflusst durch weiträumige kontinuierliche Quellen aus dem Großraum Berlin.

#### **Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung**

Der in Verordnung (EU) 2015/1933 festgelegte Höchstgehalte für Benzo[a]pyren in getrockneten Kräutern und Gewürzen von 10 µg/kg kann hilfsweise orientierend für den Bezug auf (getrocknete) Graskulturen herangezogen werden (Tabelle 2.5-2). Allerdings ist einschränkend zu beachten, dass Graskulturen keine Lebensmittel-Repräsentanten sind, andere Anreicherungseigenschaften besitzen als Kräuter und ungewaschen analysiert werden. Der höchste BaP-Gehalt in Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg – 2,6 µg/kg TM an FWS 2020 – lag eindeutig unterhalb des hilfsweisen Beurteilungswertes.

## 4 Zusammenfassende Bewertung

### Zielsetzung

Durch den Betrieb eines Flughafens werden zwangsläufig Luftverunreinigungen an die Umwelt abgegeben. Das Biomonitoring der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) ist angelegt, die Umweltwirkungen des Luftverkehrs im Umland des Großflughafens Berlin Brandenburg International BER langfristig zu beobachten. Mit dem Einsatz biologischer Systeme werden luftgetragene Immissionswirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes unmittelbar erfasst. Das Biomonitoring startete im Herbst 2011 und 2012 mit Grünkohl-Exposition gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 3 (Kapitel 11). Danach wurde es mit standardisierter Graskultur nach VDI 3957 Blatt 2 fortgeführt: Im Jahr 2013 begleitete es den Nordbahnbetrieb des damaligen Flughafens Schönefeld und im Jahr 2015 die Sanierung der Nordbahn und zeitgleiche Nutzung der südlichen Start- und Landebahn. Das Ziel des Graskultur-Biomonitorings 2022 ist, mögliche Veränderungen der Umweltwirkungen nach Inbetriebnahme des BER zu dokumentieren. Dazu werden im vorliegenden Bericht die Ergebnisse 2022 mit denen der Jahre 2015 und 2013 verglichen (Kapitel 3 und 10).

### Untersuchungskonzept

Bei dem Graskultur-Normverfahren (VDI 3957/2) wird Gras als Vertreter von Vegetation und Futtermittel eingesetzt (Kapitel 2). Die Bioindikatoren werden ohne Vorbelastungen standardisiert angezogen. Sie wurden im Untersuchungsgebiet jeweils 4wöchig im Mai, Juni und Juli 2013 sowie im Juni, Juli und August 2015 und 2022 exponiert (aufgestellt). Während der Exposition reichern die Bioindikatoren Stoffe aus der Luft an. Danach werden sie geerntet und ungewaschen analysiert. Durch die Standardisierung können die Stoffgehalte in den Bioindikatoren an unterschiedlichen Messpunkten unmittelbar miteinander, mit der regionalen Hintergrundsituation, mit Untersuchungen andernorts sowie mit Beurteilungswerten verglichen werden. Das Messnetz umfasst zehn Messpunkte gemäß Richtlinienvorgaben (VDI 3957/10): vier unmittelbar am Flughafen an der Südbahn (FWS, FOS) sowie im Gradienten in den Hauptwindrichtungen West und Ost (FWM, FOW), zwei flughafennahe Kontrollmesspunkte senkrecht zur Hauptwindrichtung (KNW, KSR), zwei in Siedlungen (SSN, SSS) und zwei naturnah, landwirtschaftlich geprägte (RGÜ, RZN) in der Region südwestlich des Flughafens.

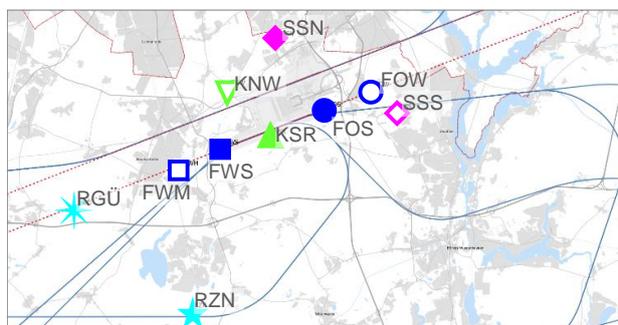


Bild 3.13-1: Lage der Messpunkte am Flughafen Berlin Brandenburg und in seinem Umfeld 2022

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

Es werden 9 Metalle (Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Zink und ab 2015 Kupfer und Quecksilber) und 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht: Das Spektrum enthält Stoffe, die für die Emissionsquelle Flughafenbetrieb charakteristisch sind und aufgrund ihrer Persistenz in der Umwelt und der Nahrungskette angereichert werden können.

Ziel ist es, die zentralen Fragestellungen des emittentenbezogenen Biomonitorings gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 10 zu beantworten (Kapitel 2.5):

- Sind in der Umgebung des Flughafens Immissionseinflüsse feststellbar?
- Wie ist die zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation?
- Können Immissionswirkungen vorhandenen Emissionsquellen zugeordnet werden?
- Wie hoch ist die Wirkungssituation und wie ist sie zu bewerten?
- Sind Gefährdungen von Menschen oder Tieren über die Nahrungskette zu erwarten?

### Identifikation von Immissionseinflüssen

Gemäß Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 liegt eine gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte Belastung, also ein Immissionseinfluss, vor, wenn ein gemessener Stoffgehalt abzüglich der Standardunsicherheit den Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) überschreitet.

Die Gehalte der Metalle Cadmium, Quecksilber und Zink sowie des PAK-Parameters PAK4 unterschritten die stoffspezifischen Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte sämtlich. Für diese Stoffe lag somit an allen Messpunkten 2022 wie 2015 und 2013 nur die Hintergrundbelastung vor.

Schwache Immissionseinflüsse, mit einzelnen, nicht mehrheitlichen OmH-Überschreitungen traten auf:

- an FWS als betriebsnahe Messpunkt am Flughafen (Westende der Südbahn) für
  - Blei 2 von 3 Mal im Jahr 2022 und 1 Mal im Jahr 2013 bei Nordbahnbetrieb,
  - Chrom 2 von 3 Mal im Jahr 2022 und
  - Benzo[a]pyren (BaP als Leitparameter der PAK) 1 Mal 2022;
- an FOS als betriebsnahe Messpunkt am Flughafen (Ostende der Südbahn) für
  - Arsen je 1 Mal 2013 und 2015,
  - Blei 2 von 3 Mal im Jahr 2022 und 1 Mal im Jahr 2015 bei Südbahnbetrieb,
  - Chrom 1 Mal im Jahr 2013 und
  - Nickel 2 von 3 Mal im Jahr 2022.
- an FOW im Gradienten zu FOS und Südbahn nach Ost, nahe Gewerbegebiet Waltersdorf, für
  - Arsen 1 Mal 2013,
  - Chrom 1 Mal im Jahr 2015,
  - Kupfer 1 Mal im Jahr 2015,
  - Nickel je 1 Mal 2013 und 2015 und
  - 16 PAK und 12 PAK als Summen der 16 und der 12 schwerer flüchtigen PAK 1 Mal im Jahr 2013;
- an KSR als Kontrollmesspunkt, der im Jahr 2022 näher an die Südbahn versetzt wurde, für
  - Blei 1 Mal im Jahr 2022,
  - Chrom 1 Mal im Jahr 2022 und
  - Nickel je 1 Mal 2013 und 2015.
- an KNW als Kontrollmesspunkt, der weiter entfernt von der Nordbahn bei Waßmannsdorf liegt, für
  - Blei 1 Mal im Jahr 2013 und
  - Nickel 1 Mal im Jahr 2015;
- an RZN, der als Referenzmesspunkt ausgewählt war, naturnah und landwirtschaftlich geprägt, für
  - Arsen 1 Mal im Jahr 2013 und
  - Nickel 1 Mal im Jahr 2013.

Die einzelnen OmH-Überschreitungen an KSR, KNW und RZN sind ebenso als singuläre Einflüsse zu bewerten, wie jeweils 1 OmH-Überschreitung für Arsen an SSN in Schönefeld, SSS in Schulzendorf und RGÜ flughafenfern im Jahr 2013.

**Relevante Immissionseinflüsse – mit mehrheitlichen OmH-Überschreitungen – wurden nicht festgestellt.**

Für Antimon konnte kein OmH gebildet werden, da zu viele Werte unterhalb den analytischen Bestimmungsgrenzen (BG) lagen. Messwerte oberhalb BG traten 3 Mal an FWS und FOS auf, je 2 Mal an KNW und KSR und 1 Mal an FOW auf. Hier gilt es die künftige Entwicklung bei seit 2022 abgesenkter Bestimmungsgrenze zu beobachten.

**Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation**

Neben kontinuierlichen Quellen können Luftverunreinigungen auch von saisonalen Quellen emittiert (freigesetzt) werden. Dies gilt insbesondere für die PAK. Verkehrsabgase inklusive Flughafenbetrieb stellen direkte, kontinuierliche PAK-Quellen dar, mit rund 2 % Anteil an den Gesamtemissionen, der Betrieb häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen zu Heizzwecken (sog. Hausbrand) hingegen eine saisonale Quelle, aber mit 80 % Anteil die PAK-Hauptquelle (UBA 2016). Bei vergleichsweise kühler Witterung im Mai 2013 traten erwartungsgemäß saisonal höhere Summen der 16 PAK und der 12 schwerer flüchtigen PAK auf, als im Juni und Juli 2013 und im Juni bis August 2015 und 2022 (Kapitel 3.10 und 3.11). Für PAK4 als Summe der vier schwerer flüchtigen PAK Benzo[a]pyren (BaP), Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen sowie für BaP wurde kein saisonaler Verlauf deutlich.

Im Jahr 2022 waren beide Start- und Landebahnen des BER in Betrieb. Die Auswertungen der monatlichen Flugbewegungen am BER (Bild 8.1-1) ergibt folgendes Bild:

- Auf der Nordbahn fanden 2022 im Biomonitoring-Zeitraum Juni–August rund 5.000–6.000 Flugbewegungen monatlich statt. Das ist vergleichbar mit dem Biomonitoring-Zeitraum Mai–Juli 2013, mit rund 6.000 monatlichen Flugbewegungen auf der Nordbahn, die im Jahr 2013 als einzige für den Flughafen Schönefeld in Betrieb war.
- Auf der Südbahn fanden 2022 im Biomonitoring-Zeitraum Juni–August rund 9.500 Flugbewegungen monatlich statt. Das ist mit 2015 vergleichbar, als – aufgrund Sanierung der Nordbahn – nur die neue Südbahn in Betrieb war. Die monatlichen Flugbewegungen im Juni–August 2015 lagen bei rund 8.000–12.000.
- In den Monaten Juni und – besonders deutlich – Juli aller Biomonitoring-Zeiträume überwog Westbetrieb – bei Westwinden. Im August 2022 überwog Ostbetrieb – bei Ostwindlagen.

Entsprechend der Start- und Landebahnbetriebe und Flugzahlen wären 2015 und 2022 an den Messpunkten FWS und FOS an den Enden der Südbahn sowie 2022 auch an KSR nahe der Mitte der Südbahn deutlich höhere Immissionswirkungen zu erwarten als 2013. Insgesamt wurde aber kein Einfluss des Flughafenbetriebs oder zeitliche Entwicklung deutlich, die mit den Flugzahlen korrespondieren würde (Bild 8.1-1).

**Messpunktastufung und Quellenzuordnung**

Die Bioindikatoren integrieren die natürlichen Witterungseinflüsse, die auch auf die Vegetation wirken. Daher schwanken die Wertekollektive von Expositionsserie zu Expositionsserie unterschiedlich stark und weisen unterschiedlich hohe Streuungen auf. So kann etwa Staub von der Blattoberfläche vom Wind oder

durch Regenwasser wieder entfernt werden. Bei einigen Metallen, die als Spurenelemente fungieren, besteht ein gewisses Aufnahmevermögen aus dem Substrat über die Wurzeln, z. B. bei Nickel und Zink. Im relativen Messpunktvergleich (anhand normierter Z-Werte, Kapitel 2.5) werden serienweise Schwankungen eliminiert und die Streuung relativiert. Das ermöglicht, überdurchschnittliche und unterdurchschnittliche Gesamtbelastungen an den Messpunkten zu veranschaulichen – auch unterhalb OmH als Schwelle für Immissionseinflüsse.

Für Antimon kann ein relativer Messpunktvergleich nur für 2022 vorgenommen werden, bei Werten mehrheitlich oberhalb Bestimmungsgrenze (aufgrund gegenüber 2015 deutlich gesteigerter Analysenempfindlichkeit). Daraus ergab sich eine Messpunktastufung mit überdurchschnittlichen Antimonwerten an FWS am Westende der Südbahn und noch deutlicher an FOS, an deren Ostende. **Abrieb von Bremsbelägen beim Bodenbetrieb des Flughafens und beim Kfz-Verkehr auf der Ringstraße kommen als relevante direkte Quellen für die Anreicherung von Antimon über den Luftpfad in Frage.**

**Bremsabrieb und Aufwirbelung von Stäuben von Straßen und versiegelten Oberflächen im Nahbereich des Flughafens kommen als – schwache – direkte Quellen, neben Antimon, auch für Chrom und Blei in Frage, für die sich überdurchschnittliche Werte an FOS und 2022 an FWS zeigten.**

Für die anderen Metalle traten schwach überdurchschnittliche Werte an den betriebsnahen Messpunkten FWS und FOS am Flughafen auf, für einige der Metalle zudem an KSR, der 2022 betriebsnah lag. Nicht nur Abrieb von Verkehr und Bodenbetrieb stellen Quellen für Antimon, Chrom, Kupfer und Blei dar und nicht nur Abgase aus Verkehr und Flugverkehr Quellen für Chrom, Kupfer, Nickel und Blei. Auch landwirtschaftliche Bodenbearbeitung, Bauarbeiten und Verbrennungsprozesse stellen – indirekte – Quellen für diese Metalle sowie für Arsen, Cadmium und Quecksilber dar. Landwirtschaftliche Bodenbearbeitung, Bauarbeiten und Verkehr können Staubverfrachtungen auf **die weitflächig versiegelten Flächen des Flughafenareals** bewirken. Von diesen Flächen – **als indirekte Quellen – können metallhaltige Stäube durch Wind, Verkehr und Flugverkehr wieder aufwirbeln.** Dies korrespondiert mit einem aktuellen Graskultur-Biomonitoring des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019), das Bodenaufwirbelung von einem nahegelegenen Acker als wesentliche Quelle für die meisten Metalle darstellt.

Für Nickel und Zink ergab sich keine Messpunktastufung. Verkehr und Flughafenbetrieb kommen zwar auch als direkte Quellen in Frage. Aber die Anreicherung über den Luftpfad aus diesen hier allenfalls schwach wirksamen Quellen dürfte sehr wahrscheinlich durch die Aufnahme aus dem Substrat überlagert sein.

Für die PAK-Parameter 16 PAK, 12 PAK, PAK4 und BaP wurde aus dem relativen Messpunktvergleich kein Zusammenhang mit dem Flughafenbetrieb deutlich, obwohl Flughafenbetrieb und Verkehr theoretisch PAK-Quellen darstellen. **Überdurchschnittliche PAK-Werte traten nicht durchgängig und nur schwach an FWS und KRS betriebsnah auf, nicht aber an FOS.** Schwach überdurchschnittliche PAK-Werte traten teilweise auch an SSN innerorts in Schönefeld auf. **Am deutlichsten überdurchschnittliche PAK-Werte zeigten sich an FOW.** An diesem Gradienten-Messpunkt nahe Gewerbegebiet Waltersdorf **könnten weiträumiger schwach wirkende PAK-Quellen, neben Verkehr und Flugverkehr, auch Gewerbe sowie Abdrift aus dem Großraum Berlin beitragen.**

Unterdurchschnittliche Metallwerte traten vor allem innerorts, an SSN in Schönefeld und an SSS in Schulzendorf, und an den naturnahen, landwirtschaftlich geprägten Messpunkten RGÜ und RZN auf, sowie an FWM als Gradienten-Messpunkt in Richtung West – auf Acker (Ausnahme Kupfer). Unterdurchschnittliche PAK-Werte traten vor allem an SSS, RGÜ und RZN auf.

### **Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation**

Die Hintergrundsituation im Untersuchungsgebiet ist hinsichtlich der untersuchten Luftverunreinigungen im Betrachtungszeitraum 2013–2022 als unauffällig zu bewerten. Dies zeigt sich im Vergleich mit OmH und Vergleichswerten anderer Biomonitorings (für Antimon, Arsen und Nickel konnten keine OmH ermittelt werden (Tabelle 2.5-1):

Für Chrom, Kupfer und Zink liegen die berechneten OmH als Schwellen für die Hintergrundbelastung im Untersuchungsgebiet um den Flughafen Berlin Brandenburg niedriger liegen als die überregionalen Vergleichs-OmH, für Blei und Cadmium in der Höhe gut übereinstimmend und nur für Quecksilber höher. Die OmH für 16 PAK und Benzp[a]pyren (BaP) stimmen in der Höhe gut den Vergleichs-OmH aus dem ländlichen Hintergrund in Bayern überein, während der OmH für 12 PAK geringfügig höher liegt. Das Bayerische Landesamt für Umwelt ermittelt die Hintergrundbelastung als „Grundbelastung an Orten, die keinem direkten Einfluss einer Schadstoffquelle unterliegen“ an naturnahen und landwirtschaftsnahen Dauerbeobachtungsstationen (BayLfU 2022). Der OmH für PAK4 liegt höher als der für den ländlichen Hintergrund in Bayern, aber geringfügig niedriger als der OmH für Nordrhein-Westfalen.

Die Metall-Wertebereiche in Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg liegen im Bereich der Wertebereiche des ländlichen Hintergrunds in Bayern. Die PAK-Wertebereiche überschneiden sich mit den Wertebereichen ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern, lagen für PAK4 mit BaP in deren oberen Bereichen und insgesamt höher als die sehr niedrigen Wertebereichen in der Umgebung um den Flughafen München. Für die Wirkungssituation hinsichtlich PAK dürfte die Nähe des Flughafens Berlin Brandenburg zum Großraum Berlin eine Rolle spielen.

### **Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung**

Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink lagen stets und teilweise weit unterhalb Beurteilungswerten für Futter- und Lebensmittel. Für Antimon und die PAK sind keine derartigen Beurteilungswerte definiert. Im hilfsweisen Vergleich mit Höchstgehalten für Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber in Blattkohl bzw. PAK4 und BaP in trockenen Kräutern (Verordnungen (EU) 2015/1006, 2021/1317, 2012/1323, 2018/73 bzw. 2015/1933) lagen die Stoffgehalte in Graskulturen unterhalb dieser Beurteilungswerte. Der Vergleich ist orientierend zu sehen, da die Bioindikatoren ungewaschen und nicht verzehrfertig aufbereitet analysiert werden. Alle Ergebnisse waren damit, teilweise weit, niedriger als Schwellen, ab denen eine Gefährdung zu vermuten wären.

### **Ausblick**

Der Flughafenbetrieb hat aktuell keine deutliche Auswirkung auf die Metall- und PAK-Gehalte in den Bioindikatoren in seinem Umfeld. Das Biomonitoring im Umfeld des BER wird auch in den kommenden Jahren fortgeführt werden, um Veränderungen zu dokumentieren und die standardisierte Datenbasis zu erweitern.

## 5 Abkürzungen

As	Arsen
BaP	Benzo[a]pyren
BayLfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
BER	Flughafen Berlin Brandenburg (ehemals Schönefeld)
BG	analytische Bestimmungsgrenze
BU Min	Beurteilungswert Minimum (strengster Beurteilungswert einer Spanne)
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
DBS	Dauerbeobachtungsstation(en)
EPA	US Environmental Protection Agency
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
FM	Frischmasse
FuttMV	Futtermittelverordnung
GPC	Gelpermeationschromatographie
Hg	Quecksilber
HRGC	hochauflösender Gaschromatograph
HRMS	hochauflösendes Massenspektrometer
ICP	induktiv gekoppeltes Plasma
IQR	Interquartilsabstand
KW	Kalenderwoche
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen
MID	Maximaler Immissions-Wert
MP	Messpunkt
MS	Massenspektrometer
MSD	massenselektiver Detektor
Ni	Nickel
NRW	Nordrhein-Westfalen
OES	optisches Emissionsspektrometer
OmH	Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (VDI 3857/2)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PAK4	Summe aus Benzo[a]pyren, Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthen und Chrysen
Pb	Blei
Q	Quantil
rA	rechnerischer Ausreißer
Sb	Antimon
TM	Trockenmasse
<i>u</i>	Standardunsicherheit des Verfahrens
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VO	Verordnung
Zn	Zink
µg/kg	1 Mikrogramm pro Kilogramm entspricht einem Tausendstel Milligramm pro Kilogramm, somit 1 Millionstel Gramm pro Kilogramm.

## 6 Glossar

alphabetisch; Begriffe nach VDI Richtlinie 3857 Blatt 2 und Richtlinienreihe 3957 sowie weitere Begriffe

### **Akkumulationsindikator:**

-> Bioindikator, der auf Stoffgehalte analysiert wird; reichert Stoffe meist ohne erkennbare Schädigung an und ist daher besonders geeignet -> Immissionswirkungen anzuzeigen

### **Ausreißer:**

Messwert aus einer Grundgesamtheit, der sich deutlich von der Verteilung der übrigen Messwerte unterscheidet (potenziell verursacht durch z. B. singuläre, nicht repräsentative Immissionseinflüsse, Artefakte oder Übertragungsfehler)

### **Beurteilungswert:**

Bewertungsmaßstab, der zur Beurteilung der Stoffgehalte in -> Akkumulationsindikatoren herangezogen wird, z.B. -> Orientierungswerte für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH), -> Maximale Immissionswerte, -> Höchstgehalte

### **Bioindikator:**

Organismus oder ein Teil davon oder eine Organismengemeinschaft (Biozönose), der/die Umwelteinflüsse dokumentiert. (DIN EN 16413)

### **Biomonitoring:**

Einsatz biologischer Systeme (Organismen und Organismengemeinschaften) zur räumlichen und/oder zeitlichen Überwachung von Umweltveränderungen (DIN EN 16413); es wird zwischen passivem und aktivem Biomonitoring unterschieden:

- **passives Biomonitoring:** Bioindikatoren werden in ihrem natürlichen Lebensraum untersucht oder beprobt
- **aktives Biomonitoring:** Bioindikatoren werden für einen bestimmten Zeitraum den zu bewertenden Umweltbedingungen gezielt ausgesetzt und danach auf deren -> Wirkungen hin untersucht

### **Einwirkungsbereich:**

Fläche, in der über den -> Hintergrundgehalt erhöhte Luftverunreinigungen einer Quelle vorliegen

### **Emission:**

Emissionen sind von der betrachteten Emissionsquelle freigesetzte Luftverunreinigungen

### **Expositionsabschnitt, hier kurz: Serie:**

Zeitabschnitt, während dessen hier die standardisierte Graskultur am Expositionsort aufgestellt ist (lt. Richtlinie VDI 3957 Blatt 2:  $28 \pm 2$  Tage)

### **Hintergrund(-bereich/-gehalt):**

Stoffgehalt – hier in Graskulturen, der unter den gegebenen Witterungsbedingungen während der Exposition durch die Aufnahme aus dem Substrat und aus der Hintergrundimmission am -> Hintergrundmesspunkt zustande kommt

### **Hintergrundmesspunkt:**

Messpunkt an einem Standort ohne unmittelbaren Einfluss lokaler -> Emissionen hinsichtlich des betrachteten Stoffs

**Höchstgehalt:**

für Graskultur: Höchstgehalte von -> Kontaminanten in Futtermitteln, also von unerwünschten Stoffen gemäß Futtermittelverordnung (FuttMV in der jeweilig aktuellen Fassung);  
indirekt anwendbar: Höchstgehalte von Kontaminanten in Lebensmitteln, um „einen wirksamen Schutz der öffentlichen Gesundheit sicherzustellen“, z. B. nach Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 ff.

**immissionsbeeinflusst:**

Messwerte abzüglich -> Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$ , die den -> Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt überschreiten, sind als -> immissionsbeeinflusst zu werten

**Immissionswirkung:**

durch luftgetragene Stoffe verursachte -> Wirkungen

**IQR – Interquartilsabstand:**

75. Perzentil abzüglich 25. Perzentil (falls 25 % bis <75 % der Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, kann die halbe Bestimmungsgrenze als 25. Perzentil eingesetzt werden)

**Kontaminant:**

jeder Stoff, der einem Futter- oder Lebensmittel unbeabsichtigt hinzugefügt wird, aber als Rückstand z. B. bei der Gewinnung, Fertigung, oder als Verunreinigung durch die Umwelt darin vorhanden ist

**Kontrollmesspunkt:**

Messpunkt am äußeren seitlichen Rand des vermuteten -> Einwirkungsbereichs der Quelle zur Kontrolle

**Maximaler Immissions-Wert (MID):**

empfohlener Richtwert für unerwünschte Stoffe in Futtermitteln gemäß Richtlinienreihe VDI 2310 zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und zur Sicherung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit der von diesen Tieren gewonnenen Lebensmittel; hier auf Mittelwerte über die Vegetation anwendbar

**Messpunkt:**

ausgewählter Expositionsort an einem Standort (Standort im ökologischen Sinn: Gesamtheit der Umweltfaktoren an einem -> Messpunkt)

**Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH):**

statistisch abgeleiteter Wert, der die robuste Obergrenze der Stoffgehalte in einem Akkumulationsbioindikator unter Hintergrundbedingungen, das heißt ohne direkten Emittenteneinfluss, beschreibt;  
Überschreitungen des OmH weisen einen -> Immissionseinfluss nach und deuten damit auf eine verursachende Emissionsquelle hin

**PAK4:**

Summe der vier polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff-Verbindungen Benzo[a]pyren, Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen;  
bewertet -> Kontaminanten in Lebensmitteln gemäß VO (EU) Nr. 835/2011 ff.

**Parallelprobe:**

weitere Probe, mit derselben Methodik am selben Messpunkt und am selben Zeitpunkt entnommen

**Perzentil:**

statistisches Lagemaß das durch den Anteil  $\alpha$  der Beobachtungen einer Datenverteilung definiert ist, wobei die Datenverteilung in 100 gleich große Teile zerlegt wird und der

**Median:**

der mittlere Wert ist (P.50: 50. Perzentil)

**Prüfwerte:**

-> Höchstgehalte und Richtwerte – ermöglichen eine Gefährdungsbeurteilung;

für Graskultur:

von -> Kontaminanten in Futtermitteln gemäß Höchstgehalten unerwünschter Stoffe der FuttMV (2013) in der jeweilig aktuellen Fassung und gemäß -> MID-Werte der Richtlinienreihe VDI 2310 Blatt 27 bis 39

**Referenzmesspunkt:**

Messpunkt, der den lokal typischen Immissionshintergrund ohne Einfluss der betrachteten und anderer Emissionsquellen repräsentiert und außerhalb des Untersuchungsgebiets liegt

**Reichweite:**

Entfernung, in der der Einfluss einer Emissionsquelle noch nachweisbar ist

**Schutzgut:**

Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Kultur- oder sonstige Sachgüter sowie die Atmosphäre selbst, die schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen ausgesetzt sein können

**Trockenmasse (TM):**

Bezugsgröße für Konzentrationsangaben von Stoffgehalten – hier in Graskulturen – ermittelt durch Trocknung bis zur Gewichtskonstanz unter Angabe der Trocknungstemperatur

**Unsicherheit des Verfahrens  $u$ :**

Für den OmH als Beurteilungswert, bei dessen Überschreitung ein Immissionseinfluss nachgewiesen wird, sind die verfahrensbedingten Datenabweichungen zu berücksichtigen;

die Unsicherheit  $u$  des Verfahrens kann beispielsweise nach DIN EN ISO 20988 (Anhang B.8 Doppelbestimmungen mit zwei identischen Messeinrichtungen) für jedes Element einzeln bestimmt werden, oder hilfsweise aus Vergleichsuntersuchungen herangezogen werden (z. B. Richtlinie VDI 3857 Blatt 2)

**Untersuchungsgebiet:**

das im Einwirkungsbereich der Emissionsquellen liegende geographische Gebiet, in dem die Untersuchung durchgeführt wird

**Wirkung:**

Reaktion von Organismen, Teilen von Organismen oder von Organismengemeinschaften (Biozöosen) auf stoffliche und physikalische Umwelteinflüsse sowie deren Veränderung in ihrer chemischen Zusammensetzung (-> Akkumulation)

## 7 Literatur

### 7.1 Gesetze und Verordnungen

BlmSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BlmSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das zuletzt durch Artikel 12 Absatz 3 des Gesetzes vom 8. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1726) geändert worden ist.

FuttMV: Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2004), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. Juli 2020 (BGBl. I S. 1700) geändert worden ist.

RHmV: Verordnung über die Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen – Rückstands-Höchstmengenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 21. Oktober 1999 (BGBl. I S. 2082; 2002 I S. 1004), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. März 2010 (BGBl. I S. 286) geändert worden ist.

TA Luft: Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 18. August 2021 (GMBI 2021 Nr. 48-54, S. 1050).

UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist.

VO (EG) Nr. 1881/2006: Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 19. Dezember 2006, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 364, S.5 vom 20.12.2006.

VO (EU) Nr. 835/2011: VERORDNUNG (EU) DER KOMMISSION vom 19. August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union: L 215/4

VO (EU) 2015/1005: VERORDNUNG (EU) DER KOMMISSION vom 25. Juni 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Blei in bestimmten Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 161, S. 9 vom 25.6.2015.

VO (EU) 2015/1006: VERORDNUNG (EU) DER KOMMISSION vom 25. Juni 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für anorganischer Arsen in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 161, S. 14 vom 25.6.2015.

VO (EU) 2015/1933: VERORDNUNG 2015/1933 DER KOMMISSION vom 27. Oktober 2015 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Kakaofasern, Bananenchips, Nahrungsergänzungsmitteln, getrockneten Kräutern und getrockneten Gewürzen, ABI. Nr. L 282, S. 11

VO (EU) 2018/73: VERORDNUNG (EU) 2018/73 DER KOMMISSION vom 16. Januar 2018 zur Änderung der Anhänge II und III der Verordnung (EG) Nr. 396/2005 des Europäischen Parlaments und des

Rates im Hinblick auf Höchstgehalte an Rückständen von Quecksilberverbindungen in oder auf bestimmten Erzeugnissen (ABl. L 13 vom 18.1.2018, S. 8–20).

VO (EU) 2021/1317: VERORDNUNG (EU) 2021/1323 DER KOMMISSION vom 9. August 2021 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an Blei in bestimmten Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union L286, S. 1-4.

VO (EU) 2021/1323: VERORDNUNG (EU) 2021/1323 DER KOMMISSION vom 10. August 2021 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 hinsichtlich der Höchstgehalte an Cadmium in bestimmten Lebensmitteln. Amtsblatt der Europäischen Union L288, S. 13-18.

## 7.2 Normen und Richtlinien

DIN EN 15763:2010-04: Lebensmittel - Bestimmung von Elementspuren - Bestimmung von Arsen, Cadmium, Quecksilber und Blei in Lebensmitteln mit induktiv gekoppelter Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) nach Druckaufschluss; Deutsche Fassung EN 15763:2009.

DIN EN 16413:2014-08: Außenluft - Biomonitoring mit Flechten - Kartierung der Diversität epiphytischer Flechten; Deutsche Fassung EN 16413:2014.

DIN ISO 12884:2000-12 Außenluft – Bestimmung der Summe gasförmiger und partikelgebundener polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe – Probenahme auf Filtern mit nachgeschalteten Sorbenzien und anschließender gaschromatographischer / massenspektrometrischer Analyse.

DIN V ENV 13005:2000-07: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheiten beim Messen: Deutsche Fassung ENV 13005:1999.

DIN EN ISO 20988:2007-09 Luftbeschaffenheit; Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988:2007); Deutsche Fassung EN ISO 20988:2007

VDI 2310 Blatt 1:2010-12: Maximale Immissions-Werte – Zielsetzung und Bedeutung der Richtlinienreihe 2310. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 27:1998-09: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Blei zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 28:2022-08: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Cadmium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 30: 2005-01: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 31:2005-01: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Zink zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth

VDI 2310 Blatt 33:2019-10: Maximale Immissions-Werte - Maximale Immissions-Werte für Quecksilber in organischer Bindungsform zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere und der von ihnen stammenden Lebensmittel. Berlin, Beuth

VDI 2310 Blatt 35: 2018-12: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Arsen zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere und der von ihnen stammenden Lebensmittel. Berlin, Beuth

VDI 2310 Blatt 37:2015-11 Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Molybdän zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 38:2008-12: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Kupfer zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere und der von ihnen stammenden Lebensmittel. Berlin, Beuth.

VDI 2310 Blatt 39:2011-08: Maximale Immissions-Werte – Maximale Immissions-Werte für Chrom zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere und der von ihnen stammenden Lebensmittel. Berlin, Beuth.

VDI 3857 Blatt 2:2021-07: Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen; Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigungen. Berlin: Beuth.

VDI 3957 Blatt 1:2020-02: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – Grundlagen und Zielsetzung. Berlin: Beuth.

VDI 3957 Blatt 2:2020-08: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – Verfahren der standardisierten Graskultur. Berlin, Beuth.

VDI 3957 Blatt 3:2022-04 (Entwurf): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Berlin, Beuth.

VDI 3957 Blatt 10:2022-05 (Entwurf): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) – Einsatz aktiver Biomonitoringverfahren im Bereich von Emissionsquellen. Berlin, Beuth.

VDI 4280 Blatt 1:2014-10: Planung von Immissionsmessungen - Allgemeine Regeln für Untersuchungen der Luftbeschaffenheit. Berlin, Beuth.

### 7.3 Literaturquellen

BayLfU (2019): Biomonitoring persistenter Schadstoffe – Immissionsökologisches Monitoring persistenter organischer und anorganischer Schadstoffe im Hintergrund und bei quellenspezifischer Belastung. UmweltSpezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 138 S.

BayLfU (2017): PAK-Immissionswirkungen in Bayern – Langzeituntersuchung polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe mit Biomonitoring-Verfahren. UmweltSpezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 86 S.

Hombrecher, K. (2021) Neue Bioindikationsverfahren zum anlagenbezogenen Monitoring – LANUV-Fachbericht 114. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) (Hrsg.) Recklinghausen, ISSN 1864-3930, 52 S.

Hüffmeyer, N. (2007): Modellierung von Zink in der Ruhr – Emissionspfade und Belastungsanalyse. Matthies, M. (Hrsg.) Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück Nr. 42

Kostka-Rick, R., Henningsen G. (2012): Biomonitoring von Immissionswirkungen im Anlagenumfeld. Quelleneinflüsse differenzieren – Immissionswirkungen räumlich eingrenzen und bewerten. VDI-Bericht 2178, S. 151 – 160

Liftinger G. (2017): Moderne Analyseverfahren in der Elementanalytik von Pflanzenproben und ihre Kenn-daten. Workshop Biomonitoring – Risikokommunikation, Oberösterreichische Landesregierung, 6.-7. März 2017, Linz (A), 17 S., Quelle im Internet (Stand Februar 2020): <https://www.ooe-umweltanwaltschaft.at/Mediendateien/Liftinger.pdf>.

- Meek .E., P.K.L. Chan, S. Bartlett (1994): Polycyclic aromatic hydrocarbons: Evaluation of risks to health from environmental exposure in Canada. *Environ. Carcinogen. & Ecotox. Rev.* C12 (2), S. 443-452
- Merian, E. (Hrsg.) (1984): *Metalle in der Umwelt*. Verlag Chemie, Weinheim
- Peichl L., M. Wäber, W. Reifenhäuser (1994): Schwermetallmonitoring mit der standardisierten Graskultur im Untersuchungsgebiet München - Kfz-Verkehr als Antimonquelle? *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 (2), S. 63-69
- Rentz, O., C. Martel (1998): Analyse der Schwermetallströme in Steinkohlefeuerungen – Einfluss der Kohlesorte und des Lastzustandes. *Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung und Universität Karlsruhe (Hrsg.)*, Karlsruhe, 254 S.
- Savory, J., R. Wills (1984): Arsen. *Metalle in der Umwelt (E. MERIAN, Hrsg.)*, Verlag Chemie, Weinheim, S. 319-334
- Siewers, U., U. Herpin (1998): Schwermetalleinträge in Deutschland – Moos-Monitoring 1995/96. *Geologisches Jahrbuch Sonderhefte, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.)*, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart
- Umweltatlas Hessen (2005). *Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.)*
- VDI (2016): *Agenda Biomonitoring – VDI-Richtlinien zur Zielerreichung. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL (Hrsg.) 2016*, Düsseldorf, VDI, ISBN 978-3-931384-85-2, 12 S.
- Wäber, M.; Pompe, F. (2018): Biomonitoring von Luftverunreinigungen an Flughäfen im deutschsprachigen Raum. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, April 2018, S. 166-170.
- Wäber, M. (2016): Biomonitoring der Auswirkungen von Emittenten – Abgrenzung zu technischen Emissions- und Immissionsmessungen, aktuelle Normungsaktivitäten und Anwendungen im Anlagenumfeld. In: *Anlagenbezogenes Monitoring, VDI-Berichte 2280, ISSN 0083-5560*, S. 23-36
- Wäber, M., S. Aust, K. Johannsen, F. Pompe, J. Heimberg (2015): Biomonitoring mit Grünkohl und Graskultur im Umfeld des zukünftigen Flughafens Berlin Brandenburg – Langfristige Untersuchung möglicher Umweltwirkungen von Luftverkehr und Flughafenbetrieb. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 75 (2015) Nr. 4, S. 137-142
- Wäber, M., C. Dietl, J. Köhler, L. Peichl (1998): Bioakkumulation und Deposition von Antimon, Blei und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff-Immissionen. *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* 10 (5), S. 276-280

## 7.4 Quellen im Internet

- BayLfU (2022): Anreicherung von Metallen in Graskulturen – Hintergrundwerte; Jahresmittelwerte 2002 – 2021. *Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.)*, Augsburg, 21 S., Stand Mai 2022: [https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe\\_luft/schwermetalle/ergebnisse/doc/metalle\\_in\\_graskultur.pdf](https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe_luft/schwermetalle/ergebnisse/doc/metalle_in_graskultur.pdf)
- UBA (2022): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Schwermetalle) 1990 – 2020, *Umweltbundesamt (Hrsg.)*, Stand 24.10.2022: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>

UBA (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Quelle im Internet, Stand 24.10.2022: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/polyzyklische\\_aromatische\\_kohlenwasserstoffe.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/polyzyklische_aromatische_kohlenwasserstoffe.pdf)

UBA (2014): Umweltbelastungen der Landwirtschaft: Düngemittel. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Stand 24.10.2022: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#duengemittel-was-ist-das>

Wäber und Pompe (2022): Biomonitoring in der Umgebung des Flughafens München 2021 mit Einordnung der Wirkungssituation 2017–2021. Quelle im Internet, Stand 24.10.2022: [https://www.munich-airport.de/\\_b/0000000000000013564209bb6284e7ef/biomonitoring-2021.pdf](https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000013564209bb6284e7ef/biomonitoring-2021.pdf)

Wäber und Pompe (2020): Biomonitoring und Depositionsuntersuchungen in der Umgebung des Flughafens München – Zusammenfassende Dokumentation 2019. Quelle im Internet, Stand 24.10.2022: [https://www.munich-airport.de/\\_b/0000000000000009555400bb5f33e76e/biomonitoring-deposition-191.pdf](https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000009555400bb5f33e76e/biomonitoring-deposition-191.pdf)

Wäber, M., Pompe, F. (2020): Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020. Flughafen Leipzig/Halle GmbH (Hrsg.), 67 S. Quelle in Internet, Stand 24.10.2022: [https://www.mdf-ag.com/media/user\\_upload/Leipzig\\_Halle/Bilder/Umwelt/FLH2020\\_Biomon-Bericht\\_UMW20201116.pdf](https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/Bilder/Umwelt/FLH2020_Biomon-Bericht_UMW20201116.pdf)

Wäber, M. (2016): Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld mit standardisierten Graskulturen 2015. Quelle im Internet, Stand 24.10.2022: <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/Biomonitoring-Bericht-2011-2015.pdf>

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1-1: Wie gelangen Schadstoffe über die Luft in die Umwelt .....	9
Bild 2.1-1: Lage der Messpunkte am Flughafen Berlin Brandenburg und in seinem Umfeld 2022 .....	13
Bild 2.3-1: Standardisierte Graskultur bei Exposition [Foto: Günter Wicker LIGATUR].....	17
Bild 3.1-1: Antimongehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	26
Bild 3.2-1: Arsengehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	29
Bild 3.2-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Arsen 2013, 2015, 2022 .....	30
Bild 3.3-1: Bleigehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	33
Bild 3.3-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Blei 2013, 2015, 2022.....	34
Bild 3.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	37
Bild 3.4-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Cadmium 2013, 2015, 2022 .....	38
Bild 3.5-1: Chromgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	41
Bild 3.5-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Chrom 2013, 2015 und 2022.....	42
Bild 3.6-1: Kupfergehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 .....	45
Bild 3.6-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Kupfer 2015 und 2022 .....	46
Bild 3.7-1: Nickelgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	49
Bild 3.7-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Nickel 2013, 2015 und 2022.....	50
Bild 3.8-1: Quecksilbergehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 .....	53
Bild 3.8-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Quecksilber 2015 und 2022.....	54
Bild 3.9-1: Zinkgehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013 .....	57
Bild 3.9-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Zink 2013, 2015, 2022.....	58
Bild 3.10-1: 16 PAK-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	61
Bild 3.10-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für 16 PAK 2013, 2015, 2022 .....	62
Bild 3.11-1: 12 PAK-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	65
Bild 3.11-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für 12 PAK 2013, 2015, 2022 .....	66
Bild 3.12-1: PAK4-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	69
Bild 3.12-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für PAK4 2013, 2015, 2022 .....	70
Bild 3.13-1: Benzo[a]pyren-Gehalte in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013.....	73
Bild 3.13-2: Relativer Messpunktvergleich anhand Z-Mittelwerten für Benzo[a]pyren 2013, 2015, 2022 .	74
Bild 3.13-1: Lage der Messpunkte am Flughafen Berlin Brandenburg und in seinem Umfeld 2022 .....	76
Bild 8.1-1: Monatliche Flugbewegungen 2022 (rechts) im Vergleich zu 2015 und 2013.....	95
Bild 8.2-1: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2022.....	97

Bild 8.2-2: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2015.....	97
Bild 8.2-3: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2013.....	98
Bild 8.2-4: Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2022 (oben), 2015 (Mitte), 2013 (unten) .....	99
Bild 9.1-1: FWM Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten).....	101
Bild 9.2-1: FWS Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten) .....	102
Bild 9.3-1: FOS Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten).....	103
Bild 9.4-1: FOW Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten).....	104
Bild 9.5-1: KNW Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten).....	105
Bild 9.6-1: KSR Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten, links bis 2015, rechts 2022) .....	106
Bild 9.7-1: KSR Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten, links bis 2015, rechts 2022) .....	107
Bild 9.8-1: SSS Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten: links bis 2015; rechts 2022) .....	108
Bild 9.9-1: RGÜ Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten) .....	109
Bild 9.10-1: RZN Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten).....	110
Bild 10.1-1: Antimongehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) – OmH nicht möglich da > 75% der Werte < Bestimmungsgrenze .....	112
Bild 10.2-1: Arsengehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) ....	114
Bild 10.3-1: Bleigehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) .....	116
Bild 10.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) .....	118
Bild 10.5-1: Chromgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) ...	120
Bild 10.6-1: Kupfergehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) .....	122
Bild 10.7-1: Nickelgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) ....	124
Bild 10.8-1: Quecksilbergehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) .....	126
Bild 10.9-1: Zinkgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) .....	128
Bild 10.10-1: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2022, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten) .....	133
Bild 10.10-2: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2015, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten) .....	133
Bild 10.10-3: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2013, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten) .....	133

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Messpunkte .....	14
Tabelle 2.2-1: Übersicht Stoffspektrum beim Biomonitoring .....	15
Tabelle 2.3-1: Expositionsabschnitte 2013, 2015 und 2022 .....	17
Tabelle 2.5-1: Beurteilungswerte für Immissionseinflüsse – OmH für Graskultur.....	19
Tabelle 2.5-2: Beurteilungswerte zur Gefährdungsabschätzung .....	22
Tabelle 3.1-1: Zuordnung der Antimonwerte oberhalb Bestimmungsgrenze zu den Messpunkten .....	25
Tabelle 3.1-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Antimon [mg/kg TM] .....	27
Tabelle 3.2-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Arsen zu den Messpunkten.....	28
Tabelle 3.2-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Arsen [mg/kg TM] .....	31
Tabelle 3.3-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Blei zu den Messpunkten .....	32
Tabelle 3.3-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Blei [mg/kg TM].....	35
Tabelle 3.4-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Cadmium zu den Messpunkten .....	36
Tabelle 3.4-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Cadmium [mg/kg TM] .....	38
Tabelle 3.5-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Chrom zu den Messpunkten .....	40
Tabelle 3.5-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Chrom [mg/kg TM].....	43
Tabelle 3.6-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Kupfer zu den Messpunkten .....	44
Tabelle 3.6-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Kupfer [mg/kg TM] .....	47
Tabelle 3.7-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Nickel zu den Messpunkten .....	48
Tabelle 3.7-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Nickel [mg/kg TM].....	50
Tabelle 3.8-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Quecksilber zu den Messpunkten.....	52
Tabelle 3.8-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Quecksilber [mg/kg TM].....	54
Tabelle 3.9-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Zink zu den Messpunkten .....	56
Tabelle 3.9-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Zink [mg/kg TM].....	58
Tabelle 3.10-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für 16 PAK zu den Messpunkten.....	60
Tabelle 3.10-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 16 PAK [µg/kg TM] .....	62
Tabelle 3.11-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für 12 PAK zu den Messpunkten.....	64
Tabelle 3.11-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 12 PAK [µg/kg TM] .....	66
Tabelle 3.12-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für PAK4 zu den Messpunkten.....	68
Tabelle 3.12-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für PAK4 [µg/kg TM] .....	70
Tabelle 3.13-1: Zuordnung der OmH-Überschreitungen für Benzo[a]pyren zu den Messpunkten.....	72
Tabelle 3.13-2: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Benzo[a]pyren [µg/kg TM] .....	74

Tabelle 10.1-1: Antimonergehalte (Beurteilungswerte nicht festgelegt).....	111
Tabelle 10.2-1: Arsengehalte und Beurteilungswerte .....	113
Tabelle 10.3-1: Bleiergehalte und Beurteilungswerte.....	115
Tabelle 10.4-1: Cadmium und Beurteilungswerte .....	117
Tabelle 10.5-1: Chromergehalte und Beurteilungswerte .....	119
Tabelle 10.6-1: Kupferergehalte und Beurteilungswerte .....	121
Tabelle 10.7-1: Nickelergehalte und Beurteilungswerte.....	123
Tabelle 10.8-1: Quecksilbergehalte und Beurteilungswerte.....	125
Tabelle 10.9-1: Zinkergehalte und Beurteilungswerte .....	127
Tabelle 10.10-1: PAK-Gehalte 2022 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Juni) bis 3 (August) .....	129
Tabelle 10.10-2: PAK-Gehalte 2015 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Juni) bis 3 (August) .....	130
Tabelle 10.10-3: PAK-Gehalte 2013 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Mai) bis 3 (Juli) .....	132

## 8 Flughafenbetrieb und Witterungseinflüsse

### 8.1 Flughafenbetrieb und Flugzahlen 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Im Jahr 2022 waren die monatlichen Flugbewegungen während der 3 Serien Graskultur im Juni, Juli und August mit jeweils rund 15.000 (graue Linie rechts in Bild 8.1-1) um 25%–75% höher als im Jahr 2015 (Mitte: Rückgang von rund 12.000 im Juni auf rund 8.000 im August). Im Jahr 2022 waren die monatlichen Flugzahlen sogar 2,5–2,7 Mal höher als im Vergleichszeitraum 2013 (links).

Im Jahr 2022 waren Nordbahn (blaue Balken in Bild 8.1-1) und Südbahn (orange Balken) in Betrieb. Im Juni während der 1. Serie Graskultur und besonders deutlich im Juli während der 2. Serie überwog der Betrieb in Richtung West (dunkle Balken) – bei Westwinden. Im August 2022 während der 3. Serie überwog hingegen der Betrieb in Richtung Ost (helle Balken) – bei Ostwinden.

Im Jahr 2015, war – aufgrund Sanierung der Nordbahn des Flughafens Schönefeld – nur die neue Südbahn (orange Balken, Mitte in Bild 8.1-1) in Betrieb. Im Juni und Juli, während der 1. und 2. Serie Graskultur, überwog wie 2022 sehr deutlich der Betrieb in Richtung West (dunkle Balken) – bei Westwinden.

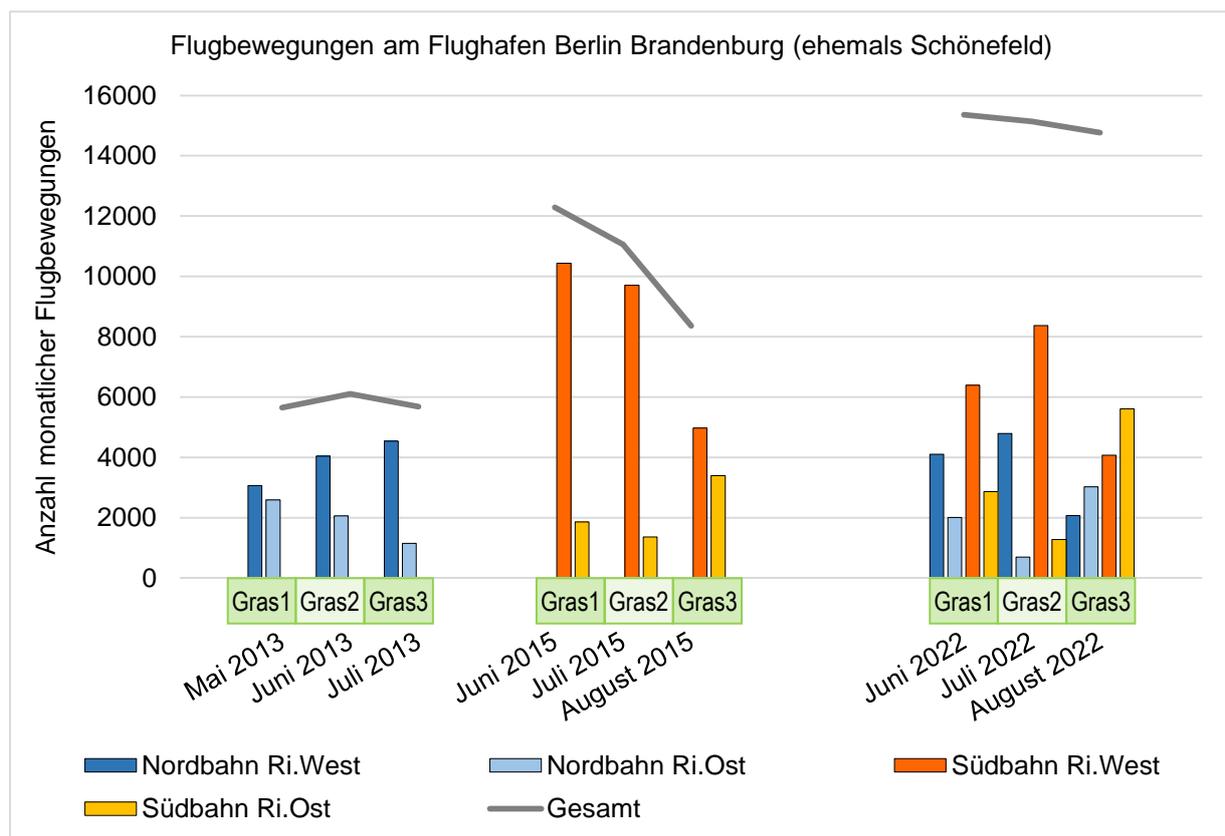


Bild 8.1-1: Monatliche Flugbewegungen 2022 (rechts) im Vergleich zu 2015 und 2013

Biomonitoring-Expositionsabschnitte von Graskultur grün unterlegt; Anzahl monatlicher Flugbewegungen nach Start-/Landebahnbetrieb (Nordbahn: blaue Balken, Südbahn: orange Balken) und Start-/Landerichtung (Richtung West bei Westwinden: dunkle Balken; Richtung Ost bei Ostwinden: helle Balken) [Datenquelle: FBB GmbH]

Im Jahr 2013 war die Nordbahn des Flughafens Schönefeld (blaue Balken, links in Bild 8.1-1) in Betrieb. Im Mai – während der 1. Serie Graskultur – überwog keine Richtung, im Juni und Juli hingegen – während der 2. und 3. Serie Graskultur – überwog der Betrieb in Richtung West (dunkle Balken) – bei Westwinden.

Zusammenfassung der Auswertungen der monatlichen Flugbewegungen am BER (Bild 8.1-1):

- Im Jahr 2022 waren im Biomonitoring-Zeitraum Juni–August beide Bahnen in Betrieb, die Nordbahn mit rund 5.000–6.000 monatlichen Flugbewegungen, die Südbahn mit rund 9.500. Im Jahr 2015 war – aufgrund Sanierung der Nordbahn des Flughafens Schönefeld – nur die neue Südbahn in Betrieb. Die monatlichen Flugbewegungen im Juni–August 2015 lagen mit rund 8.000–12.000 im Bereich des Vergleichszeitraums 2022. Im Jahr 2013 war die Nordbahn des Flughafens Schönefeld, mit nur rund 6.000 monatlichen Flugbewegungen.
- In den Monaten Juni und – besonders deutlich – Juli aller Biomonitoring-Zeiträume überwog Westbetrieb – bei Westwinden. Im August 2022 überwog Ostbetrieb – bei Ostwindlagen.

## 8.2 Witterungseinflüsse 2013, 2015 und 2022 – Niederschlag und Wind

Während des Biomonitorings 2022 waren die Regenmengen stark unterdurchschnittlich (Bild 8.2-1):

In der 1. Serie Graskultur im Juni 2022 waren Niederschläge mit insgesamt 20 mm sehr gering. Zu Beginn der 4. von 4. Expositionswochen fielen 12 mm Niederschlag.

In der 2. Serie im Juli 2022 betrug sie sogar nur 16 mm und in der letzten Expositionswoche nur 4 mm.

In der 3. Serie im August 2022 waren die Niederschläge ebenfalls mit 25 mm sehr gering. In der letzten Expositionswoche fielen 19 mm Regen.

Die Regenmengen während des Biomonitorings 2015 entsprachen dem langjährigen Mittel (Bild 8.2-2):

In der 1. Serie Graskultur im Juni 2015 wurden 64 mm Regen gemessen, am 23.06.2015 allein 23 mm.

In der 2. Serie im Juli 2015 war die Niederschlagsmenge mit 158 mm überdurchschnittlich. Aber in der 4. Expositionswoche fielen nur 15 mm, so wenig wie jeweils in der 4. Woche im Juni und August 2022.

In der 3. Serie im August 2015 waren die Niederschläge mit 46 mm durchschnittlich, ein Drittel davon, 15 mm, fielen in der 4. Expositionswoche.

Die Niederschlagsmengen, die während des Biomonitorings 2013 an der Station Bohnsdorf Waldstraße gemessen wurden, unterscheiden sich um teilweise mehr als das Doppelte von den Mengen, die an der Station Blankenfelde des Landesamts für Umwelt Brandenburg gemessen wurden und im Biomonitoring-Bericht 2015 veröffentlicht worden waren. Die Niederschlagsmengen, die an der Station Bohnsdorf Waldstraße gemessen wurden, wurden daher mit denen an der Station Bohnsdorf Glasower Damm verglichen – und bestätigt. Sie lagen weit über dem langjährigen Mittel (Bild 8.2-3):

In der 1. Serie im Mai 2013 156 mm, in der 2. Serie im Juni 147 mm und in der 3. Serie im Juli 96 mm.

In der 1. Serie fiel mit 143 mm fast der gesamte Niederschlag in der 2. Expositionshälfte.

In der 2. Serie fiel mit 138 mm ebenfalls fast der gesamte Niederschlag in der 2. Expositionshälfte.

In der 3. Serie fiel mit 95 mm nahezu der gesamte Niederschlag in den letzten 9 Expositionstagen.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Niederschlagsmengen – während der 3. Graskultur-Expositionen 2013 und der 2. Exposition 2015 hohe Mengen gegenüber äußerst geringen Mengen 2022 – könnte man unterschiedliche Stoffgehalte durch Abwaschungseffekte erwarten. Diese wurden aber nicht deutlich (vgl. z. B. Arsen und Cadmium Kap. 3.2 und 3.4). Weitere Effekte könnten relevant sein, z.B. der Einfluss der Aufnahme besonders mobiler Metalle über den Boden (z. B. Nickel) und eine vermehrte Aufnahme gerade in nassen Expositionsperioden.

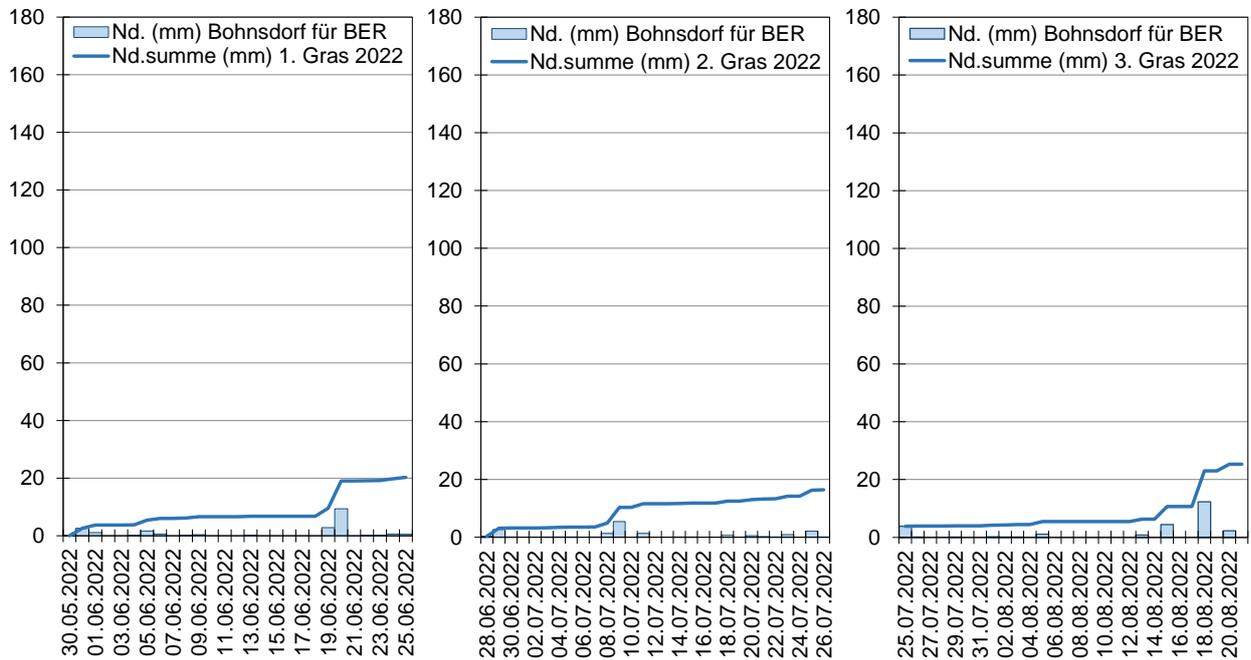


Bild 8.2-1: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2022

[Datenquelle: Station Bohnsdorf Waldstraße für die Meteorologie der FBB GmbH]

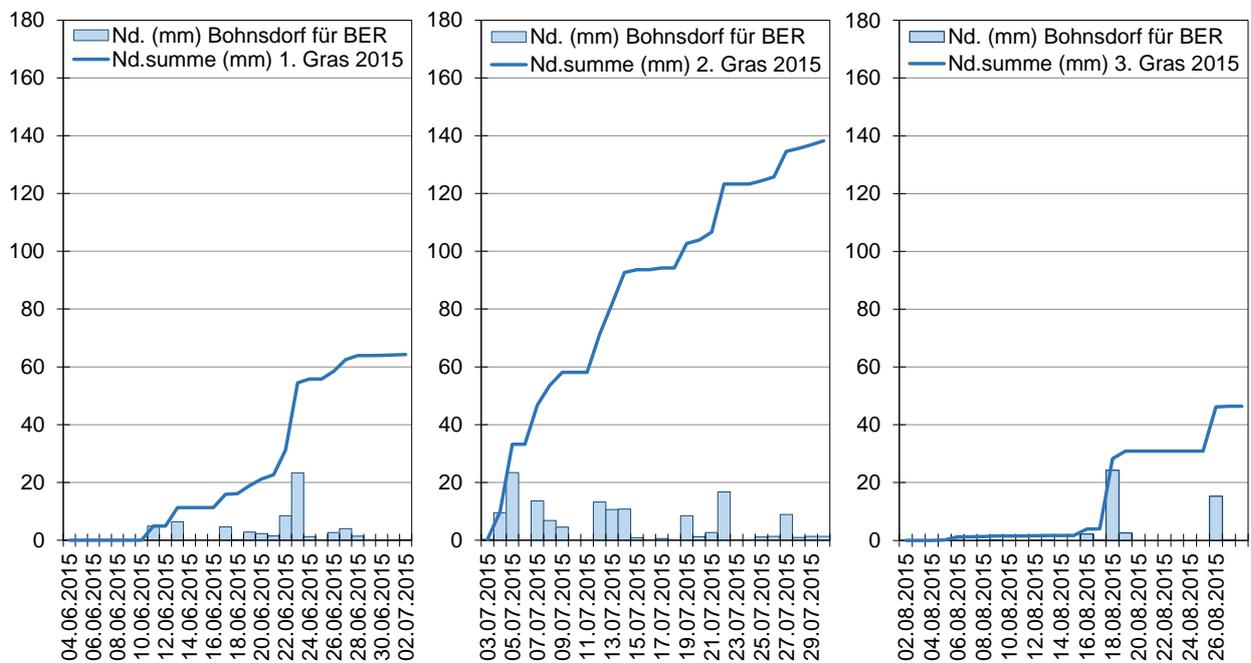


Bild 8.2-2: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2015

[Datenquelle: Station Bohnsdorf Waldstraße für die Meteorologie der FBB GmbH]

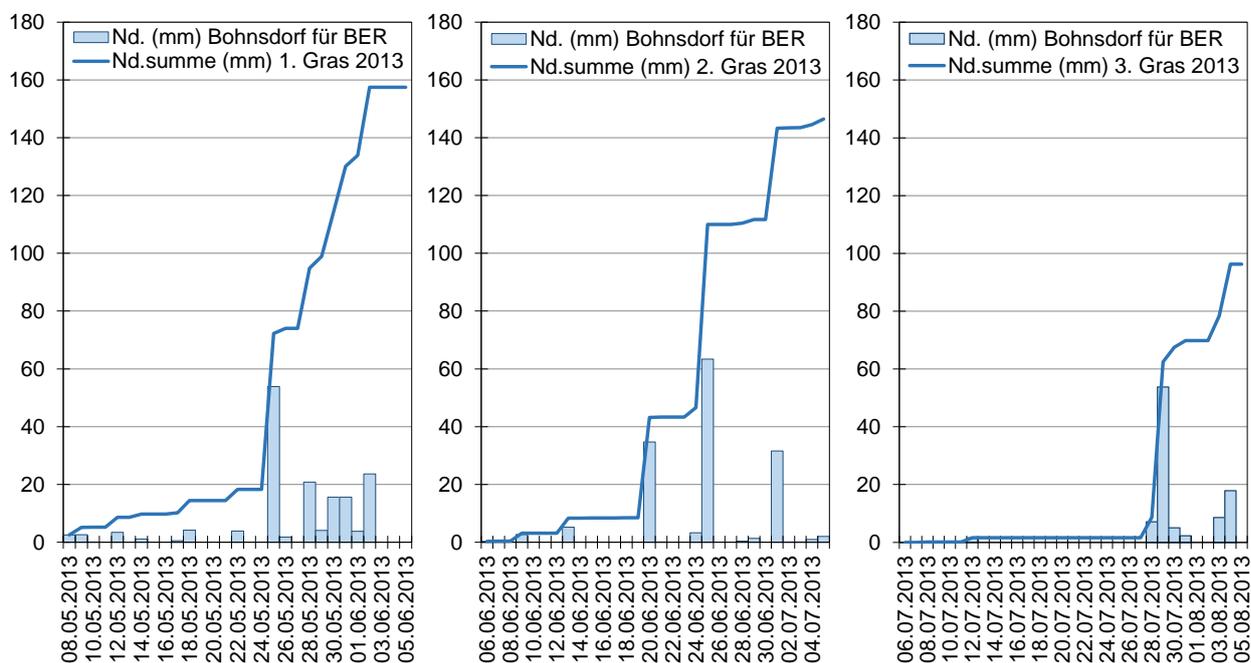


Bild 8.2-3: Niederschlagsmengen in mm während der Graskulturserien 2013

[Datenquelle: Station Bohnsdorf Waldstraße für die Meteorologie der FBB GmbH]

Die **Windrichtungen und -geschwindigkeiten** werden als Windrosen gezeigt: Windrichtung (aus Richtung) und Windgeschwindigkeit [m/s] in unterschiedlich farbig markierten Klassen (Bild 8.2-4). Die Windverhältnisse beeinflussen die Verdriftung von direkten Immissionen und die Abdrift von Bodenstaub.

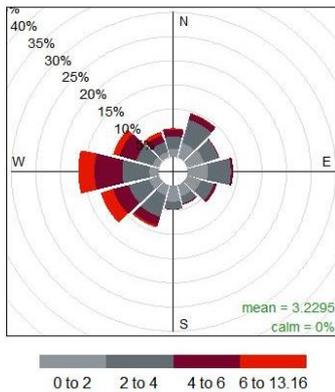
Im Juni 2022 wehte der Wind während der 1. Serie Graskultur häufiger aus westlichen Richtungen mit schwachen bis stärkeren Winden mit Geschwindigkeiten bis 13 m/s, weniger häufig und mit geringeren Geschwindigkeiten aus östlichen Richtungen.

Im Juli 2022, während der 2. Serie, wehte der Wind ganz vorwiegend aus West (west-südwestliche bis west-nordwestliche Richtungen) mit vorwiegend mäßigen bis starken Windgeschwindigkeiten bis 11 m/s. Die Windsituation während der 3. Serie im August 2022 unterschied sich davon: Ostwinde mit geringeren Windgeschwindigkeiten bis 4 m/s überwogen.

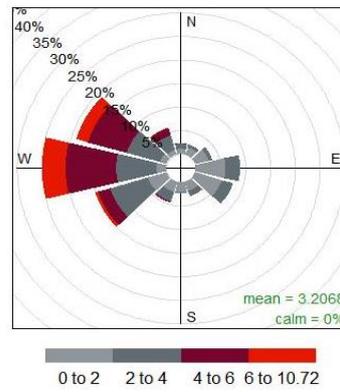
Im Juni 2015 wehte der Wind während der 1. Serie Graskultur mehr aus westlichen als östlichen Richtungen, mit geringen bis mäßigen Windgeschwindigkeiten.

Im Juli 2015, während der 2. Serie, wehte der Wind ganz vorwiegend aus west-südwestlichen Richtungen mit mäßigen bis starke Windgeschwindigkeiten bis 13 m/s.

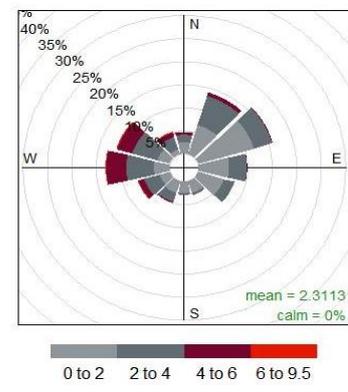
Die Windsituation während der 3. Serie im August 2015 unterschied sich davon deutlich: Ostwinde mit geringeren Windgeschwindigkeiten überwogen.



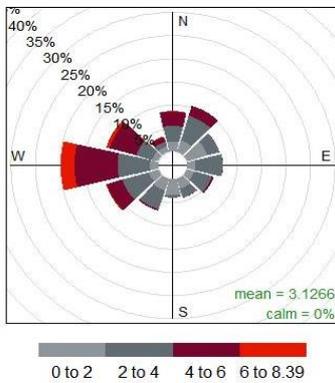
Gras Serie 1: 30.05.–25.06.2022



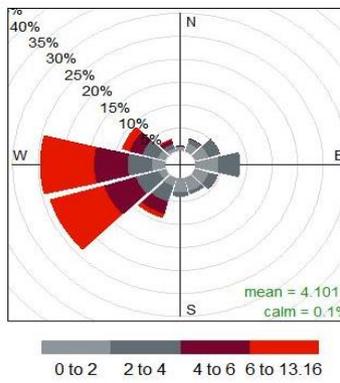
Gras Serie 2: 26.06.–24.07.2022



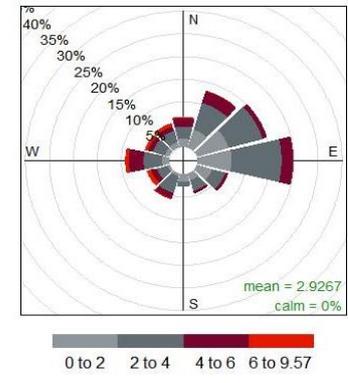
Gras Serie 3: 25.07.–21.08.2022



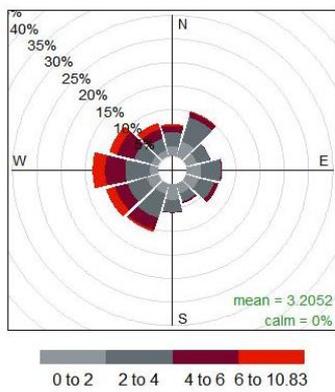
Gras Serie 1: 04.06.–02.07.2015



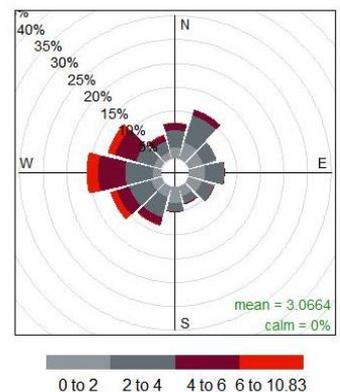
Gras Serie 2: 03.07.–30.07.2015



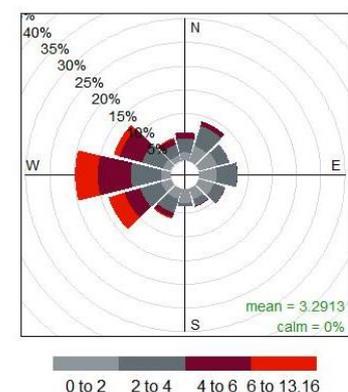
Gras Serie 3: 31.07.–26.08.2015



Gras Serie 1: 08.05.–05.06.2013



Gras Serie 2: 06.06.–05.07.2013



Gras Serie 3: 06.07.–05.08.2013

Bild 8.2-4: Windrichtung und Windgeschwindigkeit 2022 (oben), 2015 (Mitte), 2013 (unten)

Windrichtung (aus Richtung) und -geschwindigkeit (m/s: farbiger Balken) mit Mittelwert („mean“ in m/s) und Anteil Calmen in % (grüne Schrift) [Datenquelle: FBB GmbH von Station Bohnsdorf Eichbuschplatz]

Im Mai 2013, während der 1. Serie Graskultur, wehte der Wind anteilmäßig etwas häufiger aus westlichen als aus östlichen Richtungen. Die Winde aus westlichen Richtungen wiesen deutlich höhere Geschwindigkeiten auf (bis 11 m/s), als die aus östlichen Richtungen (bis 6 m/s).  
Im Juni 2013, während der 2. Serie, wehte der Wind wieder etwas häufiger aus westlichen Richtungen und mit höheren Windgeschwindigkeiten als aus östlichen Richtungen.

Deutlicher ausgeprägt war die Windsituation während der 3. Serie im Juli 2013: Der Wind wehte vorwiegend aus West (von West-Südwest bis West-Nordwest) mit höheren Windgeschwindigkeiten bis 13 m/s.

Im Betrachtungszeitraum überwogen Westwinde gegenüber Winden aus östlichen Richtungen, besonders eindeutig im Juli 2022 und im Juli 2015 (jeweils 2. Graskulturserie). Anders im August 2022 und deutlicher im August 2015 (jeweils 3. Graskulturserie): Ostwinde mit geringeren Windgeschwindigkeiten überwogen (Bild 8.2-4).

## 9 Biomonitoring Messnetz – Messpunkt-Kennblätter

### 9.1 Messpunkt FWM

Flughafen West Mahlow

Koordinaten (WG S84) N: 52,33194, O: 13,41417

Südbahn Gradient nach West, Dahlewitz

im Flugrouten-Bereich,  
in landwirtschaftlich genutztem Umfeld



Der Messpunkt FWM befindet sich ca. 3 km westlich des Endes der Südbahn im Acker – mit temporären landwirtschaftlichen Aktivitäten. Er ist in Ortsrandlage Mahlow gelegen, ca. 400 m von nächster Hauptstraße und Wohnhäusern entfernt. Während des Biomonitorings 2015 und seit der Eröffnung des BER liegt er im Gradienten des Flugverkehrseinflusses unter Überflug bei Landungen in Richtung Ost (rot gestrichelte Linie in Bild 9.1-1, oben). Im Jahr 2013 war er aufgrund des Betriebs der Nordbahn ohne unmittelbaren Überflug gelegen.



Bild 9.1-1: FWM Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

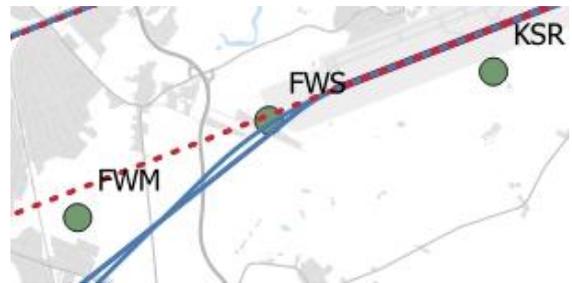
## 9.2 Messpunkt FWS

Flughafen West Südbahn

Koordinaten (WG S84) N: 52,34194, O: 13,4561

nahe Flughafenzaun am Westende der Südbahn

im Flugrouten-Bereich,  
auf naturnaher Fläche



Der Messpunkt FWS befindet sich auf einer Wiese nahe am Flughafenzaun neben Funkfeuer vor einer Kleingartensiedlung (in ca. 100 m angrenzend). Der Abstand zum Ende der Südbahn beträgt ca. 1 km und ca. 80 m von der öffentlich genutzten Straße um den Flughafen. Diese Straße wurde 2022 deutlich mehr befahren als vor Eröffnung des BER. Nächste Siedlungen sind ca. 1 km entfernt (Selchow, Mahlow, westlich). Während des Biomonitorings 2015 und seit der Eröffnung des BER liegt der Messpunkt unter Start-Überflug in Richtung West (blaue Linien) und Landungen in Richtung Ost (rot gestrichelte Linie in Bild 9.2-1, oben). Im Jahr 2013 war er aufgrund Betriebs der Nordbahn ohne unmittelbaren Überflug gelegen. Ein Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme des BER wurde erwartet.



Bild 9.2-1: FWS Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

### 9.3 Messpunkt FOS

Flughafen Ost Südbahn

Koordinaten (WG S84) N: 52,30000, O: 13,53556

nahe Flughafenzaun am Ostende der Südbahn

im Flugrouten-Bereich,  
in landwirtschaftlich genutztem Umfeld



Der Messpunkt befindet sich auf einem Wiesenstreifen nahe Flughafenzaun an der Südbahn im Abstand von ca. 500 m zum Start-/Landebahnkopf, nahe Ackerland mit temporären landwirtschaftlichen Aktivitäten (2013: Gemüse, 2015, 2022: Getreide). Er ist ca. 800 m von der Autobahn A113 und ca. 1 km von Haus/Gehöft und Siedlung (Waltersdorf, östlich) entfernt. Während des Biomonitorings 2015 und seit der Eröffnung des BER liegt der Messpunkt unter Überflug für Landungen in Richtung West (rot gestrichelte Linie in Bild 9.3-1, oben) und Starts in Richtung Ost (blaue Linie) bei entsprechender Windrichtung. Im Jahr 2013 war er aufgrund Betriebs der Nordbahn ohne unmittelbaren Überflug gelegen. Ein Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme des BER wurde erwartet. Diese Straße um den Flughafen geht in einen Feldweg über, der weniger als 50 m am Messpunkt vorbeiführt und 2022 deutlich mehr befahren wird als vor Eröffnung des BER, insbesondere an Wochenenden mit Quads.

Im Jahr 2015 wurden, wie an RZN, an FOS Parallelexpositionen durchgeführt.



Bild 9.3-1: FOS Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) u. Landerouten (rot); Foto: G. Wicker LIGATUR]

## 9.4 Messpunkt FOW

Flughafen Ost Südbahn

Koordinaten (WG S84) N: 52,36806, O: 13,56694

Südbahn Gradient nach Ost, östlich Waltersdorf

im Flugrouten-Bereich,  
in landwirtschaftlich genutztem Umfeld,  
auf naturnaher Fläche



Der Messpunkt ist ca. 3 km in westlicher Richtung von der Südbahn des BER entfernt. Er liegt östlich von Gewerbegebiet und Siedlung Waltersdorf im Abstand von mindestens 500 m und in ca. 300m Abstand zu einer Tennishalle, südwestlich von Siedlung Vorwerk. Der Messpunkt befindet sich auf einer Brachwiese mit geringer Hangneigung (Naturschutzfläche) an Ackerland (südlich) angrenzend. Er bildet den Gradienten zu Messpunkt FOS. Während des Biomonitorings 2015 und seit der Eröffnung des BER liegt der Messpunkt unter Überflug für Landungen in Richtung West (rot gestrichelte Linie in Bild 9.4-1, oben), nicht aber für Starts in Richtung Ost. Im Jahr 2013 war er aufgrund Betriebs der Nordbahn ohne unmittelbaren Überflug gelegen.



Bild 9.4-1: FOW Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

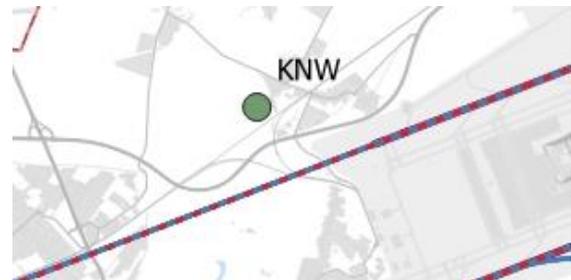
## 9.5 Messpunkt KNW

Kontrolle Nord Waßmannsdorf

Koordinaten (WG S84) N: 52,37028, O: 13,46028

nördlich der Nordbahn bei Waßmannsdorf

in landwirtschaftlich genutztem Umfeld  
auf naturnaher Fläche



Der Kontrollmesspunkt befindet sich am westlichen Ortsrand von Waßmannsdorf, ca. 1,4 km west-nord-westlich der Nord-Start-/Landebahn, ca. 200 m vom nächsten Gehöft und ca. 250 m von der Siedlung entfernt; 150 m von Bahngleisen und ca. 400 m von Bundesstraße B96 entfernt. Bis 2015 lag er nahe einem bewachsenem Wall (Bauschutt) in einer Ausgleichsfläche und 2022 ca. 50 m nordöstlich davon auf einer Brachwiese. Im Jahr 2015 fanden Straßenbauarbeiten in ca. 400 m Entfernung nördlich in Waßmannsdorf statt. Als Kontrollmesspunkt war er 2013 und 2022 bei Nordbahnbetrieb ohne Überflug, außerhalb des prognostizierten Einflussbereichs des BER gelegen (Linien in Bild 9.5-1, oben).



Bild 9.5-1: KNW Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

## 9.6 Messpunkt KSR

Kontrolle Süd Rotberg

Koordinaten (WG S84) N: 52,34694, O: 13,49361

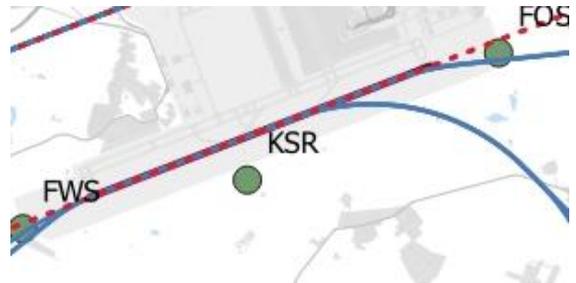
südlich der Südbahn, nahe Rotberg

\*im Jahr 2022 um 70m näher an Südbahn versetzt

320m\* /390m seitlich Südbahn

in landwirtschaftlich genutztem Umfeld

auf naturnaher Fläche



Der Kontrollmesspunkt befindet sich in landwirtschaftlich geprägtem Umfeld, südlich der Südbahn Richtung Rotberg, bis 2015 auf einer Wiese in einer Fläche einer Ausgleichsmaßnahme, ca. 390 m von der Rollbahn entfernt und ca. 500 m von Hofgut (nördlich, durch Wald abgeschirmt). Bis 2015 war er ca. 100 m von der öffentlich genutzten Straße um den Flughafen entfernt. Im Jahr 2022 wurde er ca. 70 m näher an den Flughafenzaun und damit auch näher an die Straße versetzt und gleichzeitig ca. 400 m nach Osten, auf eine Brachwiese. Die Straße um den Flughafen geht in einen Feldweg über, der in weniger als 50 m am Kontrollmesspunkt 2022 vorbeiführt und deutlich mehr befahren wird, als vor Eröffnung des BER, insbesondere an Wochenenden mit Quads. KSR wird nicht überflogen, liegt aber am Rand des prognostizierten Einflussbereichs des BER: Verdriftung aus Bodenverkehr ist möglich (Bild 9.6-1, oben).



Bild 9.6-1: KSR Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten, links bis 2015, rechts 2022)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

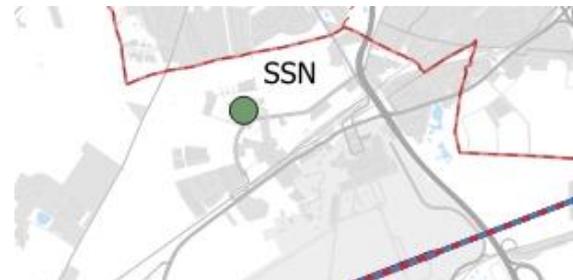
## 9.7 Messpunkt SSN

Siedlungsgebiet Schönefeld Nord

Koordinaten (WG S84) N: 52,39333, O: 13,49944

nördlich des Flughafens auf Schul-/Kitagelände

im Ortsbereich,  
Kfz-Verkehr (Stopp&Go) – bis 2015,  
Wohngebiet



Der Siedlungsmesspunkt befindet sich in Alt-Schönefeld, bis 2015 ca. 30 m von einer Nebenstraße, dem Schulgebäude und dem Lehrerparkplatz entfernt, nächste Häuser ca. 200 m sowie ein Erdlager und Gewerbegebiet ca. 1 km entfernt (unten links in Bild 9.7-1). Im Jahr 2022 wurde der Messpunkt ca. 180 m nach Westen verschoben, auf das Gelände der benachbarten Kindertagesstätte und damit ca. 150 m von der Nebenstraße entfernt, unmittelbar neben das Kitagebäude und die Wohnbebauung (in je ca. 15 m, unten rechts in Bild 9.7-1). Der Siedlungsmesspunkt ist ca. 2,3 km nördlich der Nordbahn gelegen, ohne Überflug, außerhalb des prognostizierten Einflussbereichs des BER; (Bild 9.7-1, oben).

Bei der Grasexposition im Mai 2013 sowie im August 2015 gab es Bauarbeiten auf dem Schulgelände.



Bild 9.7-1: KSR Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten, links bis 2015, rechts 2022)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot); Foto unten links: Günter Wicker LIGATUR]

## 9.8 Messpunkt SSS

Siedlungsgebiet Schulzendorf Süd

Koordinaten (WG S84) N: 52,35889, O: 13,59083

südlich des Flughafens auf Schulgelände

im Ortsbereich,

Wohngebiet

Überflug in 1000 m Höhe

Der Siedlungsmesspunkt befindet sich auf einer Wiese auf dem Gelände der Grundschule in Schulzendorf. Eine kaum befahrene Nebenstraße ist ca. 80 m entfernt, Schulsportplatz, Feuerwehrgelände und Baumbestand jeweils ca. 20 m, sowie nächste Wohnhäuser ca. 50 m. Aufgrund der Erweiterung der Schule befand sich im Jahr 2022 ein ca. 3 m hoher Schulcontainer zwischen Graskulturen und Schulsportplatz. Das östliche Ende der Südbahn des Flughafens liegt ca. 4,7 km westlich. Seit Eröffnung des BER erfolgen Überflüge von Starts in Richtung Ost in ca. 100 m Höhe (blaue Linie in Bild 9.8-1, oben). Der Baumbestand im Westen beschattet die Graskulturen teilweise (Abstand entspricht knapp der Baumhöhe; größerer Abstand war nicht möglich)

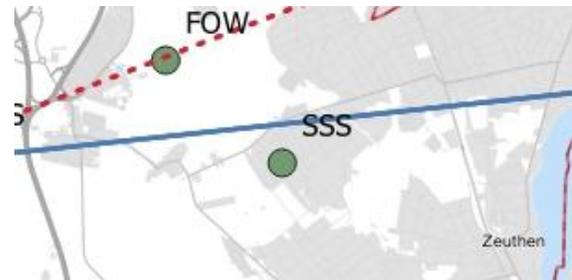


Bild 9.8-1: SSS Kartenausschnitt (oben) und Fotos (unten: links bis 2015; rechts 2022)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot); Foto unten links: Günter Wicker LIGATUR]

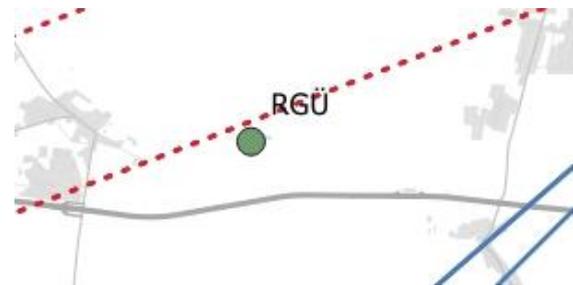
## 9.9 Messpunkt RGÜ

Referenz Genshagen (mit hohem Überflug)

Koordinaten (WG S84) N: 52,31333, O: 13,34278

westlich des Untersuchungsgebiets Ri. Ludwigsfelde

in landwirtschaftlich genutztem Umfeld,  
Überflug in über 1000 m Höhe



Der Referenzmesspunkt ist östlich Genshagen-Ludwigsfelde im Flächenpool Seggewiese gelegen, umgeben von Wiesen und Ackerland. Er repräsentiert den regionalen, straßen-, flugverkehrs- und siedlungsfernen Hintergrund: ca. 9 km west-südwestlich der Südbahn des BER; unmittelbar neben kaum befahrenem Plattenweg (unten Bild 9.9-1), ca. 500 m von nächstem Acker, ca. 600 m von der Autobahn A10 und mehr als 1 km von Siedlung und Gewerbe entfernt. Der Referenzmesspunkt befindet sich außerhalb des Bereichs prognostiziertem Aufschlagsbereich flugbedingter Immissionen. Er wurde 2015 und seit Eröffnung des BER durch landende Flugzeuge in über 100 m Höhe überflogen (rot gestrichelte Linie in Bild 9.9-1, oben).



Bild 9.9-1: RGÜ Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

## 9.10 Messpunkt RZN

Referenz Referenz Zülniederung (mit hohem Überflug)

Koordinaten (WG S84) N: 52,26472, O: 13,43194

südlich des Untersuchungsgebiets, Groß-Machnow

in landwirtschaftlich genutztem Umfeld,  
auf naturnaher Fläche,  
Überflug in ca. 2000 m Höhe



Der Referenzmesspunkt befindet sich in der Zülniederung westlich Groß-Machnow auf einer Brachwiese in landschaftlich wertvollen Ausgleichsflächen, umgeben von Wiesen und Äckern. Er repräsentiert den regionalen, straßen-, flugverkehrs- und siedlungsfernen Hintergrund ca. 9 km südlich der Südbahn des BER; bis Juni 2013 und im Jahr 2022 war er nur ca. 30 m von einem kaum befahrenen Plattenweg entfernt. Ab Juli 2013 und in 2015 war er zum Schutz vor Vandalismus ca. 200 m östlich versetzt; (unten Bild 9.10-1). Er ist ca. 300 m von Bahngleisen und ca. 1 km von Siedlung und Gewerbe entfernt. Der Referenzmesspunkt liegt außerhalb des Aufschlagsbereichs, auch ab Eröffnung des BER: Beim Überflug in ca. 2000 m Höhe (blaue Linie in Bild 9.10-1, oben) erreichen laut Immissionsprognose die Emissionen nicht mehr den Boden.

In den Jahren 2013 und 2015 wurden an RZN Parallelexpositionen durchgeführt – die in der 1. und 2. Serie 2013 (Mai, Juni) wegen Vandalismus ausfielen. Im Jahr 2015 gab es in der 3. Serie (August) wegen Vandalismus einen Totalausfall an RZN.



Bild 9.10-1: RZN Kartenausschnitt (oben) und Foto (unten)

[Karte: Flughafen Berlin Brandenburg GmbH 1:130000: Start- (blau) und Landerouten (rot)]

## 10 Ergebnisse 2022, 2015, 2013: Tabellen und Grafiken

### 10.1 Antimon in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.1-1: Antimongehalte (Beurteilungswerte nicht festgelegt)

Graskultur 2022: Antimon [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,01					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,005	0,005	0,005	0,005	
FWS	0,010	0,005	0,011	0,009	0,003
FOS	0,012	0,025	0,011	0,016	0,008
FOW	0,005	0,016	0,005	0,009	0,006
KNW	0,005	0,010	0,005	0,007	0,003
KSR	0,005	0,012	0,005	0,007	0,004
SSN	0,005	0,005	0,005	0,005	
SSS	0,005	0,005	0,005	0,005	
RGÜ	0,005	0,005	0,005	0,005	
RZN	0,005	0,005	0,005	0,005	
OmH:	>75% Werte <BG		Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min: -

Graskultur 2015: Antimon [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,05					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,025	0,025	0,025	0,025	0
FWS	0,025	0,025	0,025	0,025	0
FOS	0,025	0,025	0,025	0,025	0
FOW	0,025	0,025	0,025	0,025	0
KNW	0,025	0,025	0,025	0,025	0
KSR	0,025	0,025	0,025	0,025	0
SSN	0,025	0,025	0,025	0,025	0
SSS	0,025	0,025	0,025	0,025	0
RGÜ	0,025	0,025	0,025	0,025	0
RZN	0,025	0,025		0,025	
OmH:	>75% Werte <BG		Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min: -

Graskultur 2013: Antimon [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,04					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,020	0,020	0,020	0,020	
FWS	0,046	0,020	0,020	0,029	0,015
FOS	0,020	0,020	0,020	0,020	
FOW	0,020	0,020	0,020	0,020	
KNW	0,055	0,020	0,020	0,032	0,020
KSR	0,046	0,020	0,020	0,029	0,015
SSN	0,045	0,020	0,020	0,028	0,014
SSS	0,020	0,020	0,020	0,020	
RGÜ	0,020	0,020	0,020	0,020	
RZN	0,020	0,020	0,020	0,020	
OmH:	>75% Werte <BG		Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min: -

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: kein OmH möglich; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt – diese Beurteilungswerte für Sb nicht festgelegt (Tabelle 2.5 2).

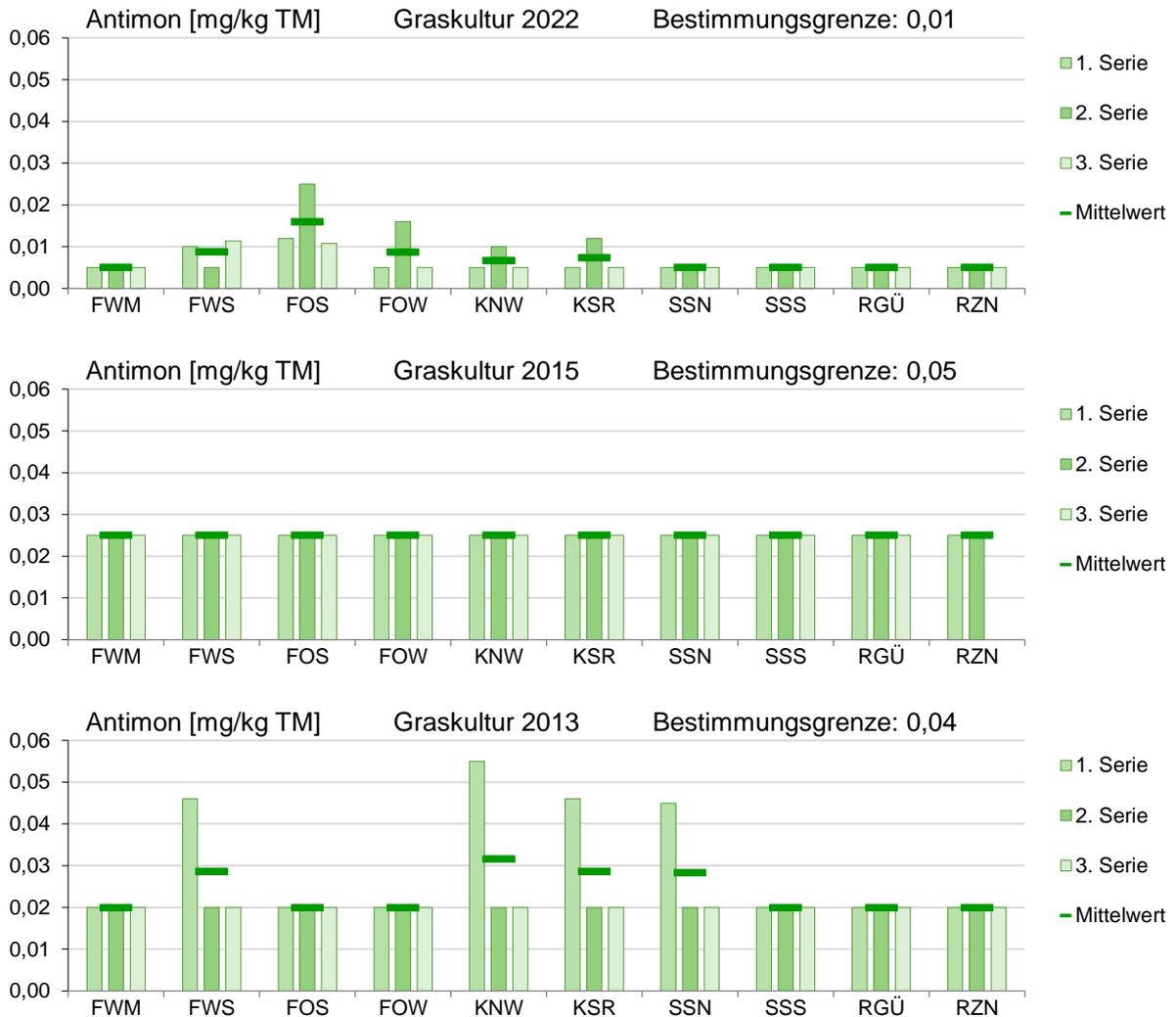
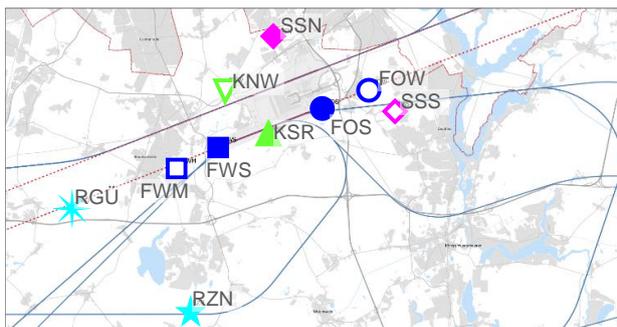


Bild 10.1-1: Antimongehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten) – OmH nicht möglich da > 75% der Werte < Bestimmungsgrenze



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, ○ im Gradienten blau
- ▲ Kontrollmesspunkte grün
- ◆ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.2 Arsen in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.2-1: Arsengehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Arsen [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,013					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,09	0,09	0,17	0,12	0,05
FWS	0,14	0,12	0,15	0,14	0,02
FOS	0,14	0,15	0,15	0,15	0,00
FOW	0,10	0,14	0,13	0,12	0,02
KNW	0,08	0,11	0,13	0,11	0,02
KSR	0,12	0,15	0,15	0,14	0,02
SSN	0,10	0,11	0,13	0,11	0,01
SSS	0,08	0,11	0,13	0,11	0,02
RGÜ	0,09	0,12	0,14	0,12	0,02
RZN	0,09	0,11	0,12	0,11	0,02
OmH:	0,23	Höchstgehalt:	2,3	BU-Wert Min:	2,3

Graskultur 2015: Arsen [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,013					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,12	0,19	0,22	0,18	0,05
FWS	0,15	0,17	0,20	0,17	0,03
FOS	0,19	0,21	0,27	0,22	0,04
FOW	0,18	0,16	0,22	0,19	0,03
KNW	0,17	0,21	0,26	0,21	0,04
KSR	0,16	0,16	0,25	0,19	0,05
SSN	0,14	0,14	0,23	0,17	0,05
SSS	0,11	0,16	0,17	0,15	0,03
RGÜ	0,14	0,16	0,22	0,17	0,04
RZN	0,14	0,15		0,15	0,00
OmH:	0,23	Höchstgehalt:	2,3	BU-Wert Min:	2,3

Graskultur 2013: Arsen [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,013					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,11	0,20	0,24	0,18	0,06
FWS	0,15	0,20	0,22	0,19	0,04
FOS	0,13	0,26	0,29	0,23	0,09
FOW	0,16	0,24	0,29	0,23	0,07
KNW	0,14	0,26	0,24	0,21	0,07
KSR	0,16	0,25	0,26	0,22	0,05
SSN	0,12	0,24	0,31	0,22	0,10
SSS	0,10	0,21	0,27	0,19	0,09
RGÜ	0,13	0,25	0,34	0,24	0,11
RZN	0,11	0,22	0,27	0,20	0,08
OmH:	0,23	Höchstgehalt:	2,3	BU-Wert Min:	2,3

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  13% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

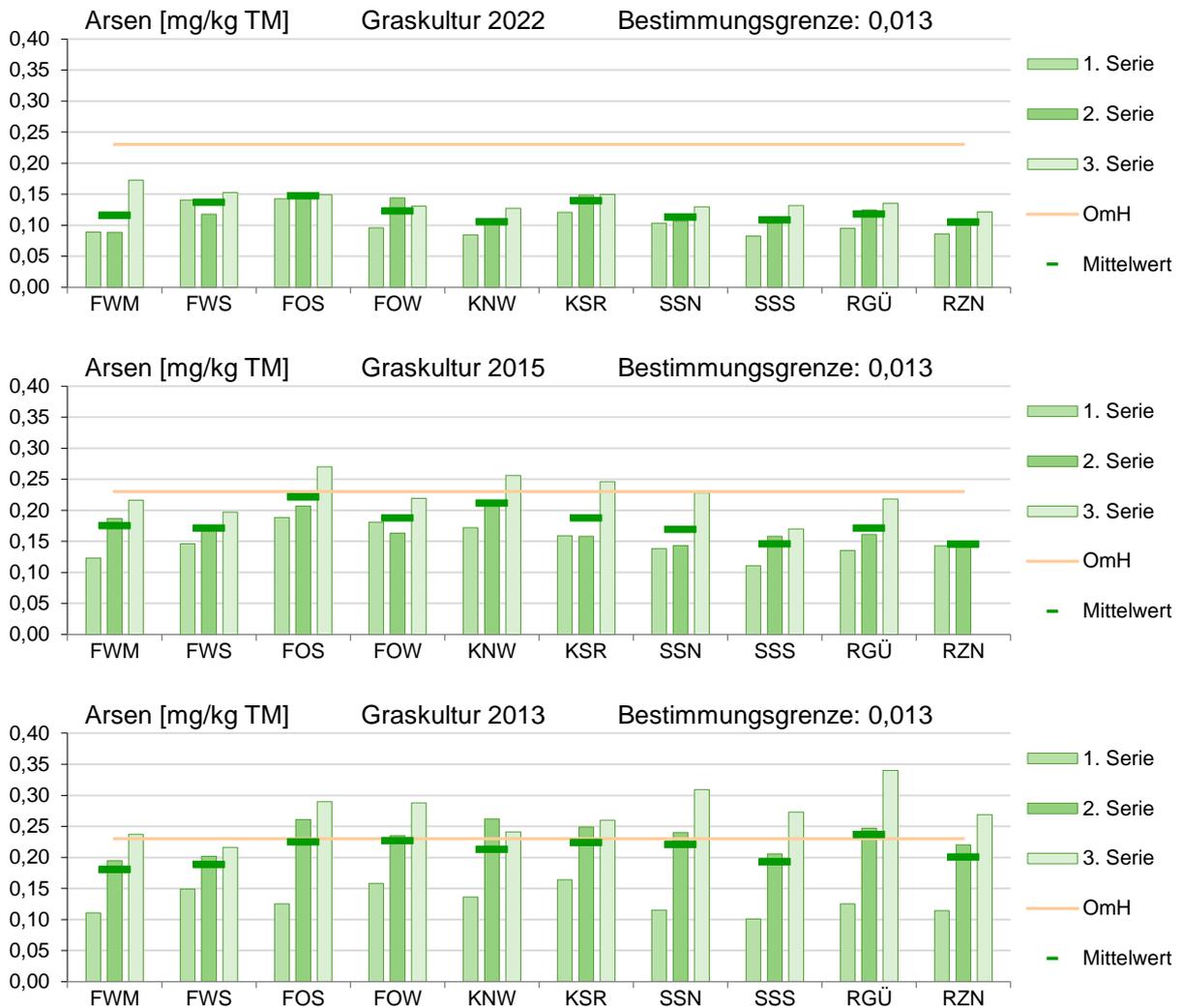
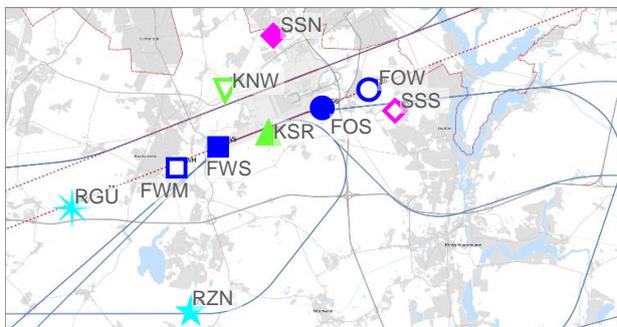


Bild 10.2-1: Arsengehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].  
 Erläuterung der Messpunktsymbole:  
 ■● an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau  
 ▲▼ Kontrollmesspunkte grün  
 ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta  
 ★★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

### 10.3 Blei in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.3-1: Bleigehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Blei [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,15	0,18	0,31	0,21	0,08
FWS	0,45	0,29	0,41	0,39	0,08
FOS	0,38	0,45	0,33	0,39	0,06
FOW	0,19	0,21	0,28	0,23	0,05
KNW	0,16	0,17	0,19	0,18	0,02
KSR	0,34	0,44	0,35	0,38	0,05
SSN	0,23	0,15	0,16	0,18	0,05
SSS	0,09	0,14	0,14	0,12	0,03
RGÜ	0,13	0,27	0,16	0,19	0,08
RZN	0,17	0,21	0,19	0,19	0,02
OmH:	0,32	Höchstgehalt:	34	BU-Wert Min:	1,0

Graskultur 2015: Blei [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,11	0,10	0,35	0,19	0,14
FWS	0,16	0,31	0,32	0,26	0,09
FOS	0,30	0,26	0,43	0,33	0,09
FOW	0,22	0,25	0,25	0,24	0,02
KNW	0,22	0,14	0,27	0,21	0,06
KSR	0,19	0,15	0,33	0,22	0,09
SSN	0,19	0,15	0,19	0,18	0,02
SSS	0,17	0,12	0,16	0,15	0,03
RGÜ	0,15	0,13	0,21	0,16	0,04
RZN	0,16	0,15		0,15	0,01
OmH:	0,32	Höchstgehalt:	34	BU-Wert Min:	1,0

Graskultur 2013: Blei [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,17	0,12	0,25	0,18	0,06
FWS	0,32	0,20	0,13	0,22	0,10
FOS	0,32	0,23	0,30	0,28	0,05
FOW	0,45	0,21	0,21	0,29	0,14
KNW	0,38	0,25	0,37	0,33	0,07
KSR	0,33	0,20	0,21	0,25	0,07
SSN	0,27	0,28	0,22	0,26	0,03
SSS	0,20	0,15	0,19	0,18	0,03
RGÜ	0,22	0,21	0,18	0,20	0,02
RZN	0,25	0,23	0,22	0,23	0,01
OmH:	0,32	Höchstgehalt:	34	BU-Wert Min:	1,0

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  15% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

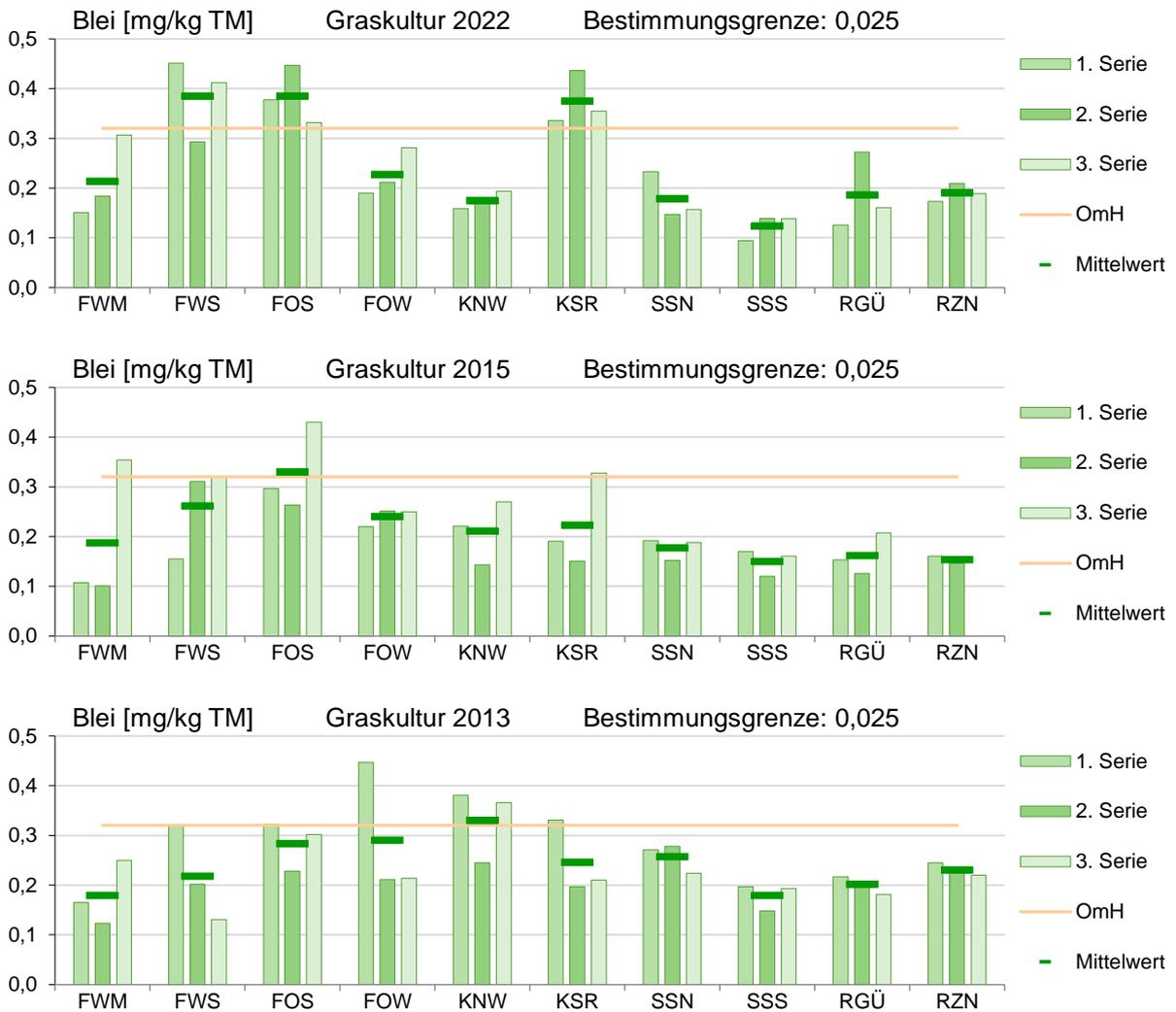
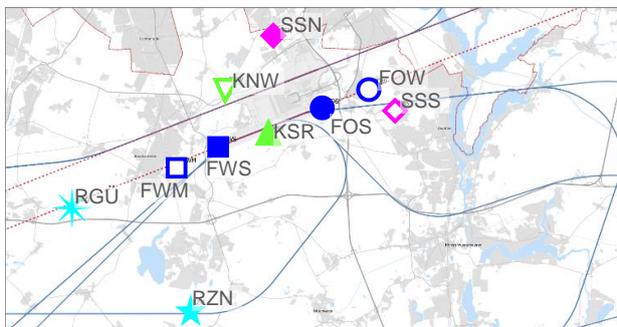


Bild 10.3-1: Bleigehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▽ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.4 Cadmium in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.4-1: Cadmium und Beurteilungswerte

Graskultur 2022:		Cadmium [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,0025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,026	0,030	0,035	0,030	0,005
FWS	0,031	0,036	0,038	0,035	0,003
FOS	0,026	0,039	0,040	0,035	0,008
FOW	0,022	0,030	0,034	0,029	0,006
KNW	0,018	0,029	0,029	0,026	0,006
KSR	0,026	0,031	0,034	0,031	0,004
SSN	0,021	0,029	0,036	0,029	0,007
SSS	0,021	0,029	0,035	0,028	0,007
RGÜ	0,019	0,027	0,026	0,024	0,004
RZN	0,024	0,028	0,031	0,028	0,003
OmH:	0,049	Höchstgehalt:	1,1	BU-Wert Min:	0,68

Graskultur 2015:		Cadmium [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,0025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,032	0,048	0,037	0,039	0,008
FWS	0,031	0,055	0,035	0,040	0,013
FOS	0,040	0,043	0,048	0,044	0,004
FOW	0,034	0,053	0,039	0,042	0,010
KNW	0,035	0,047	0,046	0,043	0,007
KSR	0,031	0,048	0,041	0,040	0,009
SSN	0,037	0,048	0,033	0,039	0,008
SSS	0,029	0,043	0,032	0,035	0,007
RGÜ	0,032	0,036	0,039	0,036	0,004
RZN	0,037	0,046		0,041	0,006
OmH:	0,049	Höchstgehalt:	1,1	BU-Wert Min:	0,68

Graskultur 2013:		Cadmium [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,0025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,026	0,025	0,040	0,030	0,008
FWS	0,029	0,028	0,020	0,026	0,005
FOS	0,035	0,030	0,060	0,042	0,016
FOW	0,041	0,027	0,043	0,037	0,009
KNW	0,037	0,034	0,031	0,034	0,003
KSR	0,033	0,031	0,036	0,033	0,003
SSN	0,034	0,032	0,023	0,030	0,006
SSS	0,029	0,026	0,024	0,026	0,003
RGÜ	0,029	0,032	0,034	0,032	0,003
RZN	0,035	0,034	0,032	0,034	0,002
OmH:	0,049	Höchstgehalt:	1,1	BU-Wert Min:	0,68

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  19% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

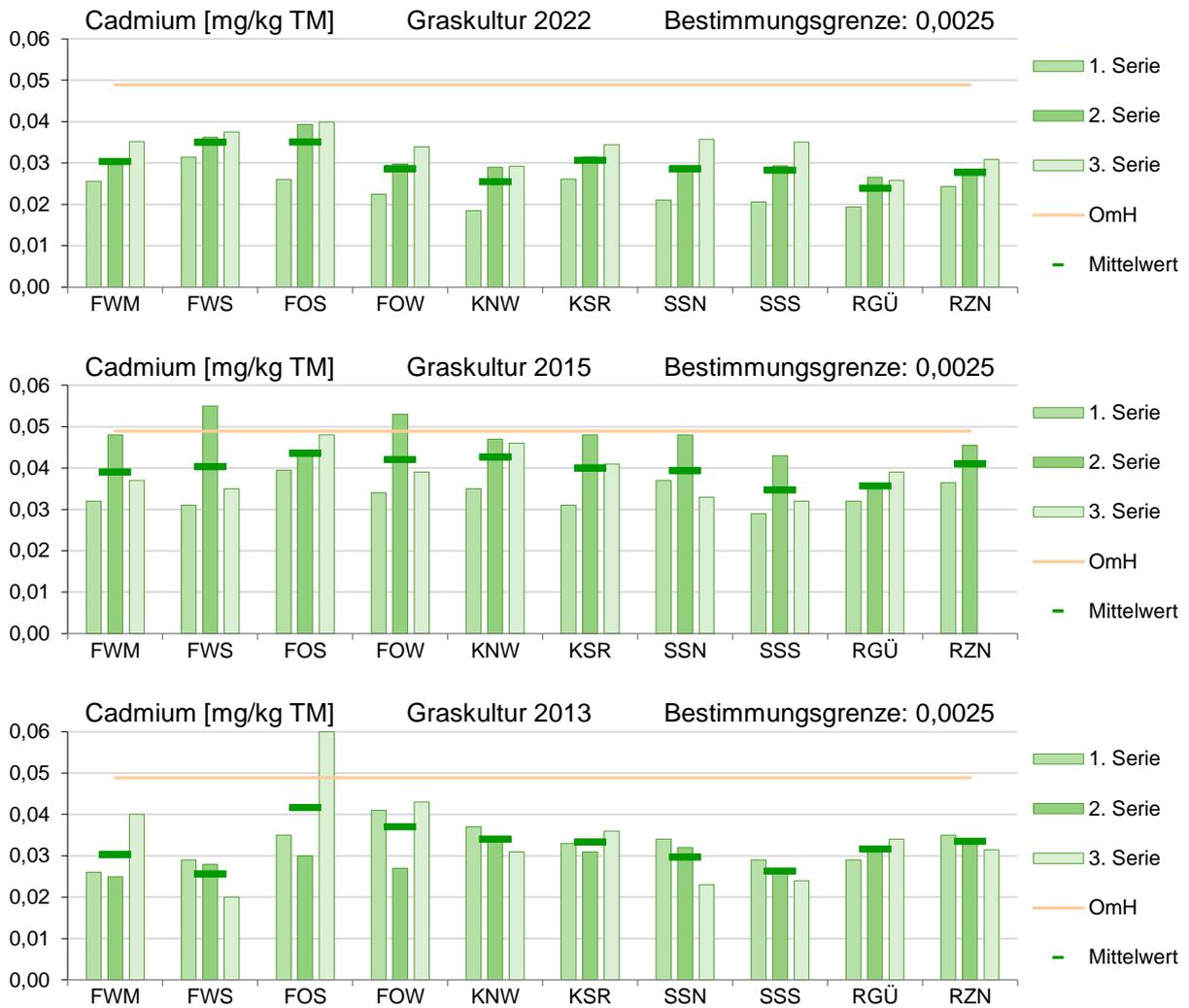
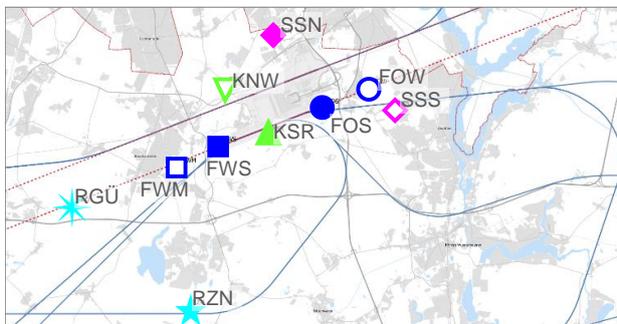


Bild 10.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, ○ im Gradienten blau
- ▲ Kontrollmesspunkte grün
- ◆ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.5 Chrom in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.5-1: Chromgehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022:		Chrom [mg/kg TM]			Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW	
FWM	0,21	0,33	0,37	0,31	0,08	
FWS	0,50	0,69	0,48	0,56	0,11	
FOS	0,43	0,54	0,42	0,46	0,07	
FOW	0,24	0,44	0,41	0,36	0,11	
KNW	0,25	0,29	0,30	0,28	0,02	
KSR	0,40	0,63	0,38	0,47	0,14	
SSN	0,25	0,31	0,23	0,26	0,04	
SSS	0,15	0,28	0,24	0,22	0,07	
RGÜ	0,20	0,54	0,22	0,32	0,19	
RZN	0,19	0,39	0,26	0,28	0,10	
OmH:	0,43	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57	

Graskultur 2015:		Chrom [mg/kg TM]			Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW	
FWM	0,40	0,14	0,27	0,27	0,13	
FWS	0,49	0,26	0,24	0,33	0,14	
FOS	0,27	0,39	0,37	0,34	0,06	
FOW	0,64	0,34	0,19	0,39	0,23	
KNW	0,38	0,18	0,21	0,25	0,11	
KSR	0,22	0,20	0,26	0,22	0,03	
SSN	0,25	0,21	0,18	0,21	0,03	
SSS	0,24	0,16	0,13	0,17	0,06	
RGÜ	0,40	0,15	0,19	0,25	0,13	
RZN	0,18	0,17		0,17	0,01	
OmH:	0,43	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57	

Graskultur 2013:		Chrom [mg/kg TM]			Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW	
FWM	0,20	0,16	0,36	0,24	0,11	
FWS	0,28	0,23	0,26	0,25	0,02	
FOS	0,47	0,32	0,63	0,47	0,16	
FOW	0,55	0,23	0,39	0,39	0,16	
KNW	0,35	0,22	0,36	0,31	0,08	
KSR	0,32	0,19	0,26	0,26	0,07	
SSN	0,31	0,29	0,27	0,29	0,02	
SSS	0,25	0,20	0,20	0,21	0,03	
RGÜ	0,25	0,20	0,27	0,24	0,04	
RZN	0,23	0,23	0,20	0,22	0,02	
OmH:	0,43	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57	

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  22% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

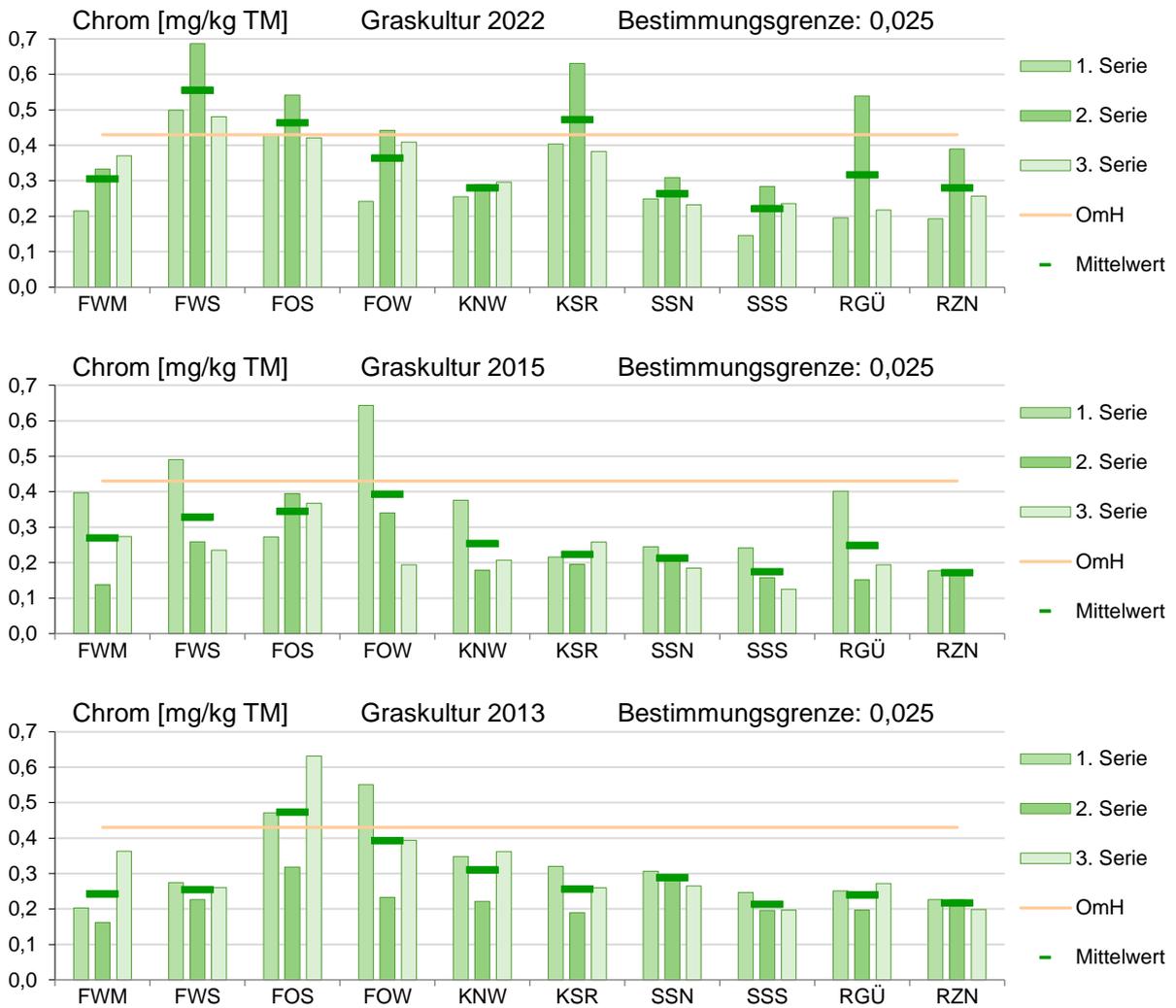
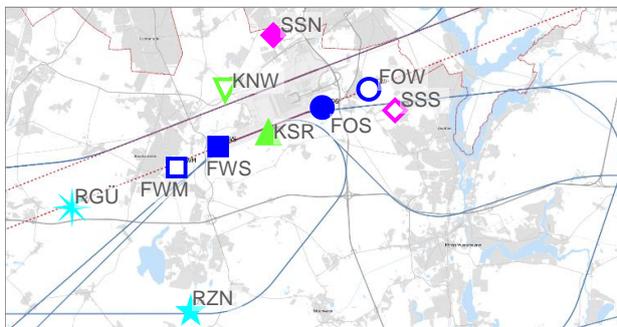


Bild 10.5-1: Chromgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, ○ im Gradienten blau
- ▲ Kontrollmesspunkte grün
- ◆ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.6 Kupfer in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015

Tabelle 10.6-1: Kupfergehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Kupfer [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,05					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	4,8	5,0	4,8	4,9	0,1
FWS	4,4	5,3	4,9	4,8	0,4
FOS	4,7	5,2	4,3	4,7	0,4
FOW	4,4	5,5	4,7	4,9	0,5
KNW	3,9	4,6	3,8	4,1	0,4
KSR	4,2	5,4	4,3	4,6	0,7
SSN	4,3	4,6	4,2	4,3	0,2
SSS	4,0	4,3	4,3	4,2	0,2
RGÜ	3,4	4,5	3,6	3,8	0,6
RZN	3,4	4,9	3,9	4,1	0,7
OmH:	5,9	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	11,4

Graskultur 2015: Kupfer [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,05					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	5,0	5,4	4,7	5,0	0,3
FWS	5,6	5,1	4,9	5,2	0,3
FOS	5,3	6,4	4,3	5,3	1,1
FOW	4,8	6,8	3,8	5,1	1,5
KNW	4,7	6,5	4,7	5,3	1,0
KSR	5,9	4,8	4,2	5,0	0,9
SSN	4,2	4,8	4,0	4,3	0,4
SSS	4,1	4,6	4,0	4,2	0,3
RGÜ	5,8	4,9	4,4	5,0	0,7
RZN	4,5	4,4		4,5	0,0
OmH:	5,9	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	11,4

Kupfer wurde 2013 nicht in Graskulturen untersucht.

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

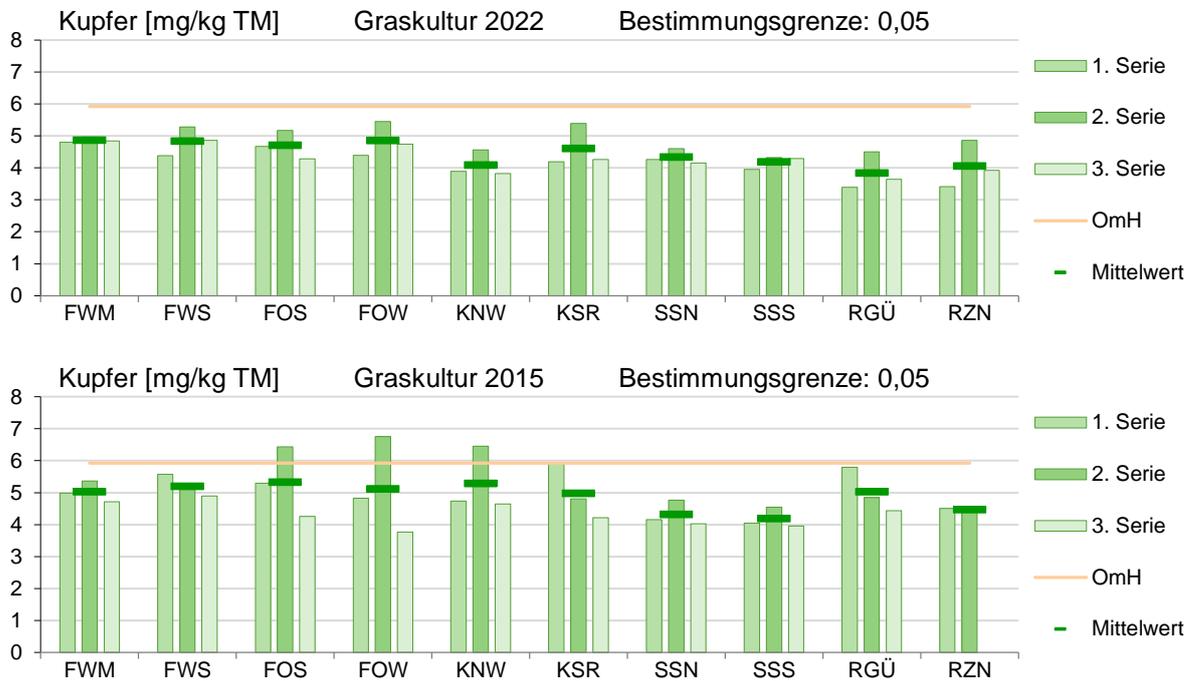
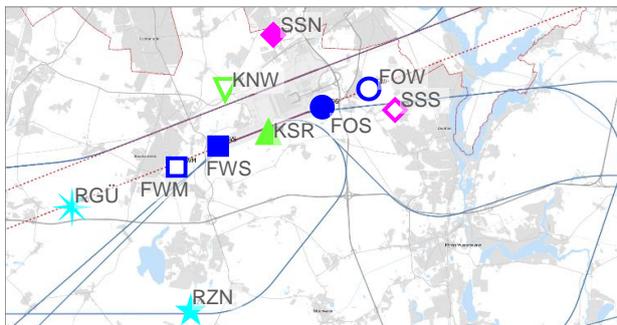


Bild 10.6-1: Kupfergehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.7 Nickel in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.7-1: Nickelgehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Nickel [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	2,1	2,6	3,2	2,6	0,5
FWS	2,0	2,8	2,9	2,6	0,5
FOS	2,1	2,7	2,9	2,6	0,5
FOW	2,1	3,2	2,9	2,7	0,6
KNW	1,7	2,4	2,5	2,2	0,5
KSR	2,3	2,6	2,9	2,6	0,3
SSN	2,0	2,7	2,8	2,5	0,4
SSS	1,7	2,6	2,9	2,4	0,6
RGÜ	1,9	2,6	2,4	2,3	0,3
RZN	2,1	2,4	2,3	2,3	0,2
OmH:	5,7	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

Graskultur 2015: Nickel [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	5,7	5,4	5,4	5,5	0,2
FWS	6,6	5,5	4,5	5,5	1,1
FOS	6,2	6,0	4,1	5,4	1,2
FOW	5,8	7,3	3,8	5,7	1,8
KNW	5,3	7,3	5,1	5,9	1,2
KSR	6,8	5,2	4,8	5,6	1,1
SSN	4,5	5,6	4,8	4,9	0,6
SSS	4,5	4,9	3,9	4,4	0,5
RGÜ	6,4	5,5	5,0	5,6	0,7
RZN	5,6	4,8		5,2	0,5
OmH:	5,7	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

Graskultur 2013: Nickel [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,025					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	5,5	4,7	6,0	5,4	0,7
FWS	6,0	5,8	5,9	5,9	0,1
FOS	6,7	4,9	7,2	6,3	1,2
FOW	7,4	6,1	5,5	6,3	1,0
KNW	6,4	6,3	6,1	6,3	0,2
KSR	7,1	5,3	6,4	6,3	0,9
SSN	5,4	5,9	6,2	5,8	0,4
SSS	6,0	4,6	5,6	5,4	0,7
RGÜ	5,9	5,9	5,9	5,9	0,0
RZN	6,2	5,8	6,6	6,2	0,4
OmH:	5,7	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  22% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

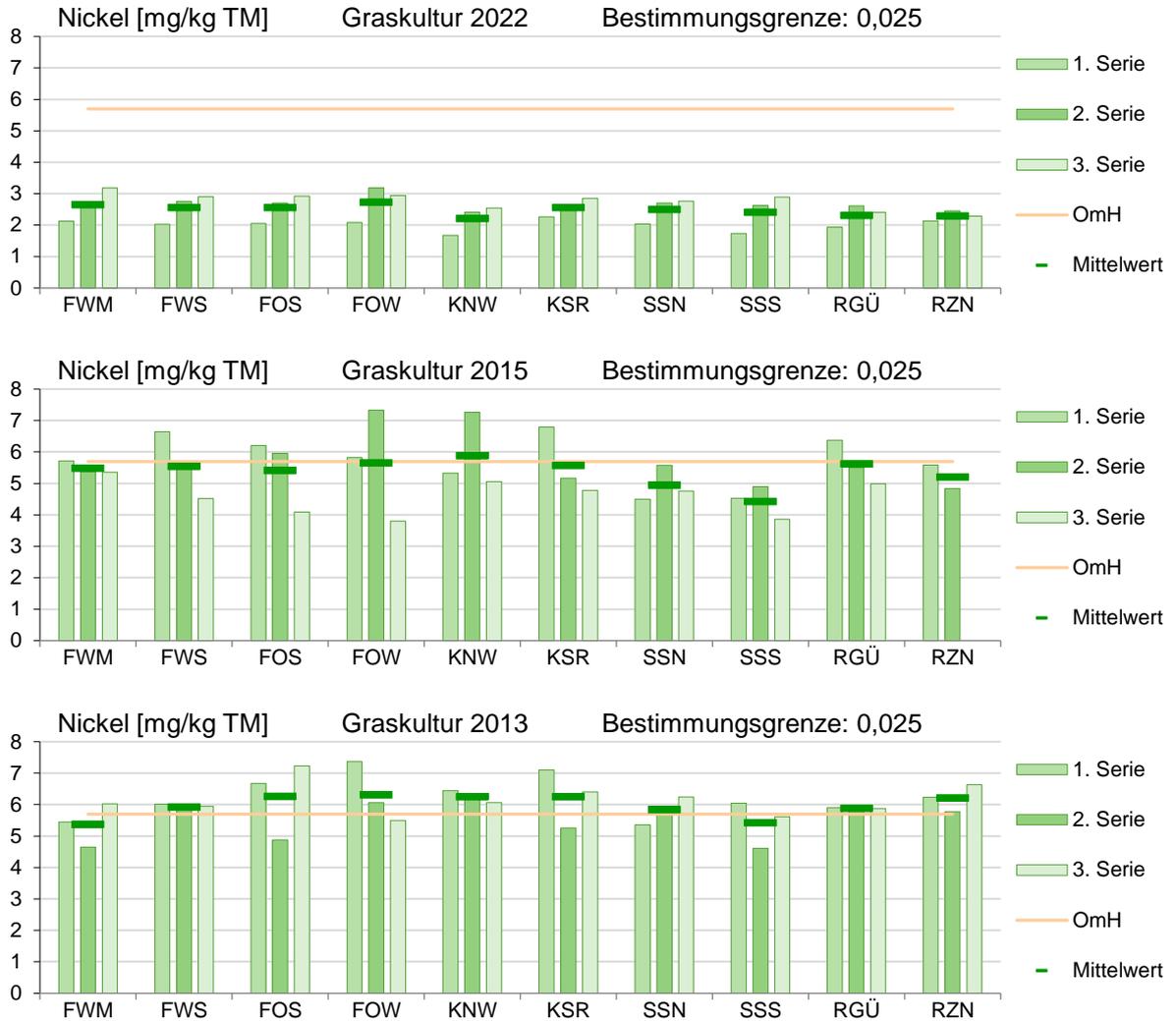
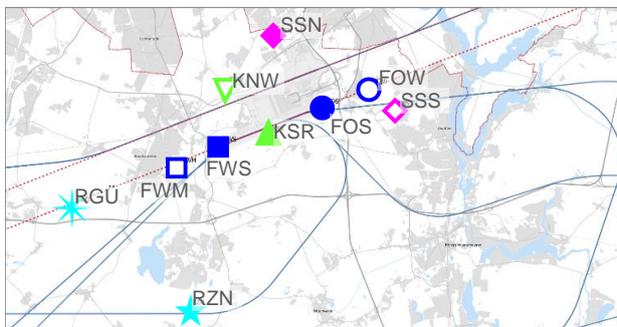


Bild 10.7-1: Nickelgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □ im Gradienten blau
- ▲ Kontrollmesspunkte grün
- ◆ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.8 Quecksilber in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015

Tabelle 10.8-1: Quecksilbergehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Quecksilber [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,005					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,006	0,008	0,007	0,007	0,0011
FWS	0,009	0,009	0,009	0,009	0,0003
FOS	0,007	0,009	0,007	0,008	0,0009
FOW	0,006	0,007	0,007	0,007	0,0005
KNW	0,006	0,008	0,007	0,007	0,0010
KSR	0,007	0,010	0,008	0,008	0,0013
SSN	0,006	0,006	0,006	0,006	0,0002
SSS	0,005	0,006	0,006	0,006	0,0007
RGÜ	0,006	0,009	0,006	0,007	0,0021
RZN	0,006	0,007	0,006	0,006	0,0005
OmH:	0,016	Höchstgehalt:	0,114	BU-Wert Min:	0,057

Graskultur 2015: Quecksilber [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,01					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	0,011	0,011	0,010	0,011	0,0006
FWS	0,012	0,012	0,010	0,011	0,0012
FOS	0,016	0,012	0,008	0,012	0,0038
FOW	0,013	0,011	0,010	0,011	0,0015
KNW	0,013	0,012	0,011	0,012	0,0010
KSR	0,013	0,010	0,011	0,011	0,0015
SSN	0,012	0,005	0,005	0,007	0,0040
SSS	0,010	0,005	0,005	0,007	0,0029
RGÜ	0,011	0,010	0,005	0,009	0,0032
RZN	0,012	0,012		0,012	0,0004
OmH:	0,016	Höchstgehalt:	0,114	BU-Wert Min:	0,057

Quecksilber wurde 2013 nicht in Graskulturen untersucht.

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; der Wert 0,08 mg/kg in der 3. Serie 2015 an FOS ergibt sich durch Mittelwertbildung der beiden Parallelmessungen; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

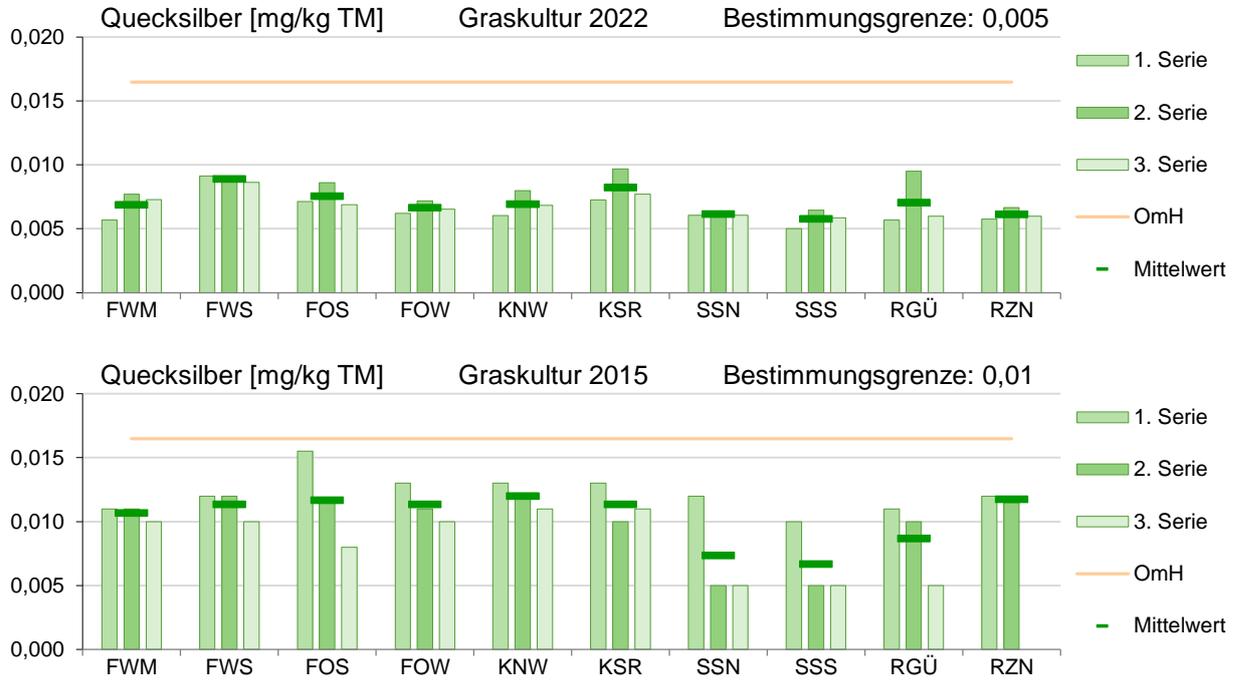
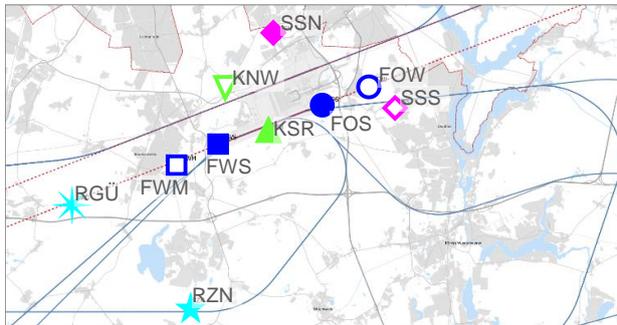


Bild 10.8-1: Quecksilbergehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □○ im Gradienten blau
- ▲▼ Kontrollmesspunkte grün
- ◆◇ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.9 Zink in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.9-1: Zinkgehalte und Beurteilungswerte

Graskultur 2022: Zink [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,5					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	23	23	30	26	4,2
FWS	23	27	28	26	2,6
FOS	23	25	26	25	1,4
FOW	21	30	27	26	4,7
KNW	19	23	24	22	2,7
KSR	22	25	26	24	2,2
SSN	24	25	26	25	1,1
SSS	20	26	26	24	3,3
RGÜ	20	22	23	22	1,1
RZN	21	22	24	22	1,9
OmH:	32	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	341

Graskultur 2015: Zink [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,5					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	26	26	24	25	0,8
FWS	31	33	25	30	4,1
FOS	29	29	26	28	2,2
FOW	27	31	27	28	2,3
KNW	24	32	24	27	4,9
KSR	30	28	23	27	3,7
SSN	20	24	24	23	2,4
SSS	20	30	22	24	5,4
RGÜ	32	35	25	31	5,3
RZN	24	23		23	0,2
OmH:	32	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	341

Graskultur 2013: Zink [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,5					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	Mittelwert	STABW
FWM	25	17	23	22	3,9
FWS	24	20	22	22	1,7
FOS	25	17	26	23	5,5
FOW	28	18	24	23	4,9
KNW	25	21	23	23	2,1
KSR	28	18	24	24	5,1
SSN	21	23	25	23	1,9
SSS	24	17	23	21	3,5
RGÜ	24	20	23	22	2,2
RZN	27	22	23	24	2,6
OmH:	32	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	341

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in mg/kg TM; STABW: Standardabweichung vom arithmetischen Mittelwert; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  22% >OmH orange unterlegt; Einzelwerte, die den Höchstgehalt (FuttmV) überschreiten: rot unterlegt, Mittelwerte, die den strengsten MID-Wert überschreiten: pink unterlegt (Tabelle 2.5 2).

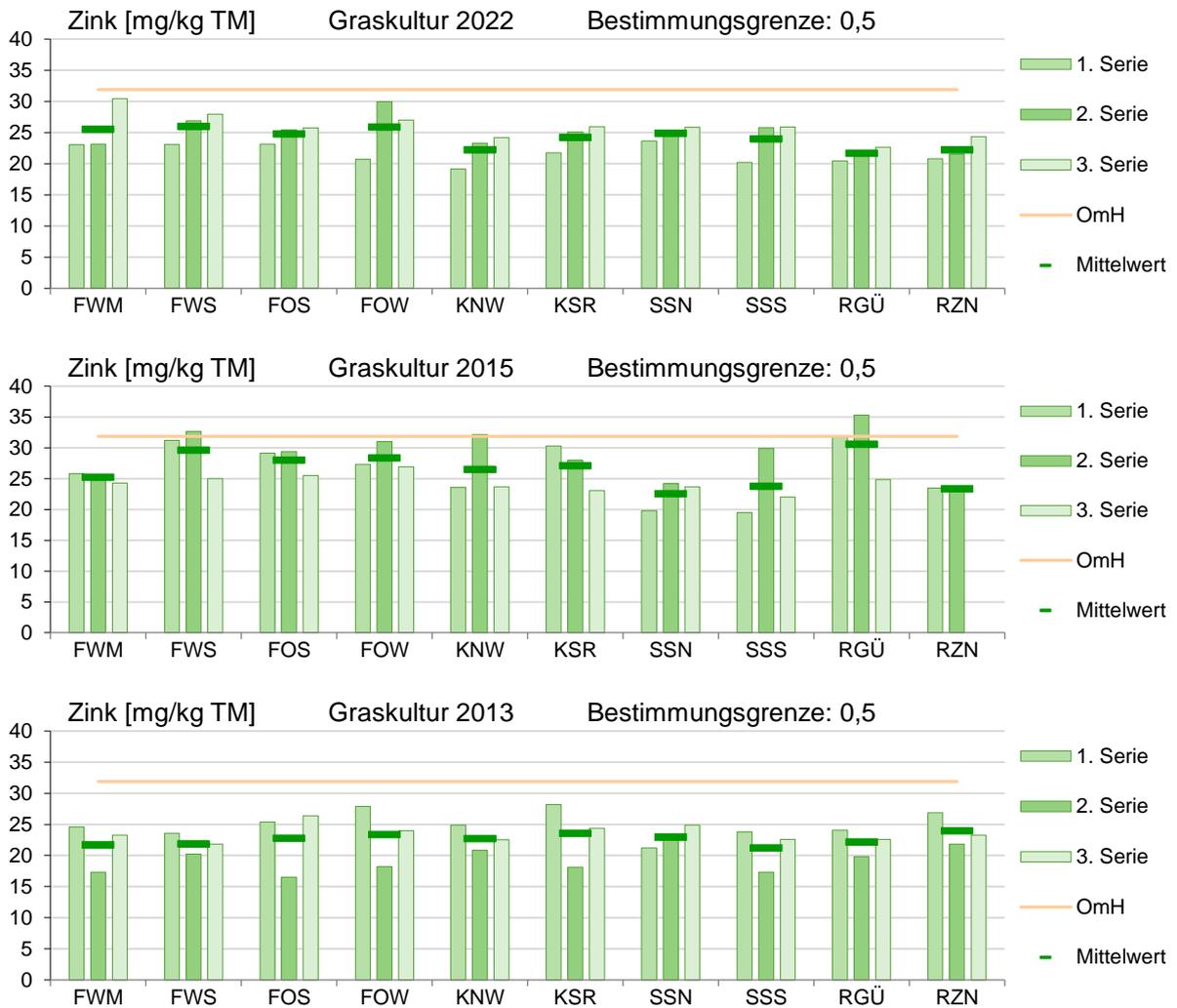
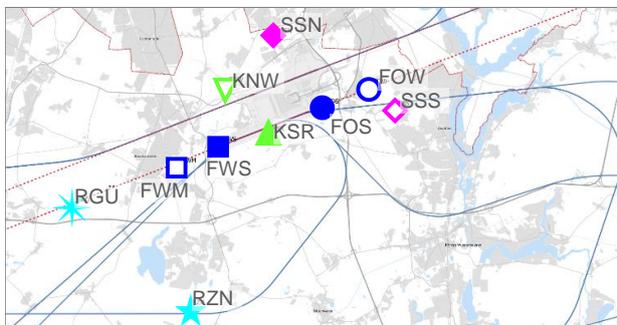


Bild 10.9-1: Zinkgehalte in Graskultur 2022 (oben) im Vergleich zu 2015 (Mitte) und 2013 (unten)



im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH: blassorange Linie); die Karte stellt die Lage der Messpunkte im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg dar [Kartequelle: FBB GmbH].

Erläuterung der Messpunktsymbole:

- an Flughafenbetriebsflächen, □ im Gradienten blau
- ▲ Kontrollmesspunkte grün
- ◆ Siedlungsmesspunkte, innerorts magenta
- ★ naturnahes, landwirtschaftliches Umfeld, quellenfern (vormals als Referenzmesspunkte ausgewählt) türkis

## 10.10 PAK in Graskultur 2022 im Vergleich zu 2015 und 2013

Tabelle 10.10-1: PAK-Gehalte 2022 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Juni) bis 3 (August)

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 1. Serie (Juni) 2022											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	u 33,3%	2015/1933
Naphthalin	3,1	4,0	3,8	4,4	4,2	4,6	4,3	5,2	3,3	4,0		
Acenaphylen	0,42	0,24	0,42	0,23	0,31	0,27	0,51	0,56	0,34	0,3		
Acenaphthen	0,68	0,56	0,33	0,52	0,39	0,52	0,82	0,48	0,52	0,53		
Fluoren	0,96	0,92	1,35	0,71	0,85	1,65	1,65	1,61	1,35	0,86		
<b>Phenanthren</b>	<b>7,9</b>	<b>10,2</b>	<b>7,9</b>	<b>8,5</b>	<b>6,2</b>	<b>8,8</b>	<b>8,1</b>	<b>8,2</b>	<b>5,4</b>	<b>6,1</b>		
<b>Anthracen</b>	<b>0,67</b>	<b>0,7</b>	<b>0,25</b>	<b>0,37</b>	<b>0,38</b>	<b>0,43</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48</b>	<b>0,17</b>	<b>0,26</b>		
<b>Fluoranthen</b>	<b>2,7</b>	<b>6,3</b>	<b>5,1</b>	<b>3,4</b>	<b>3,6</b>	<b>4,3</b>	<b>5,1</b>	<b>3,4</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>		
<b>Pyren</b>	<b>1,9</b>	<b>4,9</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>	<b>4,3</b>	<b>3,7</b>	<b>4,7</b>	<b>2,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>		
<b>Benz[a]anthracen</b>	<b>0,89</b>	<b>1,23</b>	<b>0,63</b>	<b>1,14</b>	<b>0,67</b>	<b>1,22</b>	<b>1,28</b>	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	<b>0,78</b>		
<b>Chrysen</b>	<b>2,0</b>	<b>3,7</b>	<b>1,7</b>	<b>3,0</b>	<b>1,9</b>	<b>4,3</b>	<b>3,2</b>	<b>2,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>		
<b>Benzo[b]fluoranthen</b>	<b>1,8</b>	<b>3,2</b>	<b>1,4</b>	<b>2,6</b>	<b>1,7</b>	<b>3,1</b>	<b>2,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>		
<b>Benzo[k]fluoranthen</b>	<b>0,6</b>	<b>2,3</b>	<b>1,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,4</b>	<b>2,7</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>		
<b>Benzo[a]pyren</b>	<b>0,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>0,4</b>	<b>0,7</b>	1,7	10
<b>Dibenz[ah]anthracen</b>	<b>0,05</b>	<b>0,23</b>	<b>0,15</b>	<b>0,32</b>	<b>0,16</b>	<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	<b>0,13</b>	<b>0,05</b>	<b>0,14</b>		
<b>Benzo[ghi]perylen</b>	<b>0,30</b>	<b>1,81</b>	<b>0,95</b>	<b>1,46</b>	<b>0,89</b>	<b>1,28</b>	<b>1,36</b>	<b>0,59</b>	<b>0,56</b>	<b>0,55</b>		
<b>Indeno[123-cd]pyren</b>	<b>0,50</b>	<b>1,48</b>	<b>0,98</b>	<b>1,45</b>	<b>0,91</b>	<b>1,49</b>	<b>1,68</b>	<b>0,54</b>	<b>0,62</b>	<b>0,57</b>		
<b>PAK4</b>	<b>5,0</b>	<b>9,7</b>	<b>4,9</b>	<b>8,1</b>	<b>5,1</b>	<b>10,4</b>	<b>7,9</b>	<b>5,4</b>	<b>4,0</b>	<b>4,4</b>	15,9	50
<b>Summe 12 PAK</b>	<b>20</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	41	
<b>Summe 16 PAK (EPA)</b>	<b>25</b>	<b>43</b>	<b>32</b>	<b>36</b>	<b>29</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	48	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 2. Serie (Juli) 2022											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	u 33,3%	2015/1933
Naphthalin	3,3	4,2	3,6	4,2	4,0	4,7	4,2	4,9	4,1	4,6		
Acenaphylen	0,37	0,3	0,31	0,36	0,31	0,7	0,76	0,41	0,44	0,42		
Acenaphthen	0,56	0,71	0,59	0,74	0,28	0,83	0,74	0,55	0,62	0,71		
Fluoren	0,64	1,15	1,25	1,62	0,68	1,27	1,82	0,86	0,95	0,79		
<b>Phenanthren</b>	<b>8,0</b>	<b>8,1</b>	<b>6,3</b>	<b>9,4</b>	<b>5,5</b>	<b>6,4</b>	<b>9,4</b>	<b>6,2</b>	<b>6,4</b>	<b>6,3</b>		
<b>Anthracen</b>	<b>0,54</b>	<b>0,41</b>	<b>0,28</b>	<b>0,45</b>	<b>0,37</b>	<b>0,39</b>	<b>0,61</b>	<b>0,38</b>	<b>0,28</b>	<b>0,33</b>		
<b>Fluoranthen</b>	<b>3,7</b>	<b>4,4</b>	<b>4,1</b>	<b>6,5</b>	<b>3,1</b>	<b>5,7</b>	<b>6,5</b>	<b>3,2</b>	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>		
<b>Pyren</b>	<b>2,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,1</b>	<b>5,7</b>	<b>2,7</b>	<b>3,8</b>	<b>5,7</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>	<b>2,1</b>		
<b>Benz[a]anthracen</b>	<b>1,02</b>	<b>1,28</b>	<b>0,88</b>	<b>1,71</b>	<b>0,77</b>	<b>1,42</b>	<b>1,37</b>	<b>0,53</b>	<b>0,74</b>	<b>0,89</b>		
<b>Chrysen</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>	<b>1,9</b>	<b>3,3</b>	<b>1,5</b>	<b>4,4</b>	<b>3,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,9</b>	<b>1,8</b>		
<b>Benzo[b]fluoranthen</b>	<b>1,9</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>4,3</b>	<b>1,5</b>	<b>3,0</b>	<b>3,3</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>		
<b>Benzo[k]fluoranthen</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>0,7</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>		
<b>Benzo[a]pyren</b>	<b>1,0</b>	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>2,1</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>	1,7	10
<b>Dibenz[ah]anthracen</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,2</b>	<b>0,81</b>	<b>0,15</b>	<b>0,23</b>	<b>0,41</b>	<b>0,17</b>	<b>0,11</b>	<b>0,2</b>		
<b>Benzo[ghi]perylen</b>	<b>0,76</b>	<b>1,08</b>	<b>1,17</b>	<b>1,84</b>	<b>0,68</b>	<b>0,95</b>	<b>1,84</b>	<b>0,42</b>	<b>0,39</b>	<b>0,78</b>		
<b>Indeno[123-cd]pyren</b>	<b>0,89</b>	<b>1,36</b>	<b>1,28</b>	<b>2,24</b>	<b>0,85</b>	<b>1,06</b>	<b>2,04</b>	<b>0,45</b>	<b>0,53</b>	<b>1,04</b>		
<b>PAK4</b>	<b>6,0</b>	<b>8,0</b>	<b>5,5</b>	<b>11,0</b>	<b>4,9</b>	<b>9,9</b>	<b>9,9</b>	<b>3,9</b>	<b>4,6</b>	<b>5,3</b>	15,9	50
<b>Summe 12 PAK</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>23</b>	<b>40</b>	<b>19</b>	<b>30</b>	<b>38</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>21</b>	41	
<b>Summe 16 PAK (EPA)</b>	<b>29</b>	<b>35</b>	<b>29</b>	<b>47</b>	<b>24</b>	<b>38</b>	<b>46</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	48	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 3. Serie (August) 2022											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$\mu$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	3,2	3,1	3,3	3,8	3,7	4,8	4,5	4,6	3,0	3,2		
Acenaphtylen	0,41	0,34	0,37	0,39	0,76	0,65	0,82	0,31	0,53	0,37		
Acenaphthen	0,7	0,85	0,49	0,69	0,61	0,77	0,94	0,49	0,69	0,63		
Fluoren	0,76	1,28	1,18	1,38	0,85	1,57	1,47	0,92	0,58	0,76		
Phenanthren	8,2	9,6	5,9	7,9	8,0	9,1	8,9	9,8	8,2	7,5		
Anthracen	0,51	0,68	0,28	0,4	0,53	0,62	0,8	0,91	0,62	0,61		
Fluoranthren	6,3	7,8	3,8	5,6	6,4	8,6	6,8	6,4	4,4	4,1		
Pyren	4,1	5,4	2,9	5,1	4,0	6,1	4,0	3,3	3,5	3,1		
Benz[a]anthracen	1,43	1,59	0,93	1,89	1,11	1,95	1,42	0,69	0,86	0,92		
Chrysen	2,6	3,4	2,0	3,0	2,5	4,7	2,8	1,6	1,8	1,9		
Benzo[b]fluoranthren	2,3	3,3	2,3	3,4	3,2	3,3	2,0	2,0	1,5	1,6		
Benzo[k]fluoranthren	2,0	2,5	1,7	2,0	1,9	2,2	1,8	1,3	1,3	1,4		
Benz[a]pyren	1,8	2,6	1,3	1,7	1,6	1,9	1,7	1,2	1,1	1,1	1,7	10
Dibenz[ah]anthracen	0,28	0,17	0,25	0,51	0,37	0,55	0,23	0,25	0,28	0,4		
Benzo[ghi]perylen	1,29	1,57	1,09	1,52	1,43	1,15	1,23	1,09	1,04	1,33		
Indeno[123-cd]pyren	1,72	2,56	1,39	1,94	1,51	1,81	1,3	1,21	1,19	1,51		
PAK4	8,1	10,9	6,5	10,1	8,4	11,9	7,9	5,4	5,2	5,5	15,9	50
Summe 12 PAK	33	41	24	35	33	42	33	30	26	25	41	
Summe 16 PAK (EPA)	38	47	29	41	39	50	41	36	31	30	48	

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ; serienweise Darstellung, keine Mittelwertbildung; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $\mu$  33,3% >OmH orange unterlegt; Werte, die den orientierenden Höchstgehalt für getrocknete Kräuter und Gewürze (blass grau; VO (EU) 2015/1933) überschreiten würden: rosa unterlegt (Tabelle 2.5 2).

Tabelle 10.10-2: PAK-Gehalte 2015 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Juni) bis 3 (August)

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 1. Serie (Juni) 2015											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$\mu$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	4,2	3,9	4,1	5,7	4,8	4,0	3,9	5,6	3,7	4,8		
Acenaphtylen	0,49	0,18	0,34	0,30	0,41	0,30	0,46	0,41	0,35	0,36		
Acenaphthen	0,90	0,52	0,56	0,57	0,44	0,52	0,74	0,52	0,72	0,57		
Fluoren	2,4	1,8	1,5	0,9	0,9	1,6	2,0	1,7	1,8	1,2		
Phenanthren	9,7	7,1	9,7	8,7	7,1	8,0	7,8	8,8	6,0	6,9		
Anthracen	1,08	0,59	0,36	0,38	0,21	0,62	0,76	0,55	0,20	0,52		
Fluoranthren	4,1	4,8	4,8	4,6	4,3	5,5	4,4	3,7	3,3	4,4		
Pyren	3,0	3,4	4,1	3,9	4,1	4,1	4,0	2,7	2,5	3,9		
Benz[a]anthracen	1,18	0,80	0,80	1,22	0,94	1,09	1,64	0,73	0,89	1,16		
Chrysen	2,3	2,9	2,0	2,6	2,8	3,6	3,3	3,1	2,1	2,5		
Benzo[b]fluoranthren	2,9	4,2	3,6	5,8	4,0	4,5	3,8	3,7	3,7	3,6		
Benzo[k]fluoranthren												
Benz[a]pyren	0,60	0,83	1,56	1,30	0,85	0,92	0,73	0,79	0,58	0,73	1,7	10
Dibenz[ah]anthracen	0,05	0,10	0,22	0,37	0,23	0,15	0,32	0,13	0,10	0,25		
Benzo[ghi]perylen	0,39	0,97	1,39	2,01	0,97	0,71	0,99	0,74	0,85	0,89		
Indeno[123-cd]pyren	0,58	0,88	1,46	2,40	1,10	0,81	1,72	1,17	0,92	0,97		
PAK4	7,0	8,7	8,0	10,9	8,7	10,1	9,5	8,4	7,3	8,0	15,9	50
Summe 12 PAK	26	27	30	33	27	30	29	26	21	26	41	
Summe 16 PAK (EPA)	34	33	36	41	33	36	37	34	28	33	48	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 2. Serie (Juli) 2015											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$u$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	2,8	3,5	4,0	3,9	6,0	5,9	4,5	4,1	3,1	3,2		
Acenaphtylen	0,37	0,35	0,21	0,20	0,29	0,54	0,29	0,22	0,37	0,41		
Acenaphthen	0,67	0,43	0,81	0,44	0,32	0,74	0,56	0,50	0,59	0,51		
Fluoren	1,0	0,9	1,6	1,2	0,9	1,3	1,3	1,1	0,7	1,0		
Phenanthren	7,0	6,0	7,2	5,3	8,6	5,2	8,8	4,9	7,4	5,1		
Anthracen	0,32	0,36	0,25	0,26	0,37	0,27	0,29	0,82	0,30	0,33		
Fluoranthen	5,3	5,0	4,6	6,8	7,0	4,3	5,4	3,4	3,9	4,0		
Pyren	4,8	4,6	3,9	4,5	7,0	4,0	4,9	3,3	3,3	3,0		
Benz[a]anthracen	1,48	1,10	1,06	1,86	1,39	0,81	0,98	0,62	0,87	1,16		
Chrysen	3,6	3,2	3,0	4,3	3,3	3,8	2,6	1,8	2,6	2,7		
Benzo[b]fluoranthen	4,5	4,7	5,0	7,5	4,9	3,4	4,0	2,5	3,6	3,5		
Benzo[k]fluoranthen												
Benz[a]pyren	1,58	1,56	1,16	1,18	1,33	0,85	1,64	0,55	0,70	0,60	1,7	10
Dibenz[ah]anthracen	0,43	0,22	0,26	0,70	0,31	0,25	0,26	0,14	0,24	0,17		
Benzo[ghi]perylen	1,23	1,27	1,05	1,52	2,33	0,75	1,32	1,11	0,70	0,88		
Indeno[123-cd]pyren	1,43	1,67	1,14	1,79	2,02	0,93	1,37	0,89	0,86	1,21		
PAK4	11,1	10,6	10,2	14,8	11,0	8,9	9,3	5,5	7,7	8,0	15,9	50
Summe 12 PAK	32	30	29	36	39	25	32	20	24	23	41	
Summe 16 PAK (EPA)	36	35	35	41	46	33	38	26	29	28	48	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 3. Serie (August) 2015											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$u$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	3,5	4,1	4,3	3,4	5,3	5,4	5,9	4,8	4,7			
Acenaphtylen	0,49	0,30	0,33	0,45	0,63	0,69	0,58	0,15	0,47			
Acenaphthen	0,71	0,92	0,80	0,68	0,51	0,92	0,74	0,41	0,72			
Fluoren	0,8	1,6	1,9	1,4	1,0	1,3	1,1	0,5	0,8			
Phenanthren	7,9	7,5	8,0	6,2	8,9	5,7	4,7	9,0	9,2			
Anthracen	0,43	0,42	0,38	0,31	0,33	0,43	0,47	0,72	0,53			
Fluoranthen	6,9	7,0	6,0	6,4	7,4	6,6	5,3	3,9	6,0			
Pyren	5,8	6,7	5,1	5,6	6,4	5,0	6,5	5,1	5,6			
Benz[a]anthracen	1,95	1,47	1,51	1,90	1,71	1,42	1,12	0,51	1,15			
Chrysen	5,2	4,6	3,7	3,1	2,7	3,3	2,0	2,0	2,8			
Benzo[b]fluoranthen	6,7	6,3	5,3	5,3	5,7	3,8	4,4	3,4	3,8			
Benzo[k]fluoranthen												
Benz[a]pyren	2,07	2,25	1,95	1,86	1,94	0,73	1,84	1,90	1,38		1,7	10
Dibenz[ah]anthracen	0,28	0,14	0,29	0,48	0,41	0,34	0,13	0,19	0,44			
Benzo[ghi]perylen	1,10	1,44	1,35	1,40	1,70	0,56	0,84	0,93	0,78			
Indeno[123-cd]pyren	1,70	2,30	1,80	1,73	2,10	0,90	0,98	1,31	0,92			
PAK4	15,9	14,6	12,5	12,1	12,0	9,2	9,4	7,8	9,2		15,9	50
Summe 12 PAK	40	40	35	34	39	29	28	29	33		41	
Summe 16 PAK (EPA)	45	47	43	40	47	37	37	35	39		48	

Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ; serienweise Darstellung, keine Mittelwertbildung; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $u$  33,3% >OmH orange unterlegt; Werte, die den orientierenden Höchstgehalt für getrocknete Kräuter und Gewürze (blass grau; VO (EU) 2015/1933) überschreiten würden: rosa unterlegt (Tabelle 2.5 2); leere Zeile: in den Jahren 2013 und 2015 wurde Benzo[k]fluoranthen in der Summe Benzo[b]fluoranthen analysiert und wird hier integriert in Benzo[b]fluoranthen dargestellt; leere Spalte in 3. Serie 2015 an RZN: Totalausfall.

Tabelle 10.10-3: PAK-Gehalte 2013 und Beurteilungswerte – Serien 1 (Mai) bis 3 (Juli)

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 1. Serie (Mai) 2013											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$\mu$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	5,3	5,1	4,5	4,0	5,3	8,8	9,4	7,5	4,7	5,4		
Acenaphtylen	0,06	0,15	0,22	0,13	0,13	0,09	0,31	0,21	0,30	0,23		
Acenaphthen	0,53	0,38	0,24	0,28	0,58	0,47	0,57	0,76	0,63	0,51		
Fluoren	0,93	1,18	0,90	1,51	0,98	1,17	1,13	1,27	1,12	1,06		
<b>Phenanthren</b>	<b>15,7</b>	<b>16,0</b>	<b>12,6</b>	<b>13,3</b>	<b>14,5</b>	<b>16,1</b>	<b>17,1</b>	<b>16,5</b>	<b>15,9</b>	<b>14,3</b>		
<b>Anthracen</b>	<b>0,26</b>	<b>0,45</b>	<b>0,41</b>	<b>0,51</b>	<b>0,37</b>	<b>0,48</b>	<b>0,55</b>	<b>0,62</b>	<b>0,36</b>	<b>0,26</b>		
<b>Fluoranthen</b>	<b>9,7</b>	<b>12,3</b>	<b>15,8</b>	<b>16,9</b>	<b>12,2</b>	<b>12,9</b>	<b>14,0</b>	<b>14,6</b>	<b>11,6</b>	<b>10,6</b>		
<b>Pyren</b>	<b>3,9</b>	<b>5,3</b>	<b>7,4</b>	<b>8,7</b>	<b>4,7</b>	<b>5,3</b>	<b>5,7</b>	<b>4,8</b>	<b>4,3</b>	<b>5,2</b>		
<b>Benz[a]anthracen</b>	<b>0,73</b>	<b>1,10</b>	<b>1,95</b>	<b>3,10</b>	<b>1,10</b>	<b>1,42</b>	<b>1,51</b>	<b>0,96</b>	<b>0,79</b>	<b>1,19</b>		
<b>Chrysen</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>6,8</b>	<b>8,0</b>	<b>3,8</b>	<b>4,8</b>	<b>4,9</b>	<b>3,9</b>	<b>5,4</b>	<b>4,5</b>		
<b>Benzo[b]fluoranthen</b>	<b>3,0</b>	<b>6,0</b>	<b>7,3</b>	<b>10,3</b>	<b>5,7</b>	<b>7,1</b>	<b>5,8</b>	<b>4,1</b>	<b>7,0</b>	<b>4,8</b>		
<b>Benzo[k]fluoranthen</b>												
<b>Benz[a]pyren</b>	<b>0,51</b>	<b>0,91</b>	<b>1,11</b>	<b>2,28</b>	<b>1,08</b>	<b>1,15</b>	<b>1,07</b>	<b>0,68</b>	<b>0,55</b>	<b>0,84</b>	<b>1,7</b>	<b>10</b>
<b>Dibenz[ah]anthracen</b>	<b>0,18</b>	<b>0,23</b>	<b>0,56</b>	<b>0,67</b>	<b>0,19</b>	<b>0,23</b>	<b>0,34</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>		
<b>Benzo[ghi]perylen</b>	<b>0,65</b>	<b>1,56</b>	<b>2,30</b>	<b>3,04</b>	<b>1,55</b>	<b>1,67</b>	<b>1,57</b>	<b>0,93</b>	<b>0,99</b>	<b>1,40</b>		
<b>Indeno[123-cd]pyren</b>	<b>1,41</b>	<b>2,04</b>	<b>2,93</b>	<b>3,64</b>	<b>1,93</b>	<b>2,17</b>	<b>2,26</b>	<b>1,72</b>	<b>1,63</b>	<b>2,06</b>		
<b>PAK4</b>	<b>7,1</b>	<b>12,5</b>	<b>17,2</b>	<b>23,7</b>	<b>11,8</b>	<b>14,6</b>	<b>13,3</b>	<b>9,7</b>	<b>13,7</b>	<b>11,3</b>	<b>15,9</b>	<b>50</b>
<b>Summe 12 PAK</b>	<b>39</b>	<b>50</b>	<b>59</b>	<b>70</b>	<b>47</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	
<b>Summe 16 PAK (EPA)</b>	<b>46</b>	<b>57</b>	<b>65</b>	<b>76</b>	<b>54</b>	<b>64</b>	<b>66</b>	<b>59</b>	<b>55</b>	<b>53</b>	<b>48</b>	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 2. Serie (Juni) 2013											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$\mu$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	7,5	4,3	7,0	7,4	5,9	5,0	3,8	5,7	3,2	7,6		
Acenaphtylen	0,24	0,23	0,26	0,28	0,31	0,32	0,36	0,31	0,23	0,25		
Acenaphthen	0,51	0,41	0,36	0,46	0,36	0,49	0,44	0,41	0,36	0,40		
Fluoren	2,43	1,02	0,93	0,95	0,75	1,30	0,73	1,23	0,73	0,83		
<b>Phenanthren</b>	<b>9,2</b>	<b>5,4</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>4,6</b>	<b>6,7</b>	<b>5,6</b>	<b>6,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,9</b>		
<b>Anthracen</b>	<b>1,18</b>	<b>0,55</b>	<b>0,20</b>	<b>0,26</b>	<b>0,23</b>	<b>0,46</b>	<b>0,41</b>	<b>0,54</b>	<b>0,17</b>	<b>0,27</b>		
<b>Fluoranthen</b>	<b>4,4</b>	<b>3,8</b>	<b>3,5</b>	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>	<b>4,7</b>	<b>6,8</b>	<b>4,9</b>	<b>3,3</b>	<b>4,8</b>		
<b>Pyren</b>	<b>2,9</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,5</b>	<b>5,5</b>	<b>2,7</b>	<b>2,7</b>	<b>3,6</b>		
<b>Benz[a]anthracen</b>	<b>1,55</b>	<b>1,45</b>	<b>1,04</b>	<b>1,50</b>	<b>1,58</b>	<b>1,76</b>	<b>2,48</b>	<b>1,26</b>	<b>1,23</b>	<b>2,01</b>		
<b>Chrysen</b>	<b>3,8</b>	<b>3,9</b>	<b>2,8</b>	<b>3,3</b>	<b>3,8</b>	<b>4,6</b>	<b>5,3</b>	<b>4,0</b>	<b>3,1</b>	<b>5,0</b>		
<b>Benzo[b]fluoranthen</b>	<b>5,3</b>	<b>7,6</b>	<b>5,1</b>	<b>7,2</b>	<b>5,5</b>	<b>6,7</b>	<b>6,4</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>	<b>7,1</b>		
<b>Benzo[k]fluoranthen</b>												
<b>Benz[a]pyren</b>	<b>0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,94</b>	<b>1,37</b>	<b>0,73</b>	<b>1,00</b>	<b>1,11</b>	<b>0,52</b>	<b>0,72</b>	<b>0,67</b>	<b>1,7</b>	<b>10</b>
<b>Dibenz[ah]anthracen</b>	<b>0,39</b>	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	<b>0,38</b>	<b>0,40</b>	<b>0,37</b>	<b>0,51</b>	<b>0,28</b>	<b>0,25</b>	<b>0,45</b>		
<b>Benzo[ghi]perylen</b>	<b>1,06</b>	<b>0,91</b>	<b>1,33</b>	<b>2,04</b>	<b>1,79</b>	<b>1,46</b>	<b>2,62</b>	<b>0,99</b>	<b>1,18</b>	<b>1,74</b>		
<b>Indeno[123-cd]pyren</b>	<b>1,08</b>	<b>1,17</b>	<b>1,24</b>	<b>2,00</b>	<b>1,66</b>	<b>1,55</b>	<b>2,52</b>	<b>1,21</b>	<b>1,22</b>	<b>1,70</b>		
<b>PAK4</b>	<b>11,3</b>	<b>13,4</b>	<b>9,9</b>	<b>13,4</b>	<b>11,6</b>	<b>14,1</b>	<b>15,2</b>	<b>10,3</b>	<b>9,7</b>	<b>14,7</b>	<b>15,9</b>	<b>50</b>
<b>Summe 12 PAK</b>	<b>31</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>39</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>32</b>	<b>41</b>	
<b>Summe 16 PAK (EPA)</b>	<b>42</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>40</b>	<b>36</b>	<b>40</b>	<b>45</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	

PAK [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in Graskultur: 3. Serie (Juli) 2013											OmH	Hö.gehalt
Messpunkte	FWM	FWS	FOS	FOW	KNW	KSR	SSN	SSS	RGÜ	RZN	$\mu$ 33,3%	2015/1933
Naphthalin	4,3	4,2	4,1	4,1	5,6	13,9	5,9	4,9	3,7	3,9		
Acenaphtylen	0,23	0,20	0,29	0,27	0,36	0,33	0,37	0,30	0,16	0,29		
Acenaphthen	0,46	0,25	0,34	0,31	0,35	0,34	0,37	0,50	0,30	0,34		
Fluoren	1,11	0,74	1,06	0,67	0,51	0,87	0,81	0,91	0,43	0,86		
<b>Phenanthren</b>	<b>6,5</b>	<b>5,0</b>	<b>6,8</b>	<b>5,5</b>	<b>5,3</b>	<b>5,1</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>	<b>4,6</b>	<b>5,5</b>		
<b>Anthracen</b>	<b>0,19</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,18</b>	<b>0,19</b>	<b>0,12</b>	<b>0,21</b>	<b>0,64</b>	<b>0,11</b>	<b>0,28</b>		
<b>Fluoranthen</b>	<b>7,0</b>	<b>5,1</b>	<b>5,2</b>	<b>5,6</b>	<b>5,8</b>	<b>4,8</b>	<b>4,7</b>	<b>2,8</b>	<b>4,4</b>	<b>3,8</b>		
<b>Pyren</b>	<b>4,9</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,4</b>	<b>5,8</b>	<b>3,7</b>	<b>4,3</b>	<b>3,7</b>	<b>2,9</b>	<b>3,8</b>		
<b>Benz[a]anthracen</b>	<b>2,31</b>	<b>1,55</b>	<b>1,54</b>	<b>1,69</b>	<b>1,55</b>	<b>1,12</b>	<b>1,08</b>	<b>0,69</b>	<b>1,01</b>	<b>1,09</b>		
<b>Chrysen</b>	<b>5,9</b>	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>	<b>4,7</b>	<b>3,6</b>	<b>4,0</b>	<b>3,5</b>	<b>2,1</b>	<b>3,6</b>	<b>3,1</b>		
<b>Benzo[b]fluoranthen</b>	<b>8,4</b>	<b>6,8</b>	<b>6,4</b>	<b>6,8</b>	<b>6,2</b>	<b>4,9</b>	<b>5,6</b>	<b>3,2</b>	<b>5,3</b>	<b>4,7</b>		
<b>Benzo[k]fluoranthen</b>												
<b>Benz[a]pyren</b>	<b>2,06</b>	<b>1,15</b>	<b>0,83</b>	<b>1,15</b>	<b>1,76</b>	<b>0,91</b>	<b>1,62</b>	<b>0,67</b>	<b>0,79</b>	<b>0,78</b>	<b>1,7</b>	<b>10</b>
<b>Dibenz[ah]anthracen</b>	<b>0,64</b>	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>	<b>0,47</b>	<b>0,29</b>	<b>0,35</b>	<b>0,20</b>	<b>0,38</b>	<b>0,31</b>		
<b>Benzo[ghi]perylen</b>	<b>2,55</b>	<b>1,91</b>	<b>1,99</b>	<b>2,14</b>	<b>2,77</b>	<b>1,57</b>	<b>1,92</b>	<b>0,97</b>	<b>1,17</b>	<b>1,33</b>		
<b>Indeno[123-cd]pyren</b>	<b>2,73</b>	<b>2,06</b>	<b>1,97</b>	<b>2,17</b>	<b>2,66</b>	<b>1,70</b>	<b>1,88</b>	<b>1,12</b>	<b>1,36</b>	<b>1,36</b>		
<b>PAK4</b>	<b>18,7</b>	<b>13,9</b>	<b>13,3</b>	<b>14,3</b>	<b>13,1</b>	<b>10,9</b>	<b>11,8</b>	<b>6,7</b>	<b>10,7</b>	<b>9,6</b>	<b>15,9</b>	<b>50</b>
<b>Summe 12 PAK</b>	<b>43</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>31</b>	<b>22</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>41</b>	
<b>Summe 16 PAK (EPA)</b>	<b>49</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>38</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>48</b>	

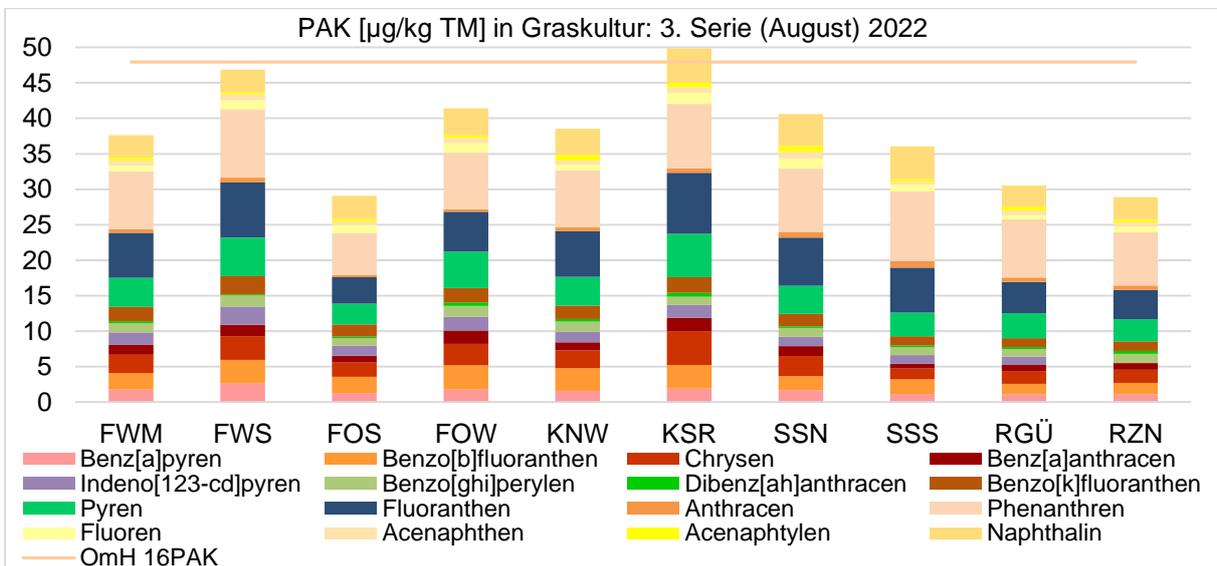
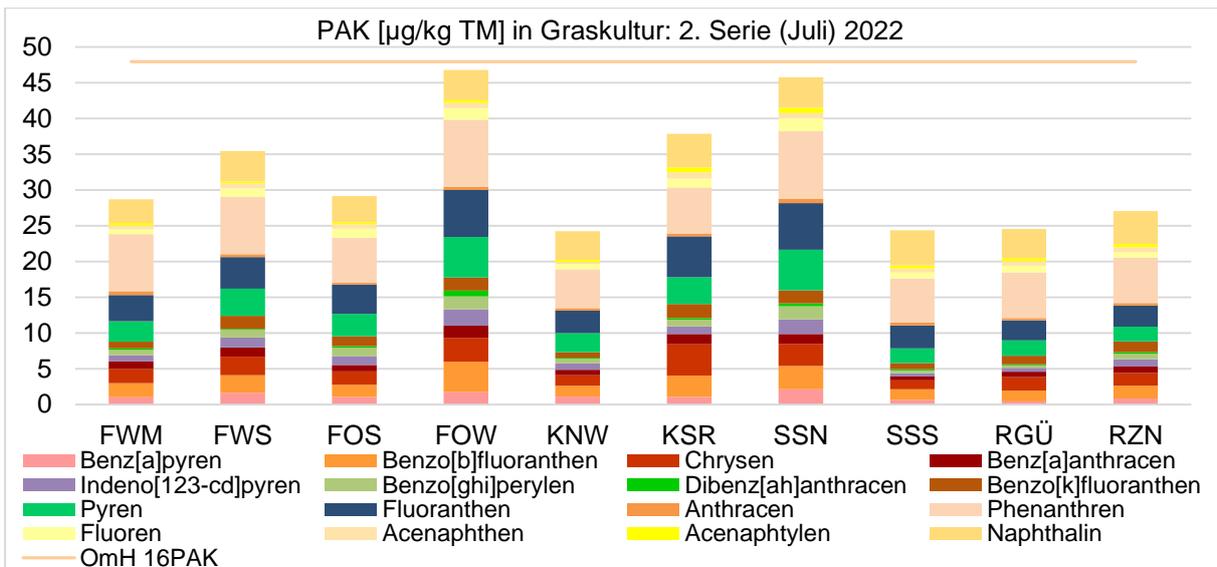
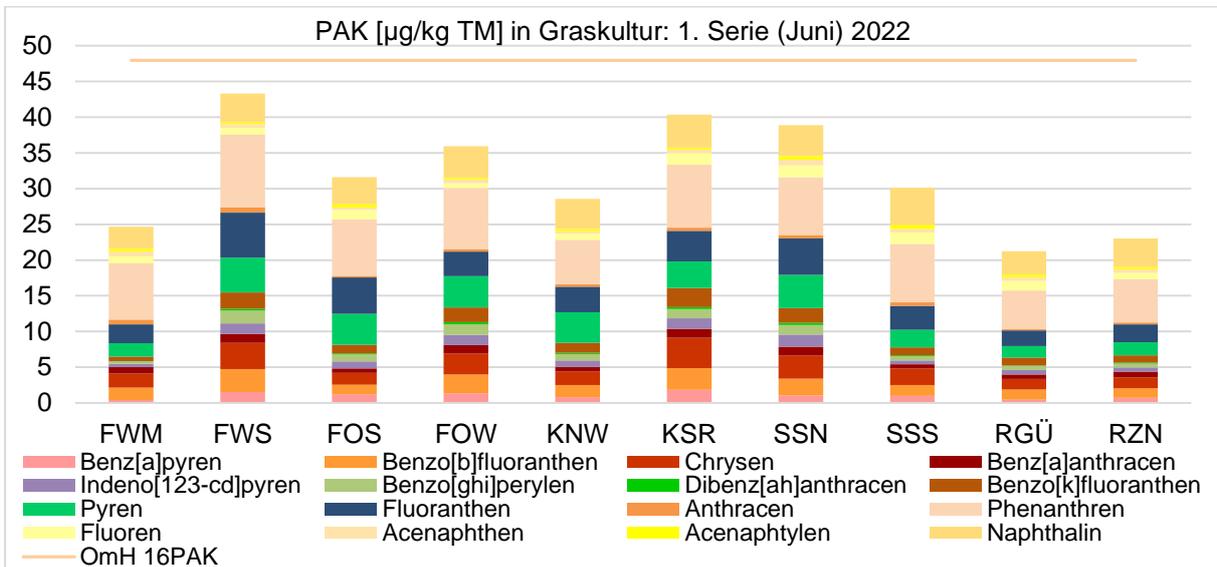
Erläuterungen zu den o.s. Tabellen: Gehalte und Bestimmungsgrenze in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ; serienweise Darstellung, keine Mittelwertbildung; Überschreitungen des Orientierungswerts für den maximalen Hintergrundgehalt OmH: Wert abzüglich Standardunsicherheit  $\mu$  33,3% >OmH orange unterlegt; Werte, die den orientierenden Höchstgehalt für getrocknete Kräuter und Gewürze (blass grau; VO (EU) 2015/1933) überschreiten würden: rosa unterlegt (Tabelle 2.5 2); leere Zeile: in den Jahren 2013 und 2015 wurde Benzo[k]fluoranthen in der Summe Benzo[b]fluoranthen analysiert und wird hier integriert in Benzo[b]fluoranthen dargestellt.

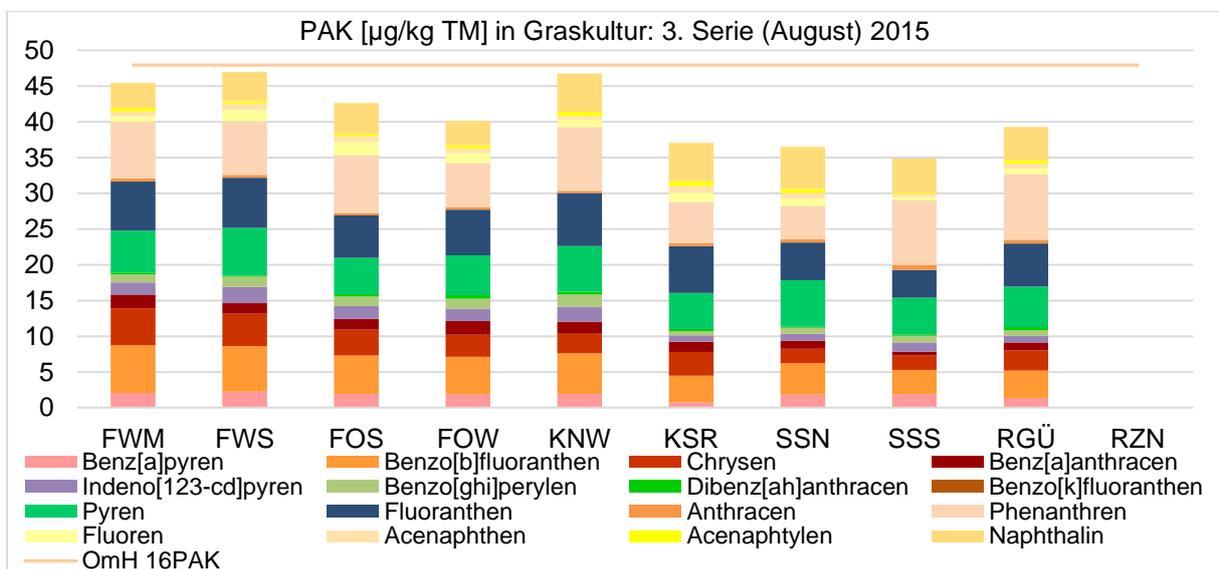
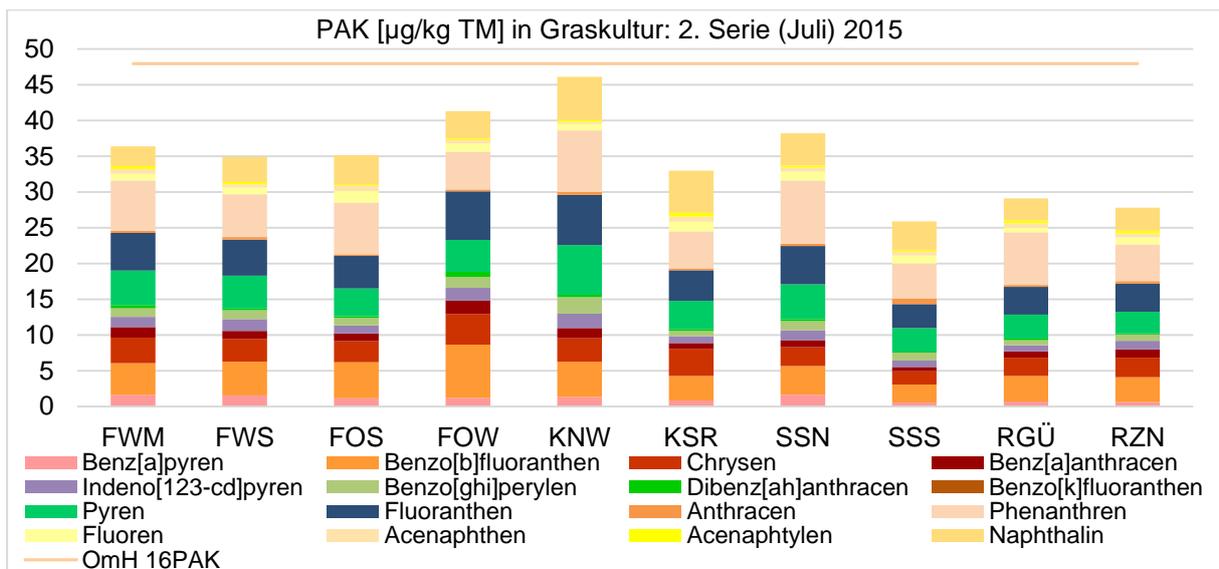
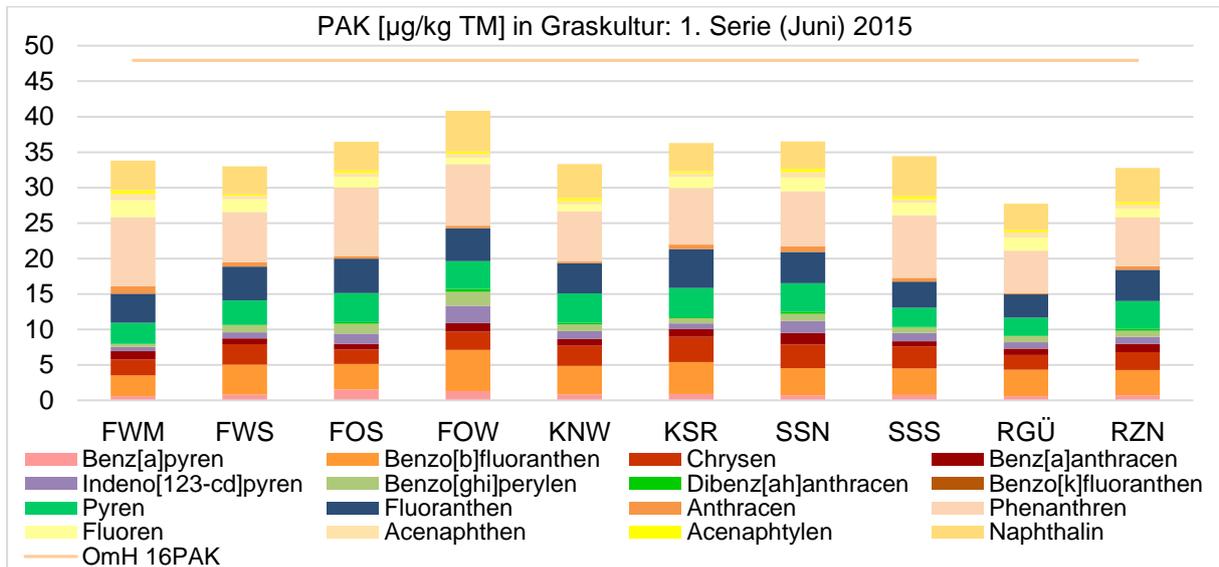
Auf den nächsten 3 Bildseiten:

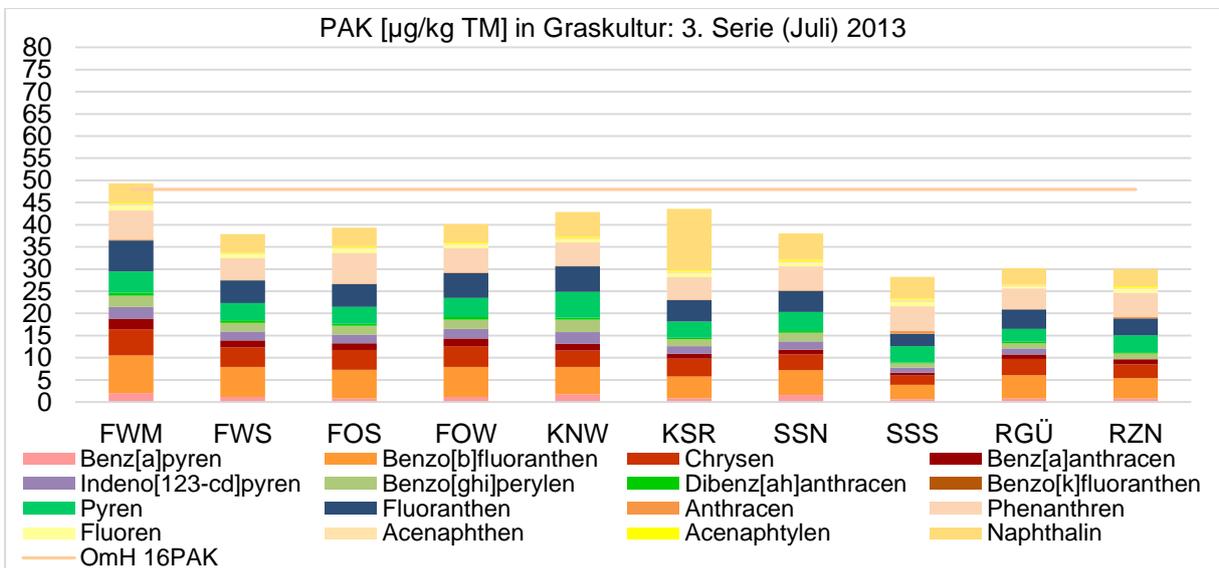
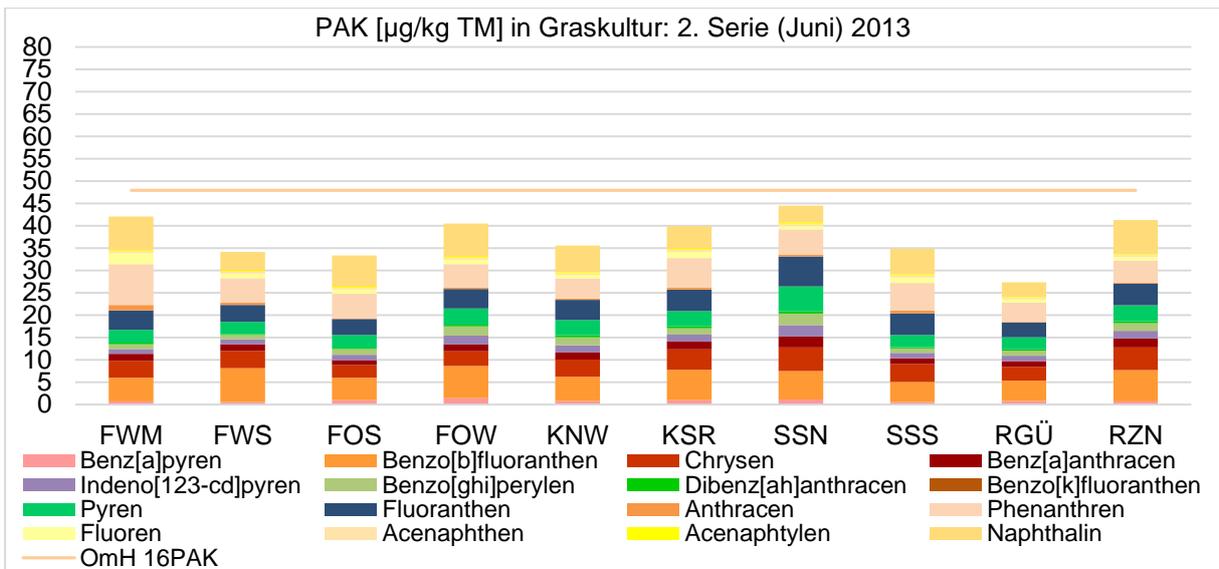
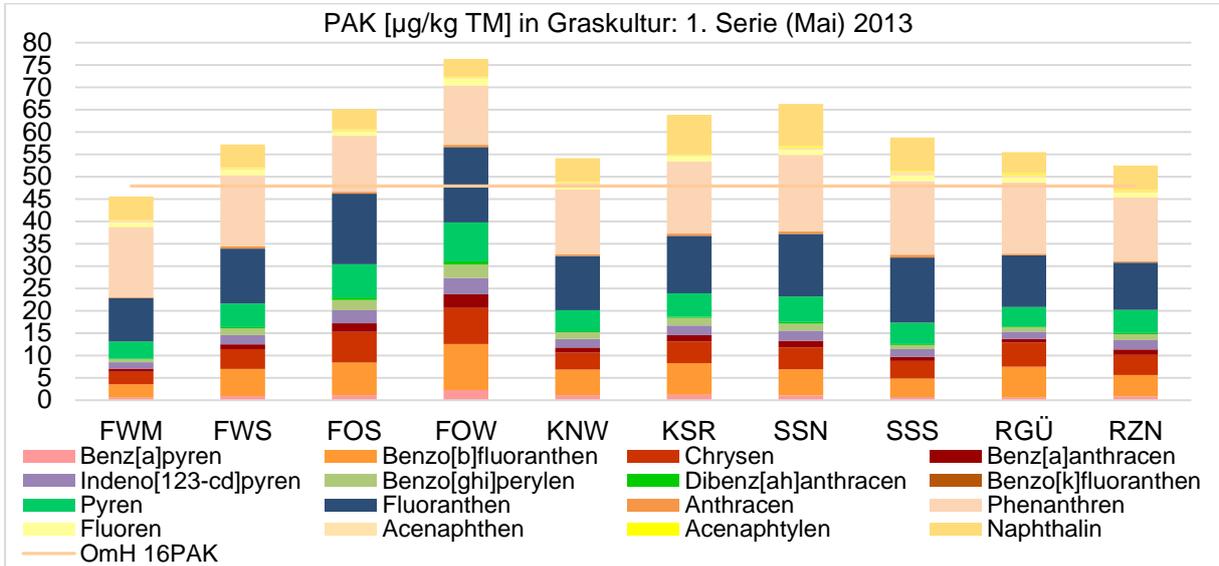
Bild 10.10-1: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2022, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten)

Bild 10.10-2: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2015, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten)

Bild 10.10-3: 16 PAK-Gehalte in Graskulturen 2013, mit OmH (Serie 1 oben, 2 Mitte, 3 unten)







## 11 Zusammenfassung der Grünkohlgergebnisse 2011–2012

Das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld startete im Herbst 2011 (Oktober und November) mit genormte Grünkohlkulturen nach Richtlinie 3957 Blatt 3 an zehn Messpunkten im Untersuchungsgebiet. Die Grünkohlkulturen wurden nach acht Wochen geerntet und im Labor analysiert. Im Herbst 2012 wurde das Grünkohl-Biomonitoring wiederholt. Unterschied zum Messnetz ab 2013: Messpunkt FOA an der Autobahn A113 wurde durch SSS in Schulzendorf ersetzt, nachdem die Immissionswirkungen unmittelbar an der Autobahn bis 2012 hinreichend charakterisiert waren.

Die Metallergebnisse waren sehr einheitlich und unauffällig. Ihr Ursprung lässt sich keiner Quelle zuordnen. Nur Antimon- und Chrom-Immissionswirkungen waren 2011 und 2012 an Messpunkt FOA, unmittelbar an der Autobahn A113, deutlich über den Hintergrundbereich erhöht, sowie 2012 auch östlich der damals nicht im Betrieb befindlichen Südbahn, an FOW. Dies war bedingt durch den Kfz-Verkehr. Hinsichtlich Arsen und Blei zeigten sich beim Grünkohl-Biomonitoring Abstufungen, allerdings trat kein Messpunkt deutlich hervor.

Im Jahr 2012 waren alle in Grünkohl untersuchten Stoffgehalte – Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Zink, PAK – mit Ergebnissen bisheriger Untersuchungen gut vergleichbar. Im Jahr 2011 waren deutlich höhere Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK-Gehalte in Grünkohl festgestellt worden. Während der außergewöhnlichen Trockenperiode im November 2011 wurden auch an der Luftgütemessstelle Schönefeld, wie bei zahlreichen Immissionsuntersuchungen deutschlandweit, überdurchschnittliche Feinstaubeinträge beobachtet. Oktober und November 2011 waren zudem von Ostwindlagen geprägt, verbunden mit Luftschadstoff-Ferntransport aus östlich gelegenen Regionen und vermutlich auch aus dem benachbarten Polen (Wäber et al. 2015). Die Witterungsfaktoren liefern somit eine schlüssige Erklärung für den gebietsweiten saisonalen Effekt höherer Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK-Gehalte in Grünkohl 2011.

Die Stoffgehalte in Grünkohl lagen aber auch 2011 unter Prüfwerten und Höchstgehalten für Lebensmittel (Fortschreibungen der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006), soweit diese für Blattgemüse festgelegt sind. Die PAK-Ergebnisse, für die aktuell keine Höchstgehalte für Gemüse definiert sind, waren ebenfalls als niedrig zu werten. Es traten zwar 2011 immissionsbedingte PAK-Anreicherungen auf, die anhand OmH-Überschreitungen identifiziert wurden. Sie lagen aber in einem für innerörtliche PAK-Immissionswirkungen typischen, unauffälligen Bereich, die innerorts beim Biomonitoring in der Umgebung des Flughafens München und unveröffentlichten Untersuchungen im Raum Ingolstadt auftraten). Im Jahr 2012 lagen die PAK-Gehalte in Grünkohl – außer an den Messpunkten FOS und FOW – unterhalb OmH, also im Hintergrundbereich.