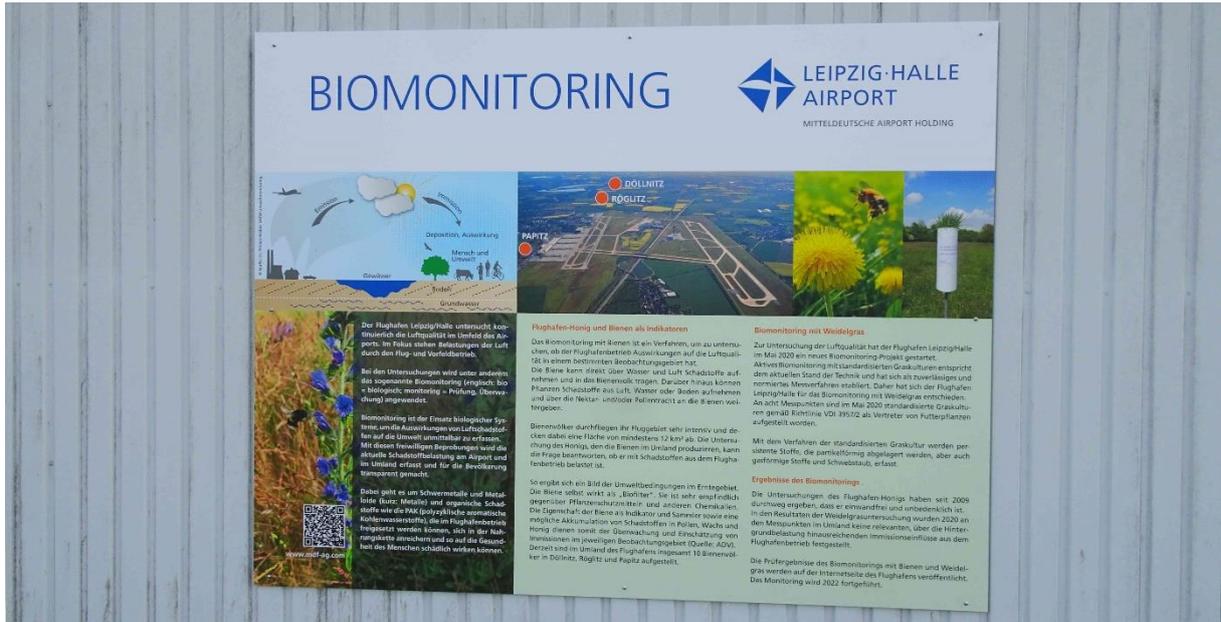


# Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 und 2022



Auftraggeber

Flughafen Leipzig/Halle GmbH

Terminalring 11

04435 Flughafen Leipzig/Halle

Auftragsnummer 4570053089

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

11.04.2023

Karten- und Bildnachweis:

Messpunkt-Übersichtskarte und -Kartenausschnitte:

Flughafen Leipzig/Halle GmbH,

Fotos:

Flughafen Leipzig/Halle GmbH

Monica Wäber, Frank Pompe, UMW Umweltmonitoring

Hinweis: Die Bilder dürfen nicht anderweitig verwendet werden.

Titelseite – Bilder: Informationstafel auf dem Gelände des Flughafens Leipzig/Halle – Flughafen  
Leipzig/Halle Luftbild – Graskultur am Messpunkt Gerbisdorf

[Foto oben: Frank Pompe, Foto unten: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Foto unten links: Monica Wäber]

## Zusammenfassung Graskultur-Biomonitoring 2020 und 2022

### Zielsetzung des Biomonitorings

Durch den Betrieb des Flughafens werden zwangsläufig Luftverunreinigungen an die Umwelt abgegeben. Biomonitoring ist der Einsatz biologischer Systeme, um luftgetragene Immissionswirkungen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes unmittelbar zu erfassen. Um die lufthygienischen Verhältnisse im Umland des Flughafens Leipzig/Halle zu ermitteln und die Entwicklung zu beurteilen, wurde das Biomonitoring 2020 im Jahr 2022 fortgeführt.

### Messkonzept

Acht Messpunkte wurden 2020 im Siedlungsbereich der Anwohner, in landwirtschaftlich genutzten Bereichen und in naturnahen Gebieten (naturschutzfachlichen Ausgleichsmaßnahmen), mit unterschiedlichem Abstand zum Flughafen Leipzig/Halle eingerichtet. Sie bilden die lufthygienischen Verhältnisse im Umland möglichst repräsentativ ab. Standardisierte Graskulturen von Weidelgras wurden gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 in vier Expositionsabschnitten von Mai bis Mitte August jeweils vierwöchig aufgestellt. Der Aufwuchs wurde anschließend auf die Anreicherungen von Luftverunreinigungen untersucht. Das Spektrum der untersuchten Luftverunreinigungen enthält Stoffe, die charakteristisch für die Emissionsquelle Flughafenbetrieb sind und die sich in der Umwelt und der Nahrungskette anreichern können. Insgesamt wurden acht Metalle (Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Zink) und 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) analysiert.

### Fragestellungen und Beurteilungsmaßstäbe

- Um zu beurteilen, ob über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionseinflüsse feststellbar sind, wurden Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte (OmH) angewendet.
- Durch den Vergleich der Messjahre und Expositionsabschnitte können temporäre Unterschiede und längerfristige Entwicklungen erkannt werden.
- Um auftretende Immissionswirkungen möglichen Emittenten zuordnen zu können, wurden Messpunktvergleiche durchgeführt und die Lage der Messpunkte zu potenziellen Emissionsquellen betrachtet.
- Die Einordnung der Wirkungssituation erfolgt anhand aktueller Vergleichswerte aus anderen Biomonitorings.
- Um etwaige Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Futter- und Nahrungsmittelproduktion auszuschließen, wurden die Stoffgehalte in den Graskulturen mit Beurteilungswerten aus dem europäischen Futtermittelrecht und einschlägigen Richtlinien verglichen. Der orientierende Vergleich mit Lebensmittelhöchstgehalten, die für einen Teil der Stoffe festgelegt sind, diente dazu, eine Gefährdung des Menschen über den Verzehr abzuschätzen.

### Identifikation von Immissionseinflüssen

Bei keinem der untersuchten Stoffe wurde ein deutlicher Immissionseinfluss mit mehrheitlichen OmH-Überschreitungen festgestellt.

Die Gehalte der fünf Metalle Antimon, Arsen, Cadmium, Nickel und Zink in Graskulturen lagen unterhalb der Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte (Arsen einmal 2020 darüber: nahe Radefeld RAD, möglicherweise aufgrund Vandalismus). Die Leitparameter Summe der 16 PAK und PAK4 lagen ebenfalls unterhalb der jeweiligen Schwellen.

Schwache Immissionseinflüsse traten für Blei, Chrom, Quecksilber sowie für das PAK Benzo[a]pyren auf:

- Für Blei wurde der OmH temporär überschritten: im Jahr 2020 im Juni an 4 der 8 Messpunkte und Ende Juli bis Mitte August an 5 Messpunkten, im Jahr 2022 im Juli an 2 Messpunkten und Ende Juli bis Mitte August an 1 Messpunkt – am häufigsten mit je 3 Mal neben Feldern am Ortsrand von Beuditz und von Gerbisdorf (BEU, GER).
- Für Chrom wurde der OmH ebenfalls temporär überschritten: im Jahr 2020 im Juli sowie Ende Juli bis Mitte August an allen Messpunkten (nur 1 Mal bei Werlitzsch WER und Schkeuditz-Ost SKO), im Jahr 2022, Ende Juli bis Mitte August 2020) an 5 Messpunkten (nicht in Röglitz RÖG, SKO und bei Freiroda FRE).
- Für Quecksilber wurde der OmH nur vereinzelt überschritten: 3 Mal an BEU (Juli 2020 und 2022, Ende Juli bis Mitte August 2020), 2 Mal an GER (Ende Juli bis Mitte August 2020, Juli 2022), 1 Mal an WER (Juli 2022) und RAD (möglicherweise aufgrund Vandalismus, vgl. oben Arsen).
- Für Benzo[a]pyren wurde der OmH temporär überschritten: jeweils Ende Juli bis Mitte August am Ortsrand von Beuditz und nahe Radefeld in beiden Jahren, bei Gerbisdorf 2020 und bei Werlitzsch 2022.

### **Zeitliche Entwicklung**

Weder ein Einfluss des Flughafenbetriebs noch eine mit den Flugzahlen korrespondierende zeitliche Entwicklung wurden 2020 und 2022 offensichtlich.

### **Messpunktstabufung und Quellenzuordnung**

Für einige Metalle wurden Unterschiede zwischen den Expositionsabschnitten beobachtet. Sie standen nicht im Zusammenhang mit der Entwicklung des Flugverkehrsaufkommens. Einflüsse von Witterung und Bodenstaubabdrift sind als Einflussfaktoren anzunehmen. Für Arsen, Cadmium, Quecksilber und PAK war aufgrund der Ergebnisse 2020 ein Zusammenhang mit der Reduktion der Emissionen aus industriellen Verbrennungsprozessen durch die Corona-Krise vermutet worden. Diese Vermutung wurde durch die Ergebnisse 2022 nicht bestätigt.

Für Arsen, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Zink und die PAK Leitparameter wurden keine Messpunktstabufungen deutlich.

Niedrigste Werte für Antimon und Blei wurden am Messpunkt RÖG in Röglitz gemessen.

Die im Messpunktvergleich höheren Antimon-Ergebnisse am Messpunkt SKO in Schkeuditz Ost deuten auf dortigen Straßenverkehr als vornehmliche Quelle hin. Sie zeigen sich aber nicht einheitlich für PAK. Überdurchschnittliche Bleiwerte am Messpunkt BEU bei Beuditz und am Messpunkt GER bei Gerbisdorf weisen auf temporäre Bodenstaubaufwirbelungen von angrenzenden landwirtschaftlichen Flächen hin. Am Flughafen Leipzig/Halle wird bleifrei betankt, so dass Überflug als Ursache ausscheidet. Für den schwachen Immissionseinfluss hinsichtlich Benzo[a]pyren an GER ist Straßenverkehr als Quelle wahrscheinlich, ebenso wie am Messpunkt SKO.

### **Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation**

Die Bleiergebnisse lagen im oberen Bereich des ländlichen Hintergrunds in Bayern. 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 2020]. Sie dient als Referenz für Messungen an Quellen von Luftverunreinigungen.

gen. Die Bleiergebnisse lagen in vergleichbarer Höhe wie die Wirkungssituation, die im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg ermittelt wurde. Die insgesamt unauffällig niedrigen Werte für die übrigen untersuchten Stoffe korrespondieren mit aktuellen Graskultur-Biomonitorings an ländlichen Standorten.

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

Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Quecksilber und Zink lagen deutlich unterhalb Beurteilungswerten für Futter- und Lebensmittel und damit weit unterhalb einer Schwelle, ab der eine Gefährdung zu vermuten wäre. Für Antimon und PAK sind keine derartigen Beurteilungswerte definiert.

#### **Fazit und Ausblick**

Für das Umland des Flughafens Leipzig/Halle konnten mit dem normierten und seit Jahrzehnten etablierten Graskultur-Biomonitoring zuverlässige und belastbare Aussagen getroffen werden:

Es wurden keine relevanten, über die Hintergrundbelastung reichenden Immissionseinflüsse aus dem Flughafenbetrieb an den jeweiligen Messpunkten im Umland festgestellt. Die Metall- und PAK-Ergebnisse waren relativ einheitlich und unauffällig niedrig.

Das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle wird in den kommenden Jahren fortgeführt, um die Entwicklung der Lufthygienischen Verhältnisse weiterhin zu dokumentieren.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung Graskultur-Biomonitoring 2020 und 2022.....	3
Inhaltsverzeichnis .....	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
Danksagung .....	11
1 Einführung.....	12
1.1 Zielsetzung .....	12
1.2 Luftverunreinigungen, Immissionswirkungen und Biomonitoring .....	12
1.3 Biomonitoring im Umland des Flughafens Leipzig/Halle .....	14
2 Untersuchungskonzept und -methoden.....	16
2.1 Untersuchungsgebiet und Messpunkte .....	16
2.2 Untersuchte Stoffe.....	18
2.2.1 Metalle .....	18
2.2.2 PAK.....	20
2.3 Standardisierte Graskultur .....	20
2.4 Analysen .....	21
2.4.1 Metallanalysen.....	21
2.4.2 PAK-Analysen.....	21
2.5 Maßgaben zur Auswertung und Beurteilung .....	22
2.6 Unsicherheit des Verfahrens .....	25
2.7 Witterung .....	26
3 Ergebnisse.....	31
3.1 Antimon.....	32
3.2 Arsen .....	36
3.3 Blei.....	39
3.4 Cadmium .....	43
3.5 Chrom .....	46
3.6 Nickel.....	49
3.7 Quecksilber.....	52
3.8 Zink.....	55
3.9 PAK.....	58

4	Abkürzungen.....	68
5	Glossar.....	69
6	Literatur.....	71
6.1	Gesetze und Verordnungen .....	71
6.2	Normen und Richtlinien .....	72
6.3	Literaturquellen.....	73
6.4	Quellen im Internet .....	74
7	Anhang.....	76
7.1	Messnetz – Messpunkt-Kennblätter .....	76
7.1.1	Messpunkt RÖG .....	77
7.1.2	Messpunkt BEU .....	78
7.1.3	Messpunkt WER.....	79
7.1.4	Messpunkt SKN .....	80
7.1.5	Messpunkt SKO.....	81
7.1.6	Messpunkt FRE .....	82
7.1.7	Messpunkt GER.....	83
7.1.8	Messpunkt RAD.....	84
7.2	PAK in Graskultur 2020.....	85
7.3	PAK in Graskultur 2022.....	87

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1.2-1: Schadstoffe gelangen über die Luft in die Umwelt [Copyright Grafik: Monica Wäber].....	13
Bild 1.3-1: Flugbewegungen während der Graskultur-Expositionen 2020 und 2022 im Vergleich zum Vor-Coronajahr 2019.....	14
Bild 2.1-1: Lage der Biomonitoring-Messpunkte im Umland des Flughafens Leipzig/Halle seit 2020.....	16
Bild 2.3-1: Graskulturen am Messpunkt GER für die Analysen auf Metalle (2 kleine Kulturtöpfe rechts) und auf PAK (2 große Kulturtöpfe, links).....	21
Bild 2.7-1: Niederschlagsmengen in mm während der Graskultur-Expositionen 2020.....	26
Bild 2.7-2: Niederschlagsmengen in mm während der Graskultur-Expositionen 2022.....	27
Bild 2.7-3: Windrose für den Zeitraum 01.05.-31.08.2020.....	29
Bild 2.7-4: Windrichtungsverteilungen für die Zeiträume der Graskultur-Expositionen 1–4 in 2022.....	30
Bild 3.1-1: Antimongehalte in Graskultur.....	33
Bild 3.1-2: Antimon in Graskultur – relativer Messpunktvergleich.....	34
Bild 3.2-1: Arsengehalte in Graskultur.....	37
Bild 3.3-1: Bleigehalte in Graskultur.....	40
Bild 3.3-2: Blei in Graskultur – relativer Messpunktvergleich.....	41
Bild 3.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur.....	44
Bild 3.5-1: Chromgehalte in Graskultur.....	47
Bild 3.6-1: Nickelgehalte in Graskultur.....	50
Bild 3.7-1: Quecksilbergehalte in Graskultur.....	53
Bild 3.8-1: Zinkgehalte in Graskultur.....	56
Bild 3.9-1: PAK-Gehalte in Graskultur – 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren 2020.....	61
Bild 3.9-2: PAK-Gehalte in Graskultur – 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren 2022.....	62
Bild 3.9-3: PAK in Graskultur – relativer Messpunktvergleich 2020.....	64
Bild 3.9-4: PAK in Graskultur – relativer Messpunktvergleich 2022.....	65
Bild 7.1-1: Messpunkt RÖG – Karte (oben) und Foto (unten).....	77
Bild 7.1-2: Messpunkt BEU – Karte (oben) und Foto (unten).....	78
Bild 7.1-3: Messpunkt WER – Karte (oben) und Foto (unten).....	79
Bild 7.1-4: Messpunkt SKN – Karte (oben) und Foto (unten).....	80
Bild 7.1-5: Messpunkt SKO – Karte (oben) und Foto (unten).....	81
Bild 7.1-6: Messpunkt FRE – Karte (oben) und Foto (unten).....	82
Bild 7.1-7: Messpunkt GER – Karte (oben) und Foto (unten).....	83

Bild 7.1-8: Messpunkt RAD – Karte (oben) und Foto (unten) .....	84
---	----

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Biomonitoring-Messpunkte .....	17
Tabelle 2.5-1: Übersicht über OmH und Beurteilungswerte für Graskultur.....	25
Tabelle 3.1-1: Antimon in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	32
Tabelle 3.1-2: Antimon in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	32
Tabelle 3.1-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Antimon.....	35
Tabelle 3.2-1: Arsen in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020.....	36
Tabelle 3.2-2: Arsen in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022.....	36
Tabelle 3.2-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Arsen .....	38
Tabelle 3.3-1: Blei in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	39
Tabelle 3.3-2: Blei in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	39
Tabelle 3.3-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Blei .....	42
Tabelle 3.4-1: Cadmium in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020.....	43
Tabelle 3.4-2: Cadmium in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022.....	43
Tabelle 3.4-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Cadmium .....	45
Tabelle 3.5-1: Chrom in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	46
Tabelle 3.5-2: Chrom in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	46
Tabelle 3.5-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Chrom .....	48
Tabelle 3.6-1: Nickel in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	49
Tabelle 3.6-2: Nickel in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	49
Tabelle 3.6-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Nickel .....	51
Tabelle 3.7-1: Quecksilber in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	52
Tabelle 3.7-2: Quecksilber in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	52
Tabelle 3.7-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Quecksilber .....	54
Tabelle 3.8-1: Zink in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	55
Tabelle 3.8-2: Zink in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	55
Tabelle 3.8-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Zink .....	57
Tabelle 3.9-1: Summe der 16 PAK in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	58
Tabelle 3.9-2: PAK4 in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	58

Tabelle 3.9-3: Benzo[a]pyren in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020 .....	58
Tabelle 3.9-4: Summe der 16 PAK in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	59
Tabelle 3.9-5: PAK4 in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	59
Tabelle 3.9-6: Benzo[a]pyren in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022 .....	59
Tabelle 3.9-7: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 16 PAK.....	66
Tabelle 3.9-8: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für PAK4.....	66
Tabelle 3.9-9: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Benzo[a]pyren.....	66

## Danksagung

Unser herzlicher Dank geht an:

die Bürger der Umlandgemeinden für den Schutz der an den Messpunkten aufgestellten Graskulturen  
unsere Partnerlabore Eurofins Food Testing Süd GmbH Tübingen und Eurofins Ökometric GmbH Bayreuth (vormals firmierend als Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH und ÖKOMETRIC GmbH – Bayreuther Institut für Umweltforschung) sowie an

die Stabsstelle Umweltschutz der Flughafen Leipzig/Halle GmbH für die Unterstützung des Messnetzes  
und die Überlassung von meteorologischen Daten, Flugzahlen sowie  
an die Technische Dokumentation der Flughafen Leipzig/Halle GmbH für die Messpunkt-Karten.

# 1 Einführung

## 1.1 Zielsetzung

Der Flughafen Leipzig/Halle zwischen den Großstädten Leipzig und Halle/Saale nahe der Stadt Schkeuditz ist im Luftfrachtverkehr von internationaler Bedeutung. Er verfügt über ein Zweibahnssystem.

Durch den Betrieb des Flughafens werden zwangsläufig Luftverunreinigungen an die Umwelt abgeben. Daher untersucht der Flughafen Leipzig/Halle die Luftqualität im Umfeld des Airports: „Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei etwaige Belastungen der Luft durch den Flug- und Vorfeldbetrieb. Mit diesen freiwilligen Untersuchungen wird die etwaige aktuelle Schadstoffbelastung am Airport und im Umland erfasst und für die Bevölkerung transparent gemacht“ (Quelle im Internet Stand 11.12.2022: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/flughafen-leipzig/halle-gmbh/bimonitoring/>).

Um die lufthygienischen Verhältnisse in der Umgebung des Flughafens Leipzig/Halle zu ermitteln und zu beurteilen, wurde im Jahr 2020 im Umland des Flughafens ein Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen an acht Messpunkten durchgeführt. Die Ermittlung und Beurteilung orientieren sich am aktuellen Verfahrensstand, bestehenden Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien, insbesondere an Richtlinie VDI 3957 Blatt 10 mit deren zentralen Fragestellungen:

- Sind im Flughafenumland Immissionseinflüsse feststellbar?
- Können Immissionswirkungen vorhandenen Emissionsquellen zugeordnet werden?
- Wie ist die Wirkungssituation zu bewerten?
- Sind Gefährdungen von Menschen oder Tieren über die Nahrungskette zu erwarten?

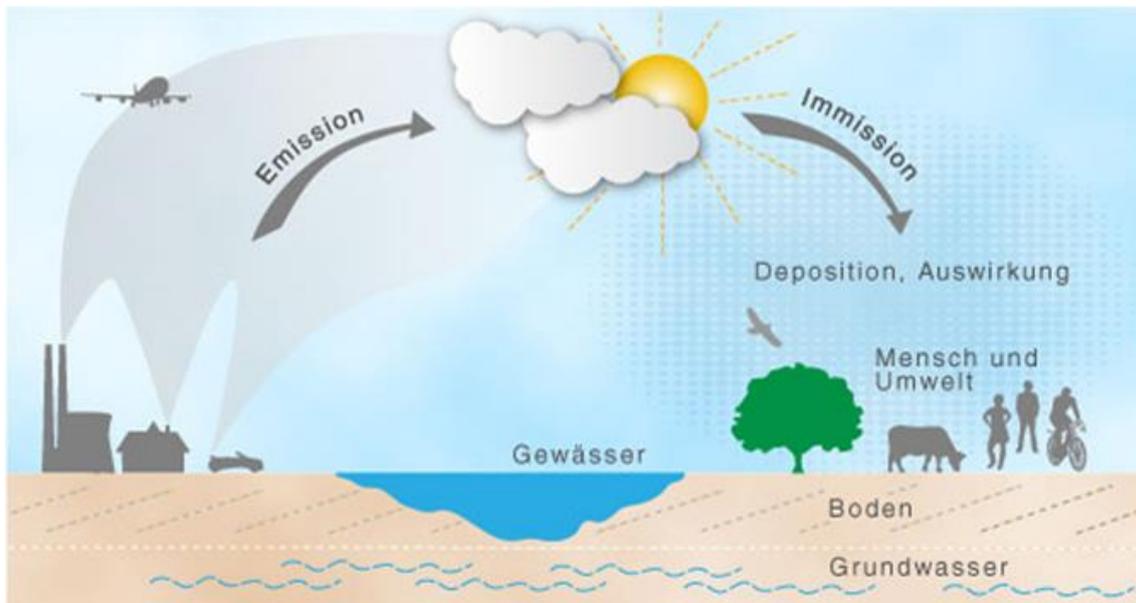
Im Jahr 2022 wurde das Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit Graskulturen an den acht Messpunkten wiederholt, um etwaige Veränderungen der Immissionswirkungssituation zu dokumentieren.

## 1.2 Luftverunreinigungen, Immissionswirkungen und Biomonitoring

**Luftverunreinigungen** werden aus vielen Quellen emittiert: Energieerzeugung, Landwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Haushalte, Straßen-, Schienen-, und Flugverkehr u.v.a.m.. Beim Betrieb eines Flughafens werden Emissionen durch Flugzeuge, aber auch durch Bodenverkehr und Energieerzeugung auf dem Flughafengelände, sowie durch Zubringerverkehr und Logistiktransporte im Umland freigesetzt. Neben diesen lokalen Emissionsquellen, können Luftverunreinigungen aus weiter entfernt liegenden Gebieten in das Flughafenumland transportiert werden.

Dort wo die Stoffe auf die Umwelt wirken, z. B. in der Umgebungsluft, werden sie als Immission bezeichnet. Der Eintrag von Immissionen in der Umwelt heißt Deposition (Bild 1.2-1). Die von Emissionsquellen in die Luft freigesetzten 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.

**Immissionswirkungen** – dieser Begriff beschreibt, wie Immissionen sich in Pflanzen und Tieren anreichern und wie sie sich auf Organismen auswirken. Organismen, beispielsweise Pflanzen können die Stoffdepositionen und Schwebteilchen 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.



**Bild 1.2-1: Schadstoffe gelangen über die Luft in die Umwelt [Copyright Grafik: Monica Wäber]**

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

Beim aktiven Biomonitoring werden Bioindikatoren für einen bestimmten Zeitraum den Immissionswirkungen gezielt ausgesetzt und danach untersucht. Zumeist kommen Weidelgras (standardisierte Graskultur nach VDI 3957/2) als Futtermittelvertreter und Grünkohl (Grünkohl-Exposition nach VDI 3957/3) als Vertreter von Gemüselebensmitteln zum Einsatz (Wäber 2016a). Neben schwer abbaubaren (persistenten) Stoffen, die partikelförmig abgelagert werden, erfassen sie auch gasförmige Stoffe und Schwebstaub: z. B. Metalle sowie organische Schadstoffe wie die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Die während der Exposition akkumulierten Stoffe können den aktuellen lufthygienischen Verhältnissen zugeordnet werden.

Biomonitoring-Verfahren sind seit Jahrzehnten etabliert und in Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) und europäischen Normen festgelegt (VDI 2016). Sie liefern vergleichbar reproduzierbare und zuverlässige Ergebnisse wie technische Immissionsmessungen und bieten zahlreiche Vorteile:

- Viele Luftverunreinigungen können, auch im Zusammenwirken, gleichzeitig erfasst werden.
- Messpunkte können beim aktiven Biomonitoring unabhängig von der Infrastruktur so gewählt werden, dass Einwirkungsbereiche von Emittenten abgegrenzt werden können.
- Biomonitoring gibt anschauliche und begreifbare Antworten auf die Fragen, ob Immissionswirkungen feststellbar sind, wie hoch sie sind und ob man unter den möglichen Quellen den oder die Verursacher identifizieren kann (vgl. Kap. 1.1).

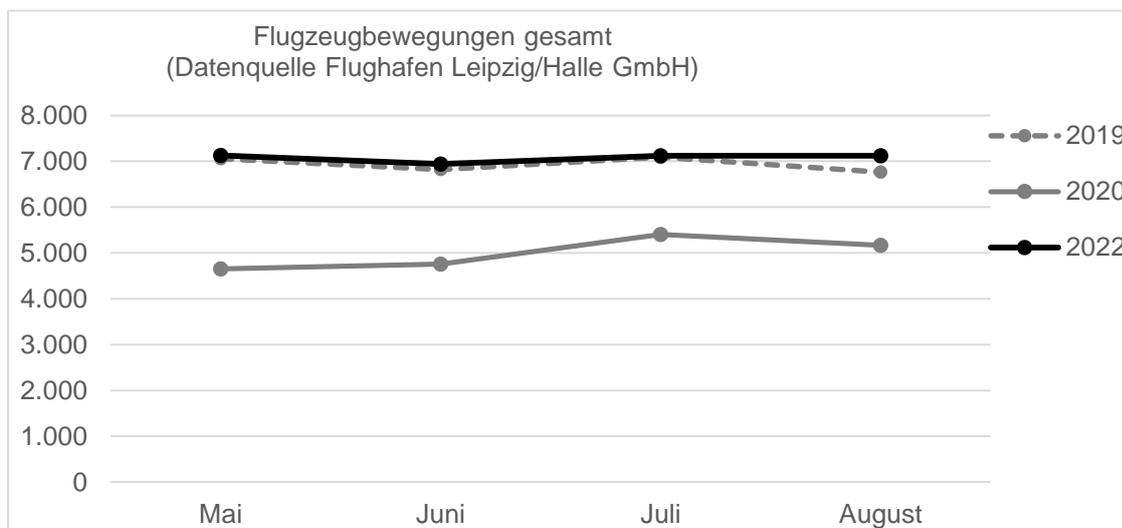
### 1.3 Biomonitoring im Umland des Flughafens Leipzig/Halle

Im Jahr 2020 wurde ein Biomonitoring von Luftverunreinigungen im Umland des Flughafens durchgeführt. Acht Messpunkte wurden im Untersuchungsgebiet im landwirtschaftlich genutzten Bereich, siedlungsnah und flughafennah eingerichtet. Standardisierte Graskulturen von Weidelgras gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 (kurz: Graskultur) wurden in vier Expositionsabschnitten von Mai bis Mitte August jeweils 4wöchig aufgestellt und anschließend auf die Anreicherungen von ausgewählten Metallen und PAK analysiert.

Im Jahr 2022 wurde das Biomonitoring im Umland des Flughafens verfahrensgleich wiederholt.

Die Untersuchungsmethoden sind nachfolgend in Kapitel 2 dargestellt, die Ergebnisse hinsichtlich Identifikation von Immissionseinflüssen, zeitlicher Entwicklung, Quellenzuordnung soweit möglich, vergleichen der Einordnung und Gefährdungsabschätzung in Kapitel 3.

Als Auswirkung der Corona-Pandemie war im Jahr 2020 das Flugverkehrsaufkommen im Mai, Juni, Juli und August im Vergleich zu 2019 zurückgegangen (Bild 1.3-1). Am Flughafen Leipzig/Halle war der Rückgang aufgrund des hohen Frachtverkehrsanteils weit geringer als an anderen deutschen Verkehrsflughäfen: im Mai 2020 um ein Drittel, im Juni um 30 %, im Juli wie August um ein Viertel gegenüber 2019. Im Gesamtjahr 2021 wurde fast wieder das Flugverkehrsaufkommen des Vor-Coronajahres 2019 erreicht (-4 %), im Gesamtjahr 2022 wurde es sogar knapp übertroffen (+2 %).



**Bild 1.3-1: Flugbewegungen während der Graskultur-Expositionen 2020 und 2022 im Vergleich zum Vor-Coronajahr 2019**

Das während des Biomonitorings 2022 um rund +40 % geänderte Flugverkehrsaufkommen gegenüber dem im ersten Coronajahr 2020 (Mai: +53 %, Juni: +46 %, Juli +32 %, August +38 %; Bild 1.3-1) und die damit verbundene Zunahme des Zubringerverkehrs lassen vermuten, dass sich die lufthygienischen Verhältnisse auf dem Flughafengelände und in der Umgebung des Flughafens geändert haben könnten. Ziel des Graskultur-Biomonitorings 2022 ist es daher auch, etwaige Veränderungen der Immissionswirkungssituation gegenüber 2020 zu dokumentieren.

Im Jahr 2008 war zur Ermittlung und Beurteilung der damaligen lufthygienischen Verhältnisse in der Umgebung des Flughafens bereits ein Biomonitoring, allerdings mit dem Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl“ (VDI 3957/3) durchgeführt worden: mit einer 8wöchigen Exposition im Herbst. Von

der TÜV SÜD Industrie Service GmbH, die die Untersuchungen durchführte, wurden die ermittelten Stoffanreicherungen als typisch für ländlich geprägte Standorte bewertet, keine für den menschlichen Verzehr gesundheitsrelevanten Anreicherungen festgestellt und ein Flughafeneinfluss war nicht abzuleiten (TÜV 2009). Der direkte Vergleich der Ergebnisse 2020 mit denen aus 2008 ist aufgrund der veränderten Messkonzeption nicht möglich:

- Die Bioindikatoren unterliegen unterschiedlichen saisonalen Effekten und
- sie besitzen grundsätzlich unterschiedliche Anreicherungseigenschaften.
- Da nur drei der acht Messpunkte 2020/2022 nahe der Messpunkte aus dem Jahr 2008 gelegen sind, ist ein relativer Vergleich der damaligen mit den aktuellen Messpunktstufungen nicht sinnvoll.

In Bezug auf die vorliegende konkrete Fragestellung weist das 2020 und 2022 angewendete Graskultur-Verfahren gegenüber dem Grünkohl-Verfahren Unterschiede und Vorteile auf:

- Es wird zeitlich vor der im Herbst einsetzenden Heizperiode und somit ohne den überlagernden ubiquitären Einfluss von PAK aus dem Betrieb von Feuerungsanlagen zu Heizzwecken eingesetzt.
- Mehrere Expositionsabschnitte ermöglichen es, Immissionswirkungen in ihrer zeitlichen Abfolge zu erfassen und erhöhen die Datensicherheit.
- Es liegt eine breitere Basis von aktuellen normierten Orientierungswerten maximaler Hintergrundgehalte für standardisierte Graskulturen für die differenzierte Beurteilung vor (Richtlinie VDI 3857/2, 2021), als für Grünkohl (VDI 3957/3 2022).
- Die standardisierte Graskultur ist bei Biomonitoring-Untersuchungen auf Metalle noch verbreiteter als die Grünkohl-Exposition und verfügt so über ausreichend Vergleichswerte zur Einordnung der Ergebnisse.
- Stoffgehalte in den Graskulturen können direkt mit Beurteilungswerten aus dem europäischen Futtermittelrecht und aus VDI-Richtlinien verglichen werden, um etwaige Beeinträchtigungen hinsichtlich landwirtschaftlicher Futter- und Nahrungsmittelproduktion zu beurteilen. Zudem ist die Bewertung der Graskultur-Ergebnisse in Hinblick auf die menschliche Gesundheit indirekt ebenso möglich wie beim Grünkohl-Verfahren: Durch den Vergleich mit Lebensmittelhöchstgehalten kann ansatzweise eine Gefährdung des Menschen über den Verzehr abgeschätzt werden. Allerdings werden die Bioindikatoren Graskultur wie Grünkohl ungewaschen analysiert, während sich die Höchstgehalte des Lebensmittelrechts auf verzehrfertig aufbereitete, in diesem Fall auch gewaschene Lebensmittel beziehen. Die Bioindikatoren dienen somit als Immissions-„Frühwarnsysteme“.

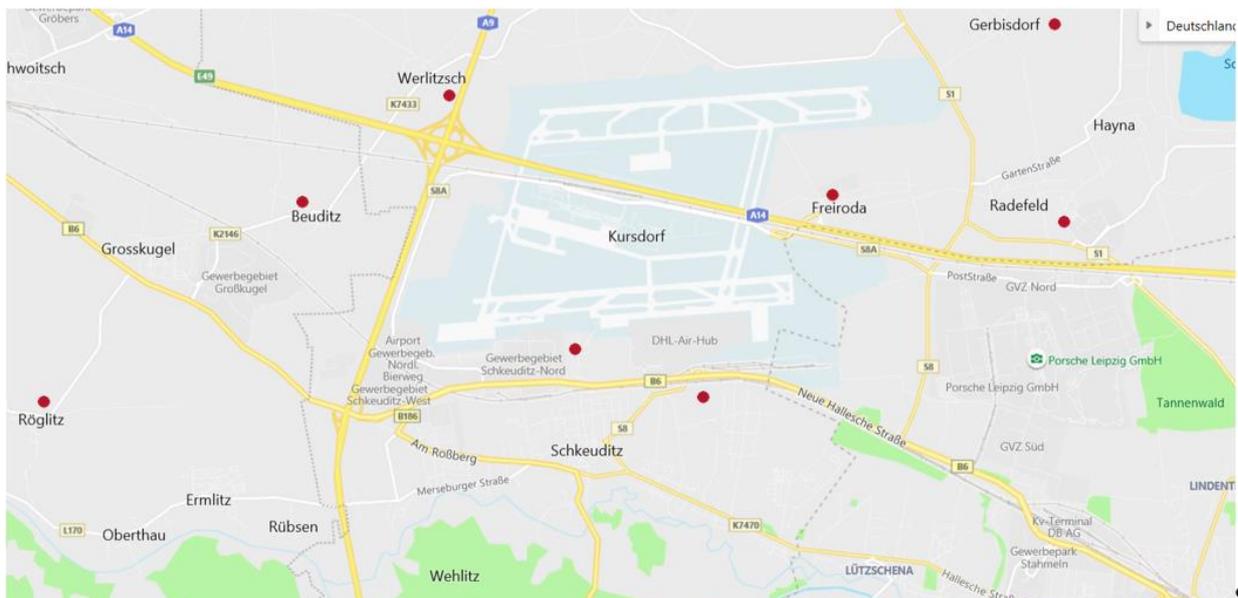
## 2 Untersuchungskonzept und -methoden

Das Graskultur-Biomonitoring ist so angelegt, dass es die Anforderungen der maßgeblichen Richtlinie zum emittentenbezogenen Biomonitoring erfüllt und der Fragestellung entspricht (VDI 3957/10; Kap. 1.1):

- Die Messpunkte im Untersuchungsgebiet bilden die lufthygienischen Verhältnisse im Umland möglichst repräsentativ ab – im Siedlungsbereich der Anwohner, im landwirtschaftlich genutzten Bereich, im Bereich naturschutzfachlicher Ausgleichsmaßnahmen mit unterschiedlichem Abstand zum Flughafen Leipzig/Halle.
- Das Spektrum der untersuchten Stoffe 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. Das Stoffspektrum entspricht den beim Bienenmonitoring ebenfalls untersuchten Stoffen (Quelle im Internet, Stand 11.12.2022: [https://www.mdf-ag.com/media/user\\_upload/Leipzig\\_Halle/Bilder/Umwelt/LEJ\\_Honigbericht2009-2021.pdf](https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/Bilder/Umwelt/LEJ_Honigbericht2009-2021.pdf)).
- Mit dem aktiven Biomonitoring-Verfahren standardisierte Graskultur (VDI 3957/2) als Futtermittelvertreter kann über die gemessene Akkumulation der Bezug zu den Schutzgütern Tier und Mensch hergestellt werden. Weitere Vorteile des Verfahrens sind einleitend ausgeführt (vgl. Kap. 1.3).

Die Messpunktauswahl durch die Stabsstelle Umwelt der Flughafen Leipzig/Halle GmbH wurde von Dr. Monica Wäber – UMW Umweltmonitoring in Sauerlach, beraten. Die Partnerlabore von UMW, Eurofins Food Testing Süd GmbH Tübingen (für Metallanalytik; vormals Berghof Analytik + Umweltengineering GmbH) und Eurofins Ökometric GmbH Bayreuth (für PAK-Analytik; vormals ÖKOMETRIC GmbH – Bayreuther Institut für Umweltforschung) führten die Analysen durch.

### 2.1 Untersuchungsgebiet und Messpunkte



**Bild 2.1-1: Lage der Biomonitoring-Messpunkte im Umland des Flughafens Leipzig/Halle seit 2020**  
 weinrote Kreise: Biomonitoring-Messpunkte; hellblaue Fläche: Flughafenareal  
 [Karte: Flughafen Leipzig/Halle GmbH]

Bild 2.1-1 stellt die Lage der Biomonitoring-Messpunkte im Umland des Flughafens Leipzig/Halle seit 2020 dar und Tabelle 2.1-1 gibt eine Übersicht über deren Immissionssituation. Im Anhang (Kap. 7.1) finden sich für jeden dieser Messpunkte Kennblätter mit Lagebeschreibung, Kartenausschnitt und Foto.

**Tabelle 2.1-1: Übersicht über die Biomonitoring-Messpunkte**

Messpunkt	Name	MP-Lage	MP-Beschreibung
Röglitz	RÖG	innerorts auf Obstwiese, ca. 4,8 km west-südwestlich der Südbahn (Abflüge bei Westwind)	innerorts, Gradient (versetzt) zu MP BEU, Überflug in größerer Höhe möglich
Beuditz	BEU	nördlicher Ortsrand an Gartenwiese, landwirtschaftliche Flächen unmittelbar nördlich, ca. 2,3 km westlich des Vorfelds am Terminal zwischen Nord- und Südbahn	flughafennah (zw. Nord-/Südbahn), kein direkter Überflug, unmittelbar an Landwirtschaft, Siedlungsrand
Werlitzsch	WER	nordöstlicher Ortsrand auf Ausgleichsfläche des Flughafens, ca. 2,6 km nordwestlich der Nordbahn (Abflüge bei Westwind)	flughafennah (Nordbahn), Siedlungsrand, landwirtschaftsnah
Schkeuditz-Nord	SKN	innerorts auf bewachsenem Wall (ca. 1,5 m Höhe) neben Wohnhaus und Sportplatz, kleinere, landwirtschaftliche Fläche unmittelbar südlich, ca. 100 m südlich Flughafenzaun und ca. 500 m südlich Südbahn	flughafennah (Rollverkehr Südbahn), seitlich der Südbahn (kein Überflug), innerorts landwirtschaftsnah
Schkeuditz-Ost	SKO	auf Ausgleichsfläche des Flughafens, naturnahe Flächen mit Büschen in mindestens 100 m Umkreis, 200m westlich Schkeuditz-Papitz, ca. 100 m südlich Gleisen und ca. 150 m südlich Flughafen-Zubringerverkehr, ca. 500 m südlich des DHL-Hangars des Flughafens	flughafennah (DHL-Gebäude), seitlich der Südbahn (kein Überflug), naturnah, siedlungsnah, (von Bahn-/Straßenverkehr in rund 130 m durch Büsche abgeschirmt)
Freiroda	FRE	südwestlicher Ortsrand auf Ausgleichsfläche des Flughafens, ca. 0,8 km nordöstlich der Südbahn und ca. 1,5 km südlich der Nordbahn, ca. 2,5 km östlich des Vorfelds am Terminal, Autobahn A14 und Zubringerverkehr ca. 130 m entfernt südlich bzw. westlich	flughafennah (zw. Nord-/Südbahn), kein direkter Überflug, Siedlungsrand, (von Straßenverkehr 130 m entfernt und durch Büsche abgeschirmt)
Gerbisdorf	GER	südwestlicher Ortsrand auf Ausgleichsfläche des Flughafens, ca. 20 m westlich wenig befahrener Ortsverbindungsstraße, landwirtschaftliche Flächen unmittelbar westlich und auch östlich, ca. 1,8 km östlich der Nordbahn (Abflüge bei Ostwind)	flughafennah (Nordbahn), kein direkter Überflug, unmittelbar an Landwirtschaft, Siedlungsrand
Radefeld	RAD	ca. 200 m südlich des Ortsrands und ca. 400 m westlich des Gewerbegebiets auf Ausgleichsfläche des Flughafens, ca. 2,9 km nordöstlich der Südbahn (Abflüge bei Ostwind)	Überflug möglich (Südbahn), Randlage nahe Siedlung und Gewerbegebiet

Das Untersuchungsgebiet reicht von Röglitz, Gemeinde Schkopau Sachsen-Anhalt, im Westen bis Gerbisdorf, Kreis Schkeuditz Nordsachsen, im Osten Richtung Werbeliner und Schladitzer Seen. Es umfasst die Orte Beuditz/Großkugel, Werlitzsch, die Große Kreisstadt Scheuditz und deren Ortsteile Freiroda und Radefeld.

Die Messpunkte repräsentieren Anwohnersituationen in unterschiedlichen Entfernungen vom Flughafenareal und von den Start- und Landebahnen, im Überflug, in landwirtschaftlich genutzten Gebieten, im Siedlungsbereich mit dessen typischen Quellen Verkehr und – saisonal – häuslichen Feuerungen. Ein Teil der Messpunkte befindet sich auf Flächen ökologischer Ausgleichsmaßnahmen des Flughafens (Quelle im Internet, Stand 11.12.2022: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/flughafen-leipzig/halle-gmbh/naturschutz/>).

Mit den Messpunkten RÖG und SKO wird die Verbindung zum Bienenmonitoring mit den Standorten der Bienenvölker in Röglitz und Schkeuditz-Papitz hergestellt (Quelle im Internet, Stand 11.12.2022: <https://www.mdf-ag.com/unternehmen/umwelt/flughafen-leipzig/halle-gmbh/biomonitoring/>).

## 2.2 Untersuchte Stoffe

Beim Biomonitoring 2020 und 2022 wurden 8 Metalle – Antimon (Sb), Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Zink (Zn) – sowie 16 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht.

### 2.2.1 Metalle

Die ausgewählten Metalle gelangen aus vielen Quellen in die Umwelt, z. B. aus Quellen im Verkehr, Staubverwehungen von versiegelten Flächen, landwirtschaftlichen Aktivitäten, industriellen Prozessen. Für einen Teil der ausgewählten Metalle können Verkehr und Flughafenbetrieb direkte Quellen sein:

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

Für Arsen (As), Cadmium (Cd) und Quecksilber (Hg) stellen Verkehr und Flughafenbetrieb keine direkten Quellen dar. Sie wurden untersucht, weil sie ökotoxisch wirken können und aufgrund ihrer umweltschädlichen Wirkungen für sie, wie auch für Cr, Ni, Pb und Zn Empfehlungswerte und gesetzliche Grenzwerte festgelegt sind (Richtlinienreihe VDI 2310, Futtermittelverordnung, Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 ff.).

**Antimon (Sb)** wird wie Arsen als krebserregend eingestuft (Savory und Wills, 1984). Der Kfz-Verkehr, insbesondere Stopp-And-Go-Verkehr (Abrieb aus Bremsbelägen und Reifenabrieb), ist als Quelle von Antimon-Immissionswirkungen seit langem bekannt (Peichl et al. 1994, Wäber et al. 1998, Krapp und Peichl 2015, BayLfU 2019).

**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 Arseneinträge in Böden, können durch Erdbewegungen bei landwirtschaftlicher und Bautätigkeit in die Luft gelangen. Aufgrund seiner ökotoxikologischen Bedeutung (Savory & Wills 1984) sind in der Futtermittelverordnung (FuttMV) Höchstgehalte für unterschiedliche Einzel- und Alleinfuttermittel festgelegt und

in Richtlinie VDI 2310 Blatt 35 Maximale Immissions-Werte zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere als Richtwerte für Rinder- und Schaf-Futtermittel mit Empfehlungscharakter enthalten (siehe Tabelle 2.5-1).

**Blei (Pb)** gelangt aus Kohleverbrennung und vornehmlich bei der Bodenbearbeitung aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt. Zudem kann es aus Mineraldüngern oder Klärschlamm (Rentz und Martel 1998, UBA 2014a) und laut Recherche des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019) auch aus Bremsabrieb und Motorverschleiß stammen. An manchen Flughäfen wird bleihaltiger Kraftstoff getankt (in Kleinflugzeuge; mündliche Mitteilung SWAH Krüger) – nicht am Flughafen Leipzig/Halle (mündliche Mitteilung, Stabsstelle Umwelt Flughafen Leipzig/Halle GmbH). Bleiverbindungen liegen in der Außenluft überwiegend an Partikel gebunden vor und werden aus der Luft durch trockene und nasse Deposition in die Umweltmedien eingetragen. Die wichtigste Aufnahmequelle für den Menschen ist die Nahrung. Aufgrund der ökotoxischen Bedeutung und Anreicherung über die Nahrungskette (Umweltatlas Hessen 2005) definiert die FuttMV mit VO (EU) Nr. 744/2012 Höchstgehalte für gewisse Einzel- und Alleinfuttermittel und die Richtlinie VDI 2310 Blatt 27 Maximale Immissions-Werte. Verordnung (EU) 2015/1005 legt Höchstgehalte in Lebensmitteln fest (siehe Tabelle 2.5-1).

**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 ist gut für Pflanzen verfügbar, die es über die Wurzeln aufnehmen können. Aufgrund der ökotoxikologischen Bedeutung – Cadmium ist als krebserregend eingestuft – hat die EU einen Höchstgehalt für Tierfuttermittel festgelegt (FuttMV), Richtlinie VDI 2310 Blatt 28 definiert Maximale Immissions-Werte zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und Verordnung VO (EU) Nr. 488/2014 legt Höchstgehalte in Lebensmitteln fest (siehe Tabelle 2.5-1).

**Chrom (Cr)** gelangt, neben industriellen Prozessen, überwiegend aus dem Verkehr in die Umwelt (UBA 2022): vor allem aus Straßenverkehr – wie Antimon aus Bremsbelägen (Peichl et al. 1994). Chrom ist einerseits als Spurenelement 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). Richtlinie VDI 2310 Blatt 39 hat Richtwerte für Futtermittel definiert (siehe Tabelle 2.5-1).

**Nickel (Ni)** kann aus Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998) sowie z. B. aus Bergbau, industriellen Prozessen und Kfz-Verkehr stammen – laut Umweltbundesamt etwa zur Hälfte aus Energiegewinnung und rund ein Drittel vom Straßenverkehr (UBA 2022), aus Katalysatoren und Motorverschleiß (BayLfU 2019). Im menschlichen Organismus kommt Nickel als Spurenelement vor, kann allerdings in höheren Konzentrationen allergische Hautreaktionen und die Reizung der Atemwege bewirken und wird mit manchen seiner Verbindungen als karzinogen eingestuft. Es besitzt also ökotoxikologische Relevanz. Daher definiert die Richtlinie VDI 2310 Blatt 30 für Nickel in Futtermitteln Richtwerte (siehe Tabelle 2.5-1).

**Quecksilber (Hg)** stammt in partikel- und gasförmiger Form hauptsächlich aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas zur Energie- und Wärmegewinnung (UBA 2022). Aufgrund der Toxizität geben die FuttMV und die Richtlinie VDI 2310 Blatt 33 Höchstgehalte bzw. Richtwerte für Futtermittel vor und VO (EU) 2018/73 legt Höchstgehalte für Quecksilberverbindungen in Lebensmitteln fest (siehe Tabelle 2.5-1).

**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). 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 (siehe Tabelle 2.5-1).

### 2.2.2 PAK

PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Materialien wie Holz, Kohle oder Ölprodukte. Sie stammen zu mehr als 80 % aus häuslichen Kleinf Feuerungsanlagen (Hausbrand), zudem aus Feuerungsanlagen im Gewerbe, aus Industrieprozessen sowie zu 2 % aus dem Verkehr (UBA 2016). Verkehrsabgase und der Flughafenbetrieb (Rückstände aus dem Kerosin) stellen 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** werden aufgrund ihrer Häufigkeit und Umweltrelevanz in der Regel stellvertretend untersucht, die von der US Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency) als „prioritäre Schadstoffe“ klassifiziert wurden (VDI 3957/2). Als stark krebserregend gelten z. B. Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[j]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren und Indeno[1,2,3-cd]pyren (Streit 1991, Meek et al. 1994).

**PAK4**, die Summe der vier Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, bewertet Kontaminanten (unerwünschte Stoffe) in Lebensmitteln (VO (EU) Nr. 835/2011).

**Benzo[a]pyren** (BaP) als eine der PAK4-Verbindungen gilt als Leitsubstanz der PAK, weil sie besonders stark krebserregend ist.

## 2.3 Standardisierte Graskultur

Die standardisierte Graskultur von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum* Lam. ssp. *italicum* Sorte „Gemini“) wurde gemäß Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 (2021) unter normierten Bedingungen im Gewächshaus vorkultiviert. Die Graskulturen wurden in vierwöchigem Wechsel von Mai bis August an den Messpunkten im Flughafenumland aufgestellt (exponiert), um die Stoffe aus der Luft zu sammeln. Nach dem Expositionsabschnitt (kurz: Serie) wurde der Biomassezuwachs geerntet und im Labor auf Stoffgehalte 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 (Bild 2.3-1).

Einige der Metalle können systemisch (natürlicherweise) aus dem Substrat über die Wurzeln aufgenommen werden. Daher werden die Graskulturen in Nullerde kultiviert, einem Gemisch aus Einheitserde Typ 0 mit geringem Spurenelementanteil, Weißtorf und Kalk. Mit Kalk wird der Säuregrad des Substrats auf rund pH 6 = schwach sauer eingestellt, um den Einfluss der Metallaufnahme aus dem Substrat möglichst konstant gering zu erhalten.



**Bild 2.3-1: Graskulturen am Messpunkt GER für die Analysen auf Metalle (2 kleine Kulturtöpfe rechts) und auf PAK (2 große Kulturtöpfe, links)**

## 2.4 Analysen

### 2.4.1 Metallanalysen

Nach der Trocknung bei 30°C, Zerkleinerung und Homogenisierung wurden die Grasproben durch Mikrowellen-Hochdruckaufschluss mit Salpetersäure und Salzsäure aufgeschlossen und die Metallgehalte mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) gemäß DIN EN 15763 bestimmt. Die analytischen Bestimmungsgrenzen (BG) sind in den Ergebniskapiteln (Kap. 3) dargestellt.

### 2.4.2 PAK-Analysen

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 (deuterierte interne Standards) analysiert. Dabei werden Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/kg TM pro Einzelverbindung erreicht (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 aktuelle Richtlinie VDI 3957 Blatt 10 (2023) maßgebend, zusammen mit Richtlinien VDI 3957 Blatt 2 (Graskultur, 2020) und VDI 3857 Blatt 2 (Orientierungswerte für den maximalen Hintergrundgehalt, 2021). In diesen Richtlinien sind die erforderlichen Kenngrößen für die Aus- und Bewertung und der Umgang mit den Messdaten festgelegt, z. B.:

- Die Trockenmasse (TM) der Graskulturen 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 Standardunsicherheit 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.

Im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle konnten aus den Hintergrundwerten der Graskultur-Biomonitorings 2020 und 2022 noch keine für das Untersuchungsgebiet spezifischen OmH ermittelt werden, weil die Anforderungen der Richtlinie VDI 3857/2 nicht hinreichend erfüllt waren: „Daten aus mindestens drei Untersuchungsjahren“ oder ausnahmsweise „mindestens 30 Messwerte“ (das würde hier bedeuten von 50 %, also 4 der 8 Messpunkte).

Für die 8 Metalle wird daher der jeweilige metallspezifische, überregionale OmH aus Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 auf die einzelnen Messwerte der 4 Expositionsserien von Graskultur angewendet (Tabelle 2.5-1). Ist kein überregionaler OmH definiert, werden ersatzweise regionale OmH herangezogen, die bei verfahrensgleicher Durchführung ermittelt wurden: der OmH von ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern (aus VDI 3857/2), der OmH für das Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens München 2017–2021 (Wäber und Pompe 2022), oder der OmH im Umland der Berliner Flughäfen 2013, 2015, 2022 (Wäber und Pompe 2022a). Für die 3 PAK-Parameter werden die jeweiligen aktuellen OmH um die Flughäfen München und Berlin herangezogen.

Die Vorgehensweise gemäß VDI 3857/2 (2021): „Nur wenn ein gemessener Elementgehalt abzüglich der Standardunsicherheit für das jeweilige Element in mg/kg TM den OmH überschreitet, liegt eine gegenüber der Hintergrundbelastung erhöhte Belastung, also ein Immissionseinfluss, vor. Kann die Standardunsicherheit nicht bestimmt oder für ein bestimmtes Element [in dieser Richtlinie] entnommen werden, kann als pragmatischer Ansatz zur verbalen Beurteilung eines Immissionseinflusses angesetzt werden, dass nur dann ein Immissionseinfluss anzunehmen ist, wenn der gemessene Wert  $\geq 1,5 \cdot OmH$  beträgt.“

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

- Ein deutlicher Immissionseinfluss an einem Messpunkt liegt vor, wenn dort mehrheitliche OmH-Überschreitungen auftreten: mindestens 5 von 8 Messwerten 2020 und 2022 den OmH überschreiten.

- Ein schwacher Immissionseinfluss an einem Messpunkt liegt vor, wenn dort nicht mehrheitliche OmH-Überschreitungen auftreten: maximal 4 von 8 Messwerten den OmH überschreiten.
- Kein Immissionseinfluss – keine über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionswirkung – liegt an einem Messpunkt vor, wenn die 8 Messwerte 2020 und 2022 den OmH unterschreiten.
- 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 im Umland des Flughafens Immissionseinflüsse feststellbar und welcher Art?**

## II: Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation

- **Wie ist die zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation?**

Diese eingangs gestellte Frage (vgl. Kapitel 1.3) 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 den Flugzahlen und Start-/Landebahn-Nutzungen in Zusammenhang stehen (Kap. 1.3: Bild 1.3-1). 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. 2.7). Bei der Ergebnisinterpretation sollte stets die Unsicherheit des Verfahrens Berücksichtigung finden. Der Vergleich der Ergebnisse im Untersuchungsgebiet mit anderen Gebieten, z. B. am Flughafen München 2017–2021, am Flughafen Berlin Brandenburg 2013, 2015, 2022 oder im ländlichen Hintergrund an bayernweiten Dauerbeobachtungsstationen (DBS) des BayLfU, kann hier ebenfalls zur Klärung beitragen (siehe auch unten: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation).

## III. Messpunktabstufung und Quellenzuordnung

Um identifizierte Immissionswirkungen an Messpunkten potenziellen Emissionsquellen zuzuordnen zu können, ist zunächst eine Messpunktabstufung vorzunehmen. Die Wertekollektive an den Messpunkten sind miteinander zu vergleichen. Sind stoffspezifisch Unterschiede erkennbar, wird untersucht, ob aus der Lage der Messpunkte zueinander und zu potenziellen Emissionsquellen, anhand Stoffspektren und gegebenenfalls weiteren Erkenntnissen, hervortretende Immissionswirkungen bestimmten Quellen zugeordnet werden können.

Da die Wertekollektive von Serie zu Serie schwanken und unterschiedlich hohe Streuung aufweisen, wurde ein relativer Messpunktvergleich durchgeführt, wenn hervortretende Immissionswirkungen vorlagen. Dieser Vergleich eliminiert serienweise Schwankungen und relativiert die Streuung. Dazu werden von den Messwerten einer Serie sogenannte Z-Werte gebildet: von jedem einzelnen 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 alle vier Serien-Z-Werte eines Messpunktes ergibt so ein Maß für die relative Abweichung der Messpunkte zueinander: Z-Mittelwert.

Diese Vorgehensweise ermöglicht es die Frage zu beantworten:

- **Können Immissionswirkungen vorhandenen Emissionsquellen zugeordnet werden?**

#### IV: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

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

- Wertebereiche im Umfeld des Flughafens München 2017-2021 (Wäber und Pompe 2022),
- Wertebereiche im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2013, 2015 und 2022 (Wäber und Pompe 2022a),
- arithmetischer Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung von Einzelwerten ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020 und 2021 für Metalle (BayLfU 2022).

Dies liefert eine vergleichende Einordnung für die Fragestellung:

- **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, die Hinweise auf etwaige Beeinträchtigungen hinsichtlich landwirtschaftlicher Futter- und Nahrungsmittelproduktion liefern. Mit Beurteilungswerten für Blattgemüse-Lebensmittel kann orientierend abgeschätzt werden, ob ein Risiko für den Menschen gegeben wäre. Beurteilungswerte zur Gefährdungsabschätzung für Mensch und Tier über den Nahrungspfad liegen für einen Teil der untersuchten Stoffe vor.

- 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. Sie sind auf Einzelmesswerte zu beziehen.
- Maximale Immissions-Werte 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. Maximale Immissions-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 Lebensmittelhöchstgehalten kann ansatzweise eine Gefährdung des Menschen über den Verzehr abgeschätzt werden. Für Blattkohl-Lebensmittel sind in den Fortschreibungen der Verordnung (VO) (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln aktuell Höchstgehalte spezifisch für Blei (VO (EU) 2021/1317), Cadmium (VO (EU) 2021/1323) und Quecksilberverbindungen (VO (EU) 2018/73) festgelegt.

Die Beurteilungswerte für Futtermittel nach FuttMV und Richtlinienreihe VDI 2310 beziehen sich auf 88 % Trockenmasse TM. Für den Vergleich mit den Graskulturergebnissen werden sie nachfolgend auf 100 % TM umgerechnet. Die Beurteilungswerte für Lebensmittel beziehen sich auf Frischmasse (FM). Für den Vergleich mit Lebensmittel-Höchstgehalten werden die Stoffgehalte im Bioindikator Grünkohl anhand des gemessenen Trockenmasseanteils in Frischmasse umgerechnet (Bezug 100 % FM). Zum einfacheren Vergleich mit den anderen Beurteilungswerten: Die in der nachfolgenden Tabelle 2.5-1 dargestellten Lebensmittelhöchstgehalte lägen für

- Blei 0,30 mg/kg FM umgerechnet auf 100% Trockenmasse bei rund 1,3 mg/kg TM,

- Cadmium 0,10 mg/kg FM umgerechnet bei rund 0,4 mg/kg TM,
- Quecksilber 0,01 mg/kg FM umgerechnet bei rund 0,04 mg/kg TM.

Beim orientierenden Vergleich mit Lebensmittelhöchstgehalten ist zu beachten, dass:

- Pflanzen allgemein unterschiedliche Anreicherungseigenschaften besitzen, der Bioindikator Graskultur hat somit andere als Blattgemüse-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 Graskultur mit den Beurteilungswerten liefert Antworten auf die Frage:

- **Sind Gefährdungen von Menschen oder Tieren über den Nahrungspfad zu erwarten?**

Die nachfolgende Übersicht (Tabelle 2.5-1) fasst die OmH (vgl. oben: I) und Beurteilungswerte hinsichtlich einer Gefährdung zusammen.

**Tabelle 2.5-1: Übersicht über OmH und Beurteilungswerte für Graskultur**

Beurteilungswerte für Graskultur bezogen auf 100% TM									
Stoff	OmH <sub>überregional</sub>	OmH Bayern	OmH Flughäfen		Unsicherheit	Höchstgehalt (FuttlM)	Richtwerte (VDI 2310)		Lebensmittel Höchstgehalt um- gerech. 100% TM
	VDI 3857/2	LfU <sub>ländl.Hintergr.</sub>	MUC (FMG)	BER (FBB)			u (%) (VDI)	Rinderfutter-	
Antimon (Sb)	0,056	<75% Werte <BG	<75% Werte <BG	<75% Werte <BG	19%	-	-	-	-
Arsen (As)	0,23	<b>0,19</b>	-	nicht möglich	13%	2,3	2,3	2,3	-
Blei (Pb)	0,36	<75% Werte <BG	0,16	<b>0,32</b>	15%	34	1,0 - 1,5	4,5 - 6,8	1,3
Cadmium (Cd)	-	0,052	-	<b>0,049</b>	19%	1,14	0,68 - 0,91	0,7	0,4
Chrom (Cr)	0,51	<75% Werte <BG	<b>0,28</b>	0,43	22%	-	57	57	-
Nickel (Ni)	-	5,4	<b>5,4</b>	nicht möglich	14%	-	57	57	-
Quecksilber (Hg)	0,011	<b>0,009</b>	-	0,016	6%	0,114	0,114	0,057	0,04
Zink (Zn)	41	37	-	<b>32</b>	14%	-	568	341	-
PAK [ $\mu$ g/kg TM]									
16 PAK	-	<b>44 / 44*</b>	26 / 26*	48	33,3%	-	-	-	-
PAK4	-	<b>8,6 / 8,1*</b>	2,6 / 2,1*	15,9	33,3%	-	-	-	-
Benzo[a]pyren	-	<b>1,7 / 0,8*</b>	0,6 / 0,3*	1,7	33,3%	-	-	-	-

angewandeter OmH (**fett**), BG: Bestimmungsgrenze

OmH überregional: 2007-2016, für Sb ersatzweise OmH Baden-Württemberg; OmH Bayern: BayLfU (2022) für Metalle: ländlicher Hintergrund 2012-2021

OmH Bayern: BayLfU (2017) für PAK: ländlicher Hintergrund 2005-2014; OmH BER (FBB): aus Hintergrundwerten 2013, 2015, 2022 (Wäber & Pompe 2022a)

OmH MUC: Flughafen München 2017-2021 (Wäber & Pompe 2022); \*: OmH für PAK für Mai-Juli / August

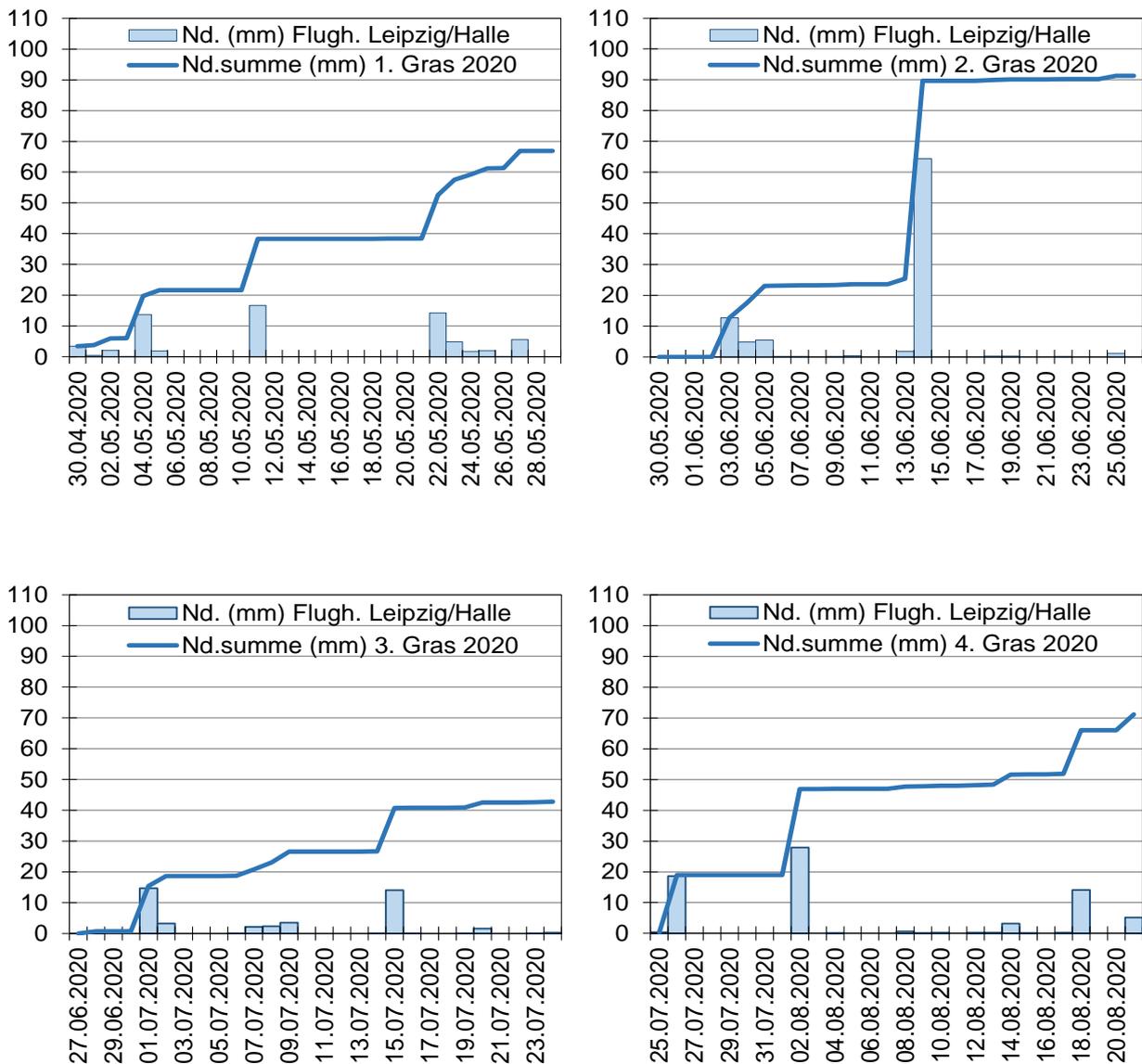
## 2.6 Unsicherheit des Verfahrens

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 Schätzung für den wahren Wert. Die Messunsicherheit gibt an, in welchem Wertebereich der Messwert um diesen wahren Wert streut (VDI 4280/1 2014 zu DIN V ENV 13005). Ein Messergebnis darf aufgrund dessen nicht als exakter Zahlenwert interpretiert werden. Vielmehr definiert die aus der verfahrensspezifischen Unsicherheit resultierende Spannweite für den Messwert einen Wertebereich {Messwert +/-  $u$ } in dem der wahre Messwert liegt (BayLfU 2017). Die Messunsicherheit ist spezifisch für den jeweiligen untersuchten Stoff, schon aufgrund seiner typischen Eintragsformen in die Umwelt.

Die ebenfalls mit  $u$  bezeichnete Standardunsicherheit, die für Graskultur in Richtlinie VDI 3857/2 (2021) für die Anwendung des OmH abgeleitet wurde, wird hier äquivalent als Unsicherheit des Verfahrens angewendet (vgl. Kap. 2.5, Tabelle 2.5-1).

Im Ergebnisteil (Kap. 3) 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 Beurteilungswerten wird bei der Aus- und Bewertung der Ergebnisse die Unsicherheit  $u$  jedoch stets mitberücksichtigt.

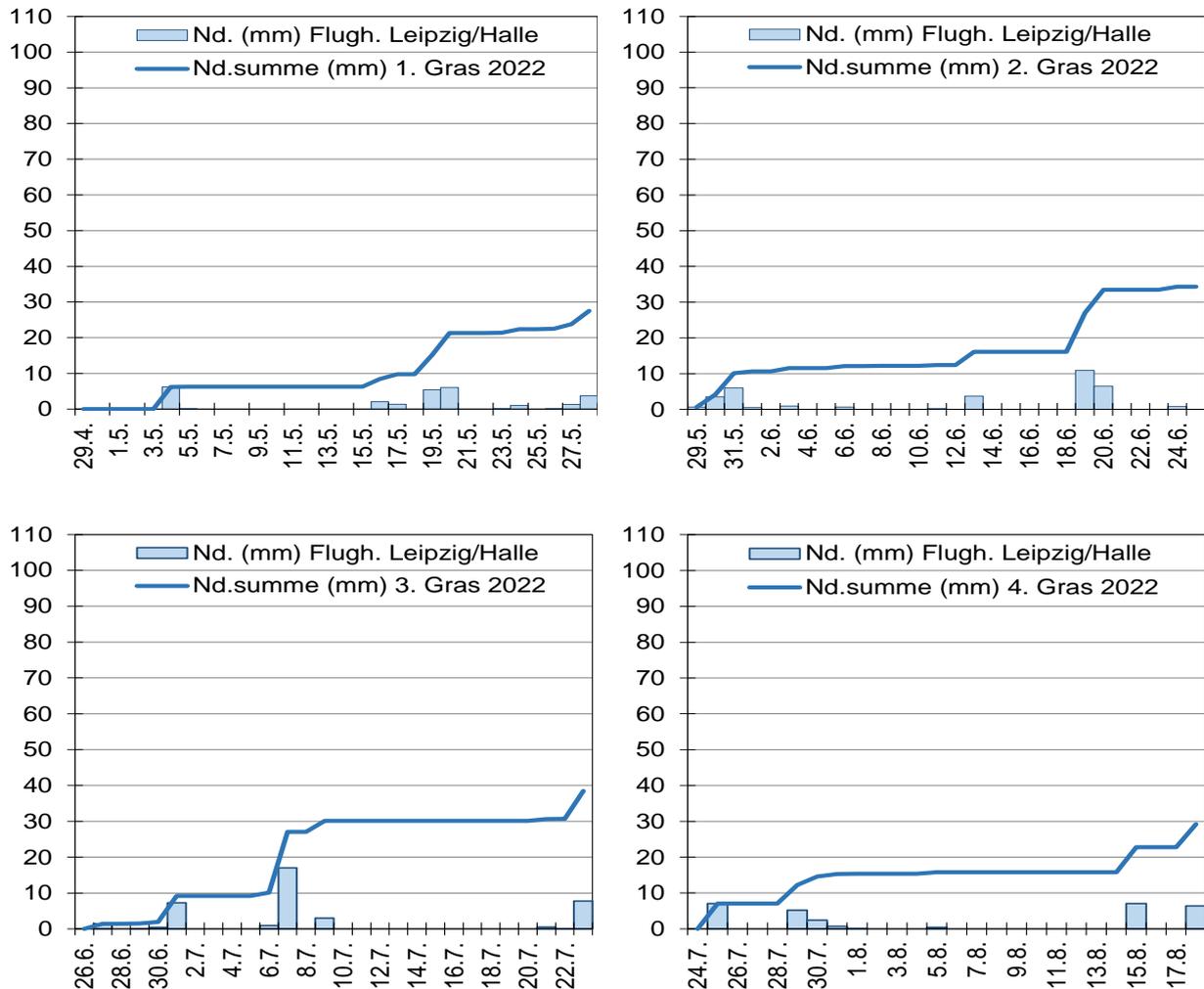
## 2.7 Witterung



**Bild 2.7-1: Niederschlagsmengen in mm während der Graskultur-Expositionen 2020**

Expositionsserien: 1. Gras links oben, 2. Gras rechts oben, 3. Gras links unten, 4. Gras rechts unten

[Datenquelle Flughafen Leipzig/Halle GmbH: von der meteorologischen Station Döllnitz]



**Bild 2.7-2: Niederschlagsmengen in mm während der Graskultur-Expositionen 2022**

Expositionsserien: 1. Gras links oben, 2. Gras rechts oben, 3. Gras links unten, 4. Gras rechts unten

[Datenquelle Flughafen Leipzig/Halle GmbH: von der meteorologischen Station Döllnitz]

Die Immissionssituation wird von der Witterung beeinflusst, vor allem von Niederschlägen sowie Windrichtung und -geschwindigkeit. Die Werte in Graskultur schwanken von Expositionsserie zu Expositionsserie unterschiedlich stark und weisen unterschiedlich hohe Streuungen auf. Die Bioindikatoren integrieren die Witterungseinflüsse, die auch auf die Vegetation wirken. So kann etwa metallhaltiger Staub von der Blattoberfläche oder durch Regenwasser zum Teil abgewaschen werden. Besonders relevant sind die Niederschläge in der jeweils zweiten Hälfte des Expositionsabschnitts:

Im Jahr 2020 war die Niederschlagsmenge mit 67 mm in der 1. Serie Graskultur im Mai und mit 71 mm in der 4. Serie im August durchschnittlich. In der 2. Serie im Juni war die Niederschlagsmenge mit 91 mm mehr als doppelt so hoch wie in der 3. Serie im Juli mit 43 mm (Bild 2.7-1 Niederschlagsdaten von der meteorologischen Station Döllnitz). Besonders auffällig war, dass mit 64 mm rund zwei Drittel der gesamten Niederschlagsmenge während der 2. Serie am 14.6.2020 fiel, danach regnete es bis zum Expositionsende kaum: rund 1mm. Ebenso regnete es während der letzten Expositionswoche von Serie 3 kaum:

2 mm. Anders die Serien 1 und 4: Während der letzten Expositionswoche von Serie 1 fiel knapp 30 mm Niederschlag und während der letzten Expositionswoche von Serie 4 gut 20 mm.

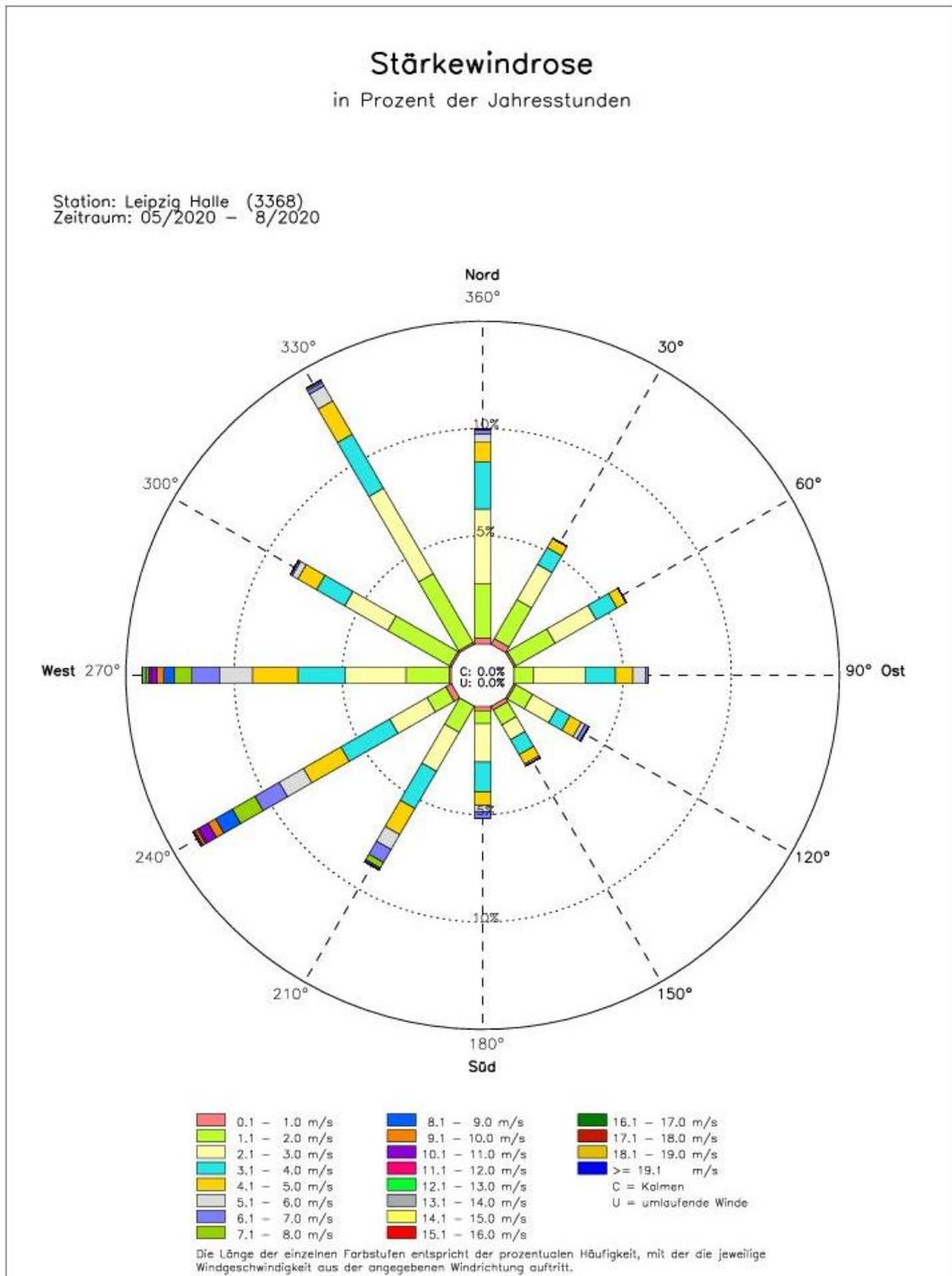
Im Jahr 2022 (Bild 2.7-2) fiel während der Expositionszeiträume insgesamt wenig Niederschlag: 28 mm in der 1. Serie Graskultur im Mai, 34 mm in der 2. Serie im Juni, 39 mm in der 3. Serie im Juli und 29 mm in der 4. Serie bis Mitte August. Jeweils während der letzten Expositionswoche regnete es kaum, mit rund 6 mm Niederschlag in Serie 1, bis schwach, mit rund 18 mm in Serie 2.

In der Flughafenregion dominieren langjährig Winde aus Südwest, die die Emissionen aus dem Bereich des Flughafens in nordöstliche Richtungen transportieren. Die sekundäre Windrichtung ist die Gegenwindrichtung aus Nordost.

Nachfolgend sind für 2020 für den gesamten Graskultur-Expositionszeitraum 01.05.-31.08.2020 die relative Häufigkeit der Windrichtung und Windgeschwindigkeit statistisch und graphisch als Windrose dargestellt (Bild 2.7-3; Datengrundlage: Stundenmesswerte der Flugwetterwarte Leipzig/Halle des Deutschen Wetterdienstes): Der Wind wehte nach Angaben des DWD im Zeitraum 01.05.-31.08.2020 am häufigsten, jeweils in 14,2 % der Zeit, aus den Sektoren mit der Sektorenmitte 270° – entspricht der Windrichtung West – und 330° – entspricht der Windrichtung Nordnordwest. Am nächsthäufigsten wehte der Wind aus West-Südwest (Sektorenmitte 240°). Winde aus östlichen Richtungen traten in diesem Zeitraum selten auf, im Vergleich zu Winden aus westlichen Richtungen.

Für das aktuelle Jahr 2022 wurde die relative Häufigkeit der Windrichtung und Windgeschwindigkeit [m/s] für die 4 Graskultur-Expositionen einzeln ausgewertet (Bild 2.7-4; Datenquelle: Meteorologische Daten des Flughafens Leipzig/Halle, auf Basis von Halbstundenwerten des Metar-Systems):

- Während der 1. Serie Graskultur im Mai 2022 (oben links) überwogen sehr deutlich Winde aus nördlichen Richtungen, gefolgt von Winden aus westlichen Richtungen – gegenüber Winden aus östlichen Richtungen.
- Während der 2. Serie Graskultur im Juni 2022 (oben rechts) überwogen sehr deutlich Winde aus westlichen Richtungen bis Nord gegenüber Winden aus östlichen Richtungen.
- Ähnlich während der 3. Serie Graskultur im Juli 2022 (unten links): Es überwogen sehr deutlich Winde aus West bis Nord gegenüber Winden aus Süd-Südost.
- Anders die Windsituation während der 4. Serie Graskultur Ende Juli bis Mitte August 2022 (unten rechts): Es überwogen sehr deutlich Winde aus nördlichen Richtungen bis östlichen Richtungen gegenüber Winden aus südwestlichen bis westlichen Richtungen.



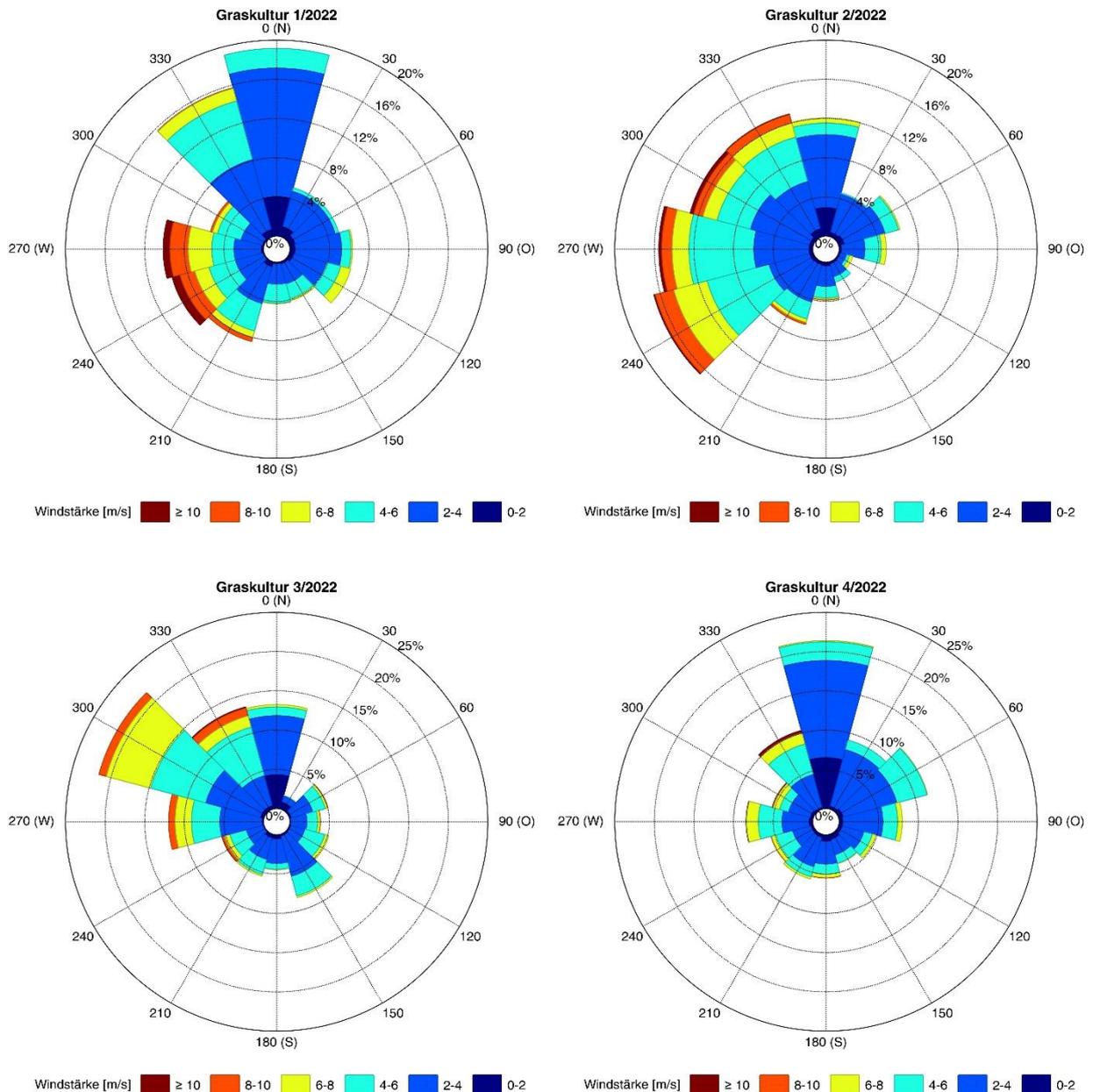
© Deutscher Wetterdienst 2020



**Bild 2.7-3: Windrose für den Zeitraum 01.05.-31.08.2020**

Relative Häufigkeit der Stundenwerte der Windrichtung und Windgeschwindigkeit [m/s]

[Datenquelle: Deutscher Wetterdienst 2020 von der Flugwetterwarte Leipzig/Halle]



**Bild 2.7-4: Windrichtungsverteilungen für die Zeiträume der Graskultur-Expositionen 1–4 in 2022**

Relative Häufigkeit der Stundenwerte der Windrichtung und Windgeschwindigkeit [m/s] während Graskultur 1 (oben links: 28.4.-26.5.22), Graskultur 2 (oben rechts: 26.5.-23.6.22), Graskultur 3 (unten links: 23.6.-21.7.22) und Graskultur 4 (unten rechts: 21.7.-18.8.22); die Windgeschwindigkeiten sind 6 Klassen und die Windrichtungen 12 Sektoren (je 30 Grad) zugeordnet.

[Datenquelle: Messstation Flughafen Leipzig; durch den Flughafen Leipzig/Halle zur Verfügung gestellte meteorologische Daten des METAR-Systems aus dem Datensystem des DWD, Datenbasis Halbstundenwerte]

### 3 Ergebnisse

Die Darstellung der Messwerte erfolgt grafisch anhand von Säulendiagrammen und Tabellen. Die Reihenfolge der Messpunkte entspricht ihrer Lage von West nach Ost.

Die Gehalte von Metallen sind in mg/kg bezogen auf 100 % Trockenmasse (TM) angegeben. Die Gehalte der 16 PAK nach EPA sind in µg/kg TM angegeben: 1 Mikrogramm pro Kilogramm entspricht ein Tausendstel Milligramm pro Kilogramm, somit 1 Millionstel Gramm pro Kilogramm.

Alle Ergebnisdarstellungen beinhalten die Angabe der stoffspezifischen analytischen Bestimmungsgrenzen (BG). Ergebnisse kleiner Bestimmungsgrenze sind mit 50 % des Zahlenwerts der Bestimmungsgrenze dargestellt und in die Berechnungen von Mittelwerten und Summen für 16 PAK integriert (VDI 3957/2). In den Tabellen sind Ergebnisse kleiner BG zudem mit kursiver Schrift gekennzeichnet.

Die PAK-Ergebnisse sind nachfolgend als Summen der 16 PAK nach EPA, PAK4 und Benzo[a]pyren dargestellt (Kap. 3.9). Alle PAK-Einzelergebnisse finden sich im Anhang (Kap. 7.2).

Die arithmetischen Mittelwerte aus den vier Messwerten von Metallen der 1. bis 4. Serie pro Jahr sind ebenfalls dann kursiv gekennzeichnet, wenn mindestens zwei Werte kleiner BG lagen. Entsprechend der Vorgehensweise des BayLfU (BayLfU 2022) wird auch dann ein Mittelwert gebildet, wenn die Einzelwerte mehrheitlich kleiner BG lagen. Für PAK-Gehalte der 1. bis 4. Serie Graskultur wird wegen etwaiger saisonaler Unterschiede (Ende der Heizperiode im Mai) kein Mittelwert gebildet.

Wenn Immissionswirkungen hervortraten, wurde zusätzlich ein relativer Messpunktvergleich anhand Z-Werten vorgenommen (Kap. 2.5). Er veranschaulicht die unterschiedliche Gesamtbelastung im Betrachtungszeitraum an den Messpunkten: Positive Z - Werte zeigen Ergebnisse über dem Durchschnitt der Messpunkte im Untersuchungsgebiet, negative Z - Werte zeigen unterdurchschnittliche Ergebnisse.

Die Beurteilungswerte für Futtermittel nach FuttMV und Richtlinienreihe VDI 2310 sind nachfolgend für den Vergleich mit den Graskulturergebnissen auf 100 % TM bezogen. Beispielsweise ergibt sich aus dem Futtermittel-Höchstgehalt für Arsen von 2 mg/kg bezogen auf 88 % TM (FuttMV) ein Beurteilungswert für Arsen von rund 2,3 mg/kg TM. Für den Vergleich mit Lebensmittel-Höchstgehalten als Beurteilungswerten aus Tabelle 2.5-1 werden hingegen die Stoffgehalte anhand des gemessenen Trockenmasseanteils auch in Frischmasse umgerechnet (Bezug 100 % FM).

Die Zusammenfassung der Ergebnisse findet sich, dem Bericht vorangestellt, auf den Seiten 3 bis 4.

### 3.1 Antimon

Antimon (Sb) (vgl. Kap. 2.2.1) war in den Grasproben analytisch bestimmbar, im Jahr 2020 mit Ausnahme von 3 der 4 Werte für Messpunkt RÖG (Tabelle 3.1-1) und im Jahr 2022 mit Ausnahme aller 4 Werte für Messpunkt RÖG (Tabelle 3.1-2). Die Gehalte reichten 2020 von <0,013–0,058 mg/kg TM, im Jahr 2022 von <0,01–0,029 mg/kg TM (Tabelle 3.1-2).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Der ersatzweise herangezogene OmH aus Baden-Württemberg beträgt 0,056 mg/kg TM und die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  19 % (VDI 3857/2 2021). Das Maximum am Messpunkt SKO 0,058 mg/kg TM abzüglich  $u$  überschreitet den OmH nicht (Tabelle 3.1-1). Es lag kein Immissionseinfluss vor (keine über die Hintergrundbelastung hinausgehende Immissionswirkung).

**Tabelle 3.1-1: Antimon in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Antimon [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,013	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,014	0,0065	0,0065	0,0065	0,008
BEU	0,028	0,025	0,018	0,021	0,023
WER	0,021	0,022	0,013	0,019	0,019
SKN	0,022	0,027	0,017	0,030	0,024
SKO	0,058	0,054	0,030	0,020	0,040
FRE	0,032	0,038	0,021	0,019	0,028
GER	0,032	0,048	0,019	0,024	0,031
RAD	0,028	0,041	0,019	0,022	0,027
OmH:	0,056	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	-

**Tabelle 3.1-2: Antimon in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Antimon [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,01	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
BEU	0,019	0,015	0,015	0,018	0,016
WER	0,018	0,012	0,013	0,011	0,014
SKN	0,029	0,017	0,015	0,015	0,019
SKO	0,023	0,023	0,022	0,025	0,023
FRE	0,018	0,014	0,018	0,013	0,016
GER	0,018	0,012	0,017	0,015	0,016
RAD	0,018	0,013	0,016	0,015	0,015
OmH:	0,056	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	-

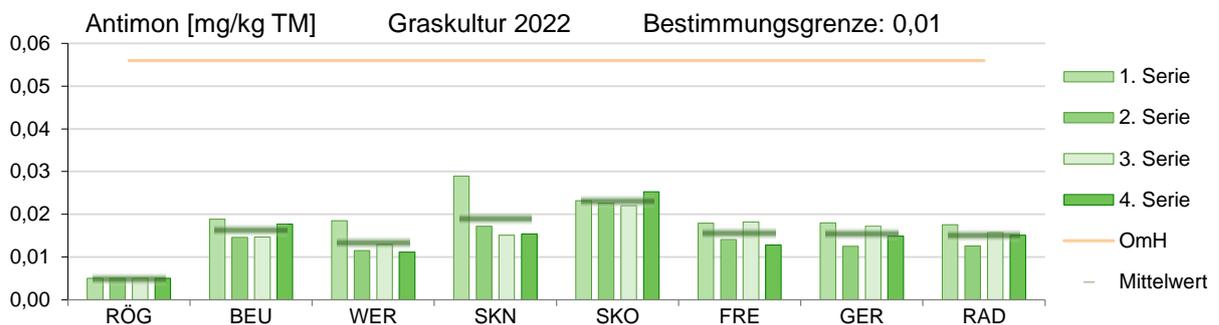
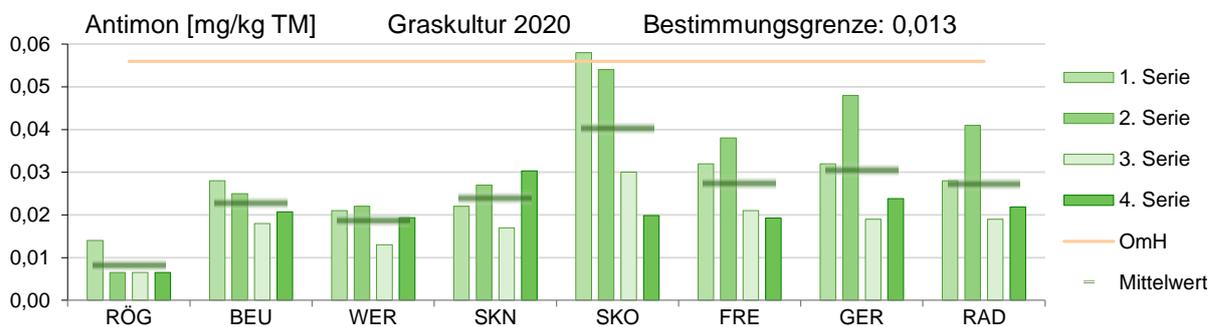
#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

Die Antimongehalte lagen im Jahr 2022 im Mittel noch niedriger, weil vergleichsweise höhere Einzelwerte >0,03 mg/kg TM (Tabelle 3.1-1) im Jahr 2022 nicht auftraten (Tabelle 3.1-2).

### Messpunktstabufung und Quellenzuordnung:

Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird erkennbar, dass im Jahr 2020 eine Messpunktstabufung vorlag: vergleichsweise höhere absolute Werte für SKO, niedrigste für RÖG (Bild 3.1-2 oben). Weiterhin fällt auf, dass an den Messpunkten in jeweils unterschiedlichen Serien 2020 maximale Gehalte auftraten:

- an den Messpunkten SKO und FRE in der 1. und 2. Serie,
- an den Messpunkten GER und RAD in der 2. Serie,
- am Messpunkt SKN in der 4. Serie.



**Bild 3.1-1: Antimongehalte in Graskultur**

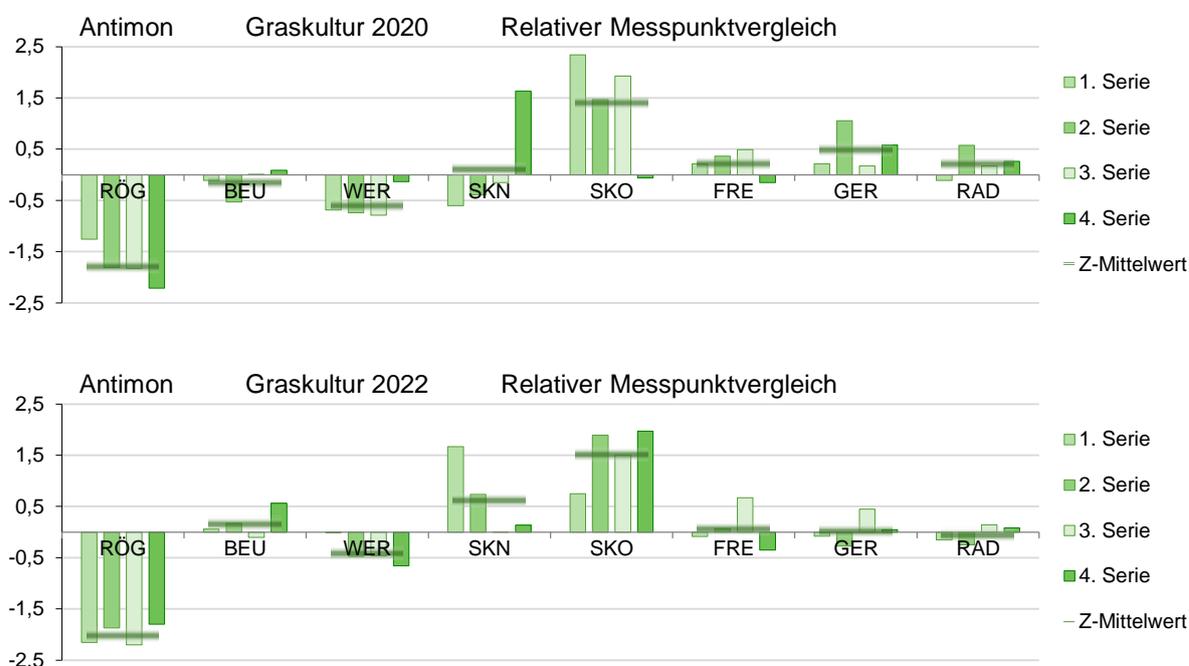
Antimongehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

Die Abstufung der Messpunkt-Mittelwerte im Jahr 2022 fiel sehr schwach, aber ähnlich zu 2020 aus (Bild 3.1-1 Mitte). Aufgrund dieser Hinweise wurde ein relativer Messpunktvergleich durchgeführt, obwohl die Antimongehalte unterhalb der Schwelle für den maximalen Hintergrund lagen. Bild 3.1-2 veranschaulicht die unterschiedliche Gesamtbelastung im Betrachtungszeitraum 2020 (oben) und 2022 (unten) an den Messpunkten anhand normierter Z-Werte. Im Messpunktvergleich deutlich überdurchschnittliche Werte lagen an Messpunkten SKO vor, temporär auch an SKN – aber in unterschiedlichen Expositionsserien.

Flughafenbetrieb und Verkehr stellen direkte Quellen von Antimon dar. Die unterschiedlichen Antimonwerte an den beiden benachbarten Messpunkten in Schkeuditz könnten eher durch unterschiedlich großen Abstand zu den potenziellen Quellen als durch unterschiedliche Windverhältnisse während der jeweiligen Expositionsabschnitte beeinflusst worden sein:

- SKN nördlich der Bundesstraße B 6, kann vorwiegend bei Winden aus Südwest von dortigen Straßenverkehr (Bremsabrieb) beaufschlagt werden, während bei Winden aus Nordost Staubabdrift von versiegelten Flächen am Flughafen möglich wäre. Beide potenziellen Quellen sind aber relativ weit entfernt: die B6 500 m die versiegelten Flächen am Flughafen mindestens 350 m.
- SKO liegt rund 150 m südlich der B 6 und 100 m südlich der Bahngleise, also näher am Straßen- und Schienenverkehr und könnte bei Nordostwinden von dort beaufschlagt werden.

Die Windrichtung Nordnordwest trat, neben der Windrichtung West, von Mai bis August 2020 am häufigsten auf (vgl. Bild 2.7-3). Im Jahr 2022 trat im relativen Messpunktvergleich ein vergleichsweise höherer Antimonwert an SKN während der 1. Serie Graskultur auf, bei vorherrschenden Winden aus Nord (Bild 2.7-4). Dies könnte ein schwacher Hinweis auf die Staubverdriftung von den versiegelten Flughafenflächen sein.



**Bild 3.1-2: Antimon in Graskultur – relativer Messpunktvergleich**

relativer Messpunktvergleich anhand Z-Werten für 2020 (Bild oben ) und für 2022 ( Bild unten)

In der 2. bis 4. Serie Graskultur traten höhere Antimonwerte an SKO auf, bei vorherrschenden Winden aus nördlichen bis westlichen Richtungen während Serie 2 und 3, sowie aus Nord bis Ost während Serie 4. Für Serie 4 kämen das Antimonergebnis an SKO und die mögliche Staubverdriftung von Straßen- und Schienenverkehr bei Nordostwinden zur Deckung.

**Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:**

Die Höhe der Ergebnisse korrespondiert mit aktuellen Ergebnissen anderer Graskultur-Biomonitorings (Wäber und Pompe 2022, 2022a, BayLfU 2022). Die Wirkungssituation ist insgesamt unauffällig niedrig:

**Tabelle 3.1-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Antimon**

<0,013–0,058 mg/kg TM 2020 und <0,01–0,029 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
<0,025–0,058 mg/kg TM) im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
<0,01– 0,055 mg/kg TM) im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
<0,05 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

**Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung:**

Beurteilungswerte für eine Gefährdungsabschätzung liegen für Antimon nicht vor.

## 3.2 Arsen

Arsen (As) (vgl. Kap. 2.2.1) war in allen Grasproben analytisch bestimmbar. Im Jahr 2020 lagen die Gehalte mit 0,071–0,165 mg/kg TM in einem relativ einheitlichen Bereich (Tabelle 3.2-1). Ein Messwert am Messpunkt RAD in der 4. Serie lag mit 0,288 mg/kg TM vergleichsweise höher. Im Jahr 2022 lagen die Gehalte mit 0,078–0,218 mg/kg TM in vergleichbarem Bereich (Tabelle 3.2-2).

### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt 13 % und der überregionale OmH 0,23 mg/kg TM (VDI 3857/2). Der OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern beträgt 0,19 mg/kg TM (BayLfU 2022). Er wurde gewählt, weil die Datenbasis den aktuellen 10-Jahreszeitraum umfasst.

Das Maximum in der 4. Serie 2020 am Messpunkt RAD von 0,288 mg/kg TM abzüglich  $u$  überschreitet den OmH (orange unterlegt in Tabelle 3.2-1). Hier wäre ein schwacher, weil singulärer Immissionseinfluss anzunehmen. Allerdings ist Vandalismus als Ursache möglich: Die Graskulturen bei Radefeld waren zu Anfang dieser Exposition zu Boden geworfen worden und könnten dabei durch Erde und Bodenstaub kontaminiert worden sein. Nur eine der kleinen Kulturen konnte wieder aufgestellt und so „gerettet“ werden

**Tabelle 3.2-1: Arsen in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

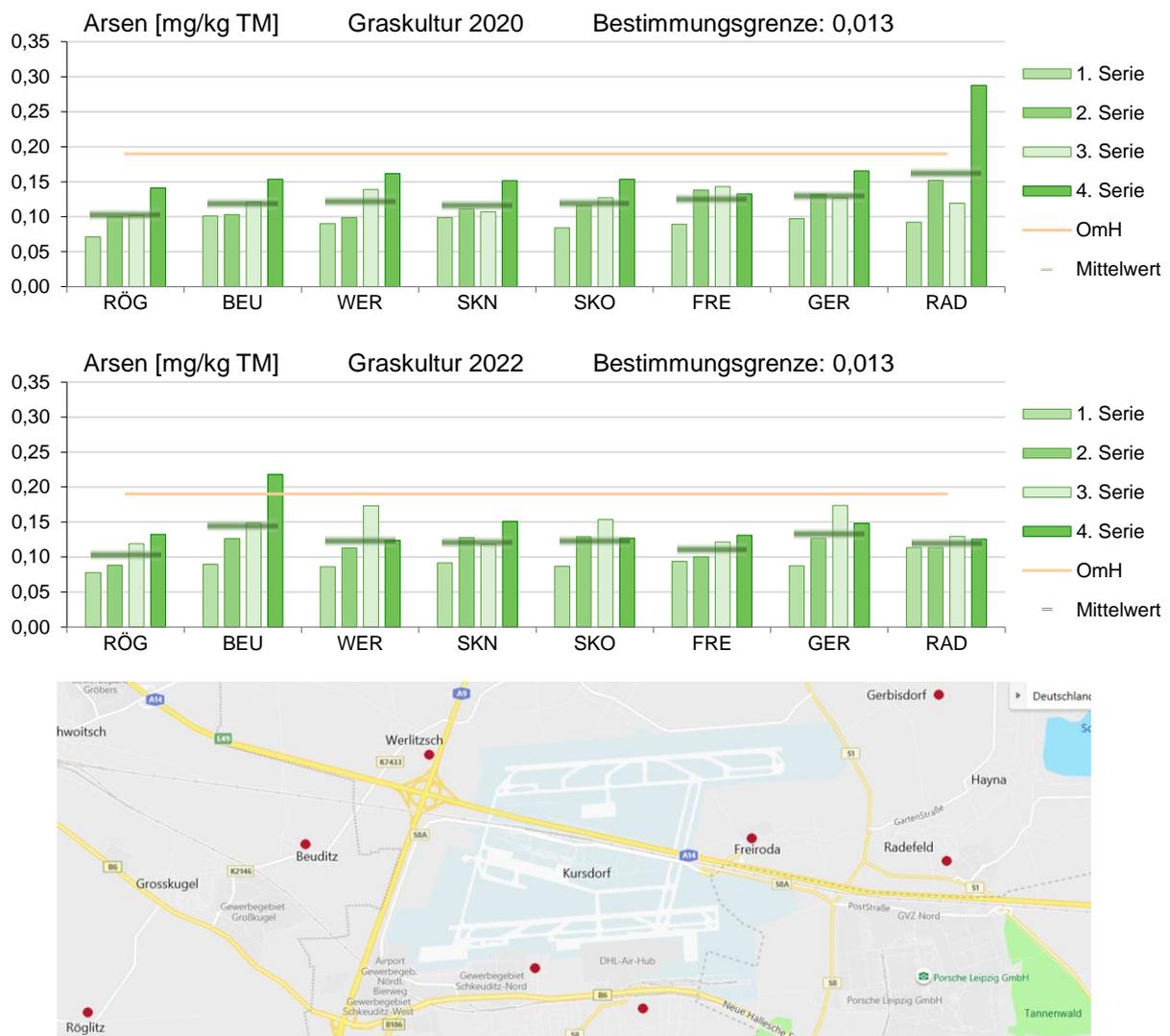
Graskultur 2020:		Arsen [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,013	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,071	0,100	0,102	0,141	0,103
BEU	0,101	0,103	0,121	0,154	0,120
WER	0,090	0,099	0,139	0,161	0,122
SKN	0,099	0,111	0,107	0,152	0,117
SKO	0,084	0,116	0,127	0,154	0,120
FRE	0,089	0,138	0,143	0,133	0,126
GER	0,097	0,132	0,127	0,165	0,130
RAD	0,092	0,152	0,119	0,288	0,163
OmH:	0,230	Höchstgehalt:	2,3	BU-Wert Min:	2,3

**Tabelle 3.2-2: Arsen in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Arsen [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,013	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,078	0,088	0,119	0,132	0,104
BEU	0,090	0,126	0,149	0,218	0,146
WER	0,086	0,113	0,173	0,124	0,124
SKN	0,091	0,128	0,118	0,151	0,122
SKO	0,086	0,129	0,154	0,127	0,124
FRE	0,094	0,100	0,122	0,131	0,112
GER	0,087	0,127	0,174	0,148	0,134
RAD	0,113	0,113	0,129	0,126	0,120
OmH:	0,19	Höchstgehalt:	2,3	BU-Wert Min:	2,3

### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

Ein gewisser zeitlich einheitlicher Verlauf fällt auf: 2020 und 2022 vergleichsweise niedrigste Werte in der 1. Serie im Mai – messpunktübergreifend im Mittel 0,09 mg/kg TM – und höchste Werte in der 3. und 4. Serie im Juli bis Mitte August – messpunktübergreifend im Mittel 0,12–0,15 mg/kg TM. Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen wird nicht erkennbar (vgl. Bild 2.7-1 und Bild 2.7-2). Flughafenbetrieb und Verkehr stellen keine direkten Quellen von Arsen dar. Arsen ist Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, und kann aus industriellen Produktionsprozessen, Müllverbrennung und Düngenanwendungen stammen (vgl. Kap. 2.2.1). Die Vermutung, der zeitliche Verlauf könnte mit dem Verlauf der überregionalen, Corona bedingten Reduktion industrieller Verbrennungsprozesse 2020 in Zusammenhang stehen, wird durch die Ergebnisse 2022 nicht bestätigt (die dann hätten höher liegen müssen). Eher könnte ein gewisser Einfluss der zunehmenden Wüchsigkeit der Graskulturen zum Sommer hin auf die insgesamt im Hintergrundbereich liegenden Arsengehalte vorliegen.



**Bild 3.2-1: Arsengehalte in Graskultur**

Arsengehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird bereits erkennbar, dass keine relevante Messpunktastufung vorlag. Daher wurde für Arsen kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen. Der geringfügig höhere Mittelwert für Messpunkt RAD im Jahr 2020 ist durch einen Einzelwert der 4. Serie bedingt und der geringfügig höhere Mittelwert für Messpunkt BEU im Jahr 2022 ebenfalls durch einen Einzelwert der 4. Serie (Bild 3.2-1).

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Die Höhe der Ergebnisse korrespondiert mit aktuellen Ergebnissen anderer Graskultur-Biomonitorings (Wäber und Pompe 2022, 2022a, BayLfU 2022). Die Wirkungssituation ist insgesamt unauffällig niedrig und mit quellenfernen Situationen vergleichbar:

**Tabelle 3.2-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Arsen**

0,071–0,165 mg/kg TM 2020 (Maximalwert: 0,29 mg/kg TM) und 0,078–0,22 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
0,047–0,33 mg/kg TM (Maximalwert 1,57 mg/kg TM) im Umfeld des Flughafens München 2017–2020 (As 2021 nicht untersucht)
0,083– 0,34 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
0,054 ± 0,014 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Arsen wird als krebserregend eingestuft (Dietl et al. 1998), weshalb die Futtermittelverordnung (FuttMV) einen Höchstgehalt festgesetzt hat (rot unterlegt in Tabelle 3.2-1 und -2). 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; rosa unterlegt in Tabelle 3.2-1 und -2). Sie betragen gleichermaßen 2 mg/kg bezogen auf 88 % TM. Der höchste Einzelwert 2020 lag nur auf 13 % des Beurteilungswert von 2,3 mg/kg umgerechnet auf 100% TM (vgl. Tabelle 2.5-1) – weit unterhalb einer Schwelle, ab der eine Gefährdung zu vermuten wäre.

### 3.3 Blei

Blei (Pb) war in allen Grasproben analytisch bestimmbar, im Jahr 2020 mit einer engeren Wertespanne von 0,13–0,70 mg/kg TM (Tabelle 3.3-1) und im Jahr 2022 teilweise niedriger mit 0,07–0,65 mg/kg TM (Tabelle 3.3-2).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt 15 % und der überregionale OmH 0,36 mg/kg TM (VDI 3857/2). Der OmH für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) beträgt vergleichbar 0,32 mg/kg TM, während der OmH für das Umfeld des Flughafens München mit 0,16 mg/kg TM nur rund halb so hoch ist, wie die beiden anderen OmH (vgl. Tabelle 2.5-1). Für die Bewertung der Bleiergebnisse wurde der OmH des BER gewählt, da die Hintergrundbelastungssituation im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle eher mit der des BER in Schönefeld vergleichbar ist und da Blei vornehmlich aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt gelangen kann (vgl. Kap. 2.2.1).

**Tabelle 3.3-1: Blei in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Blei [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,13	0,17	0,17	0,22	0,17
BEU	0,23	0,33	0,29	0,46	0,33
WER	0,23	0,35	0,21	0,46	0,31
SKN	0,18	0,30	0,19	0,39	0,26
SKO	0,25	0,45	0,22	0,34	0,31
FRE	0,24	0,55	0,17	0,27	0,31
GER	0,36	0,70	0,22	0,50	0,45
RAD	0,30	0,55	0,17	0,40	0,36
OmH:	0,32	Höchstgehalt:	34	BU-Wert Min:	1

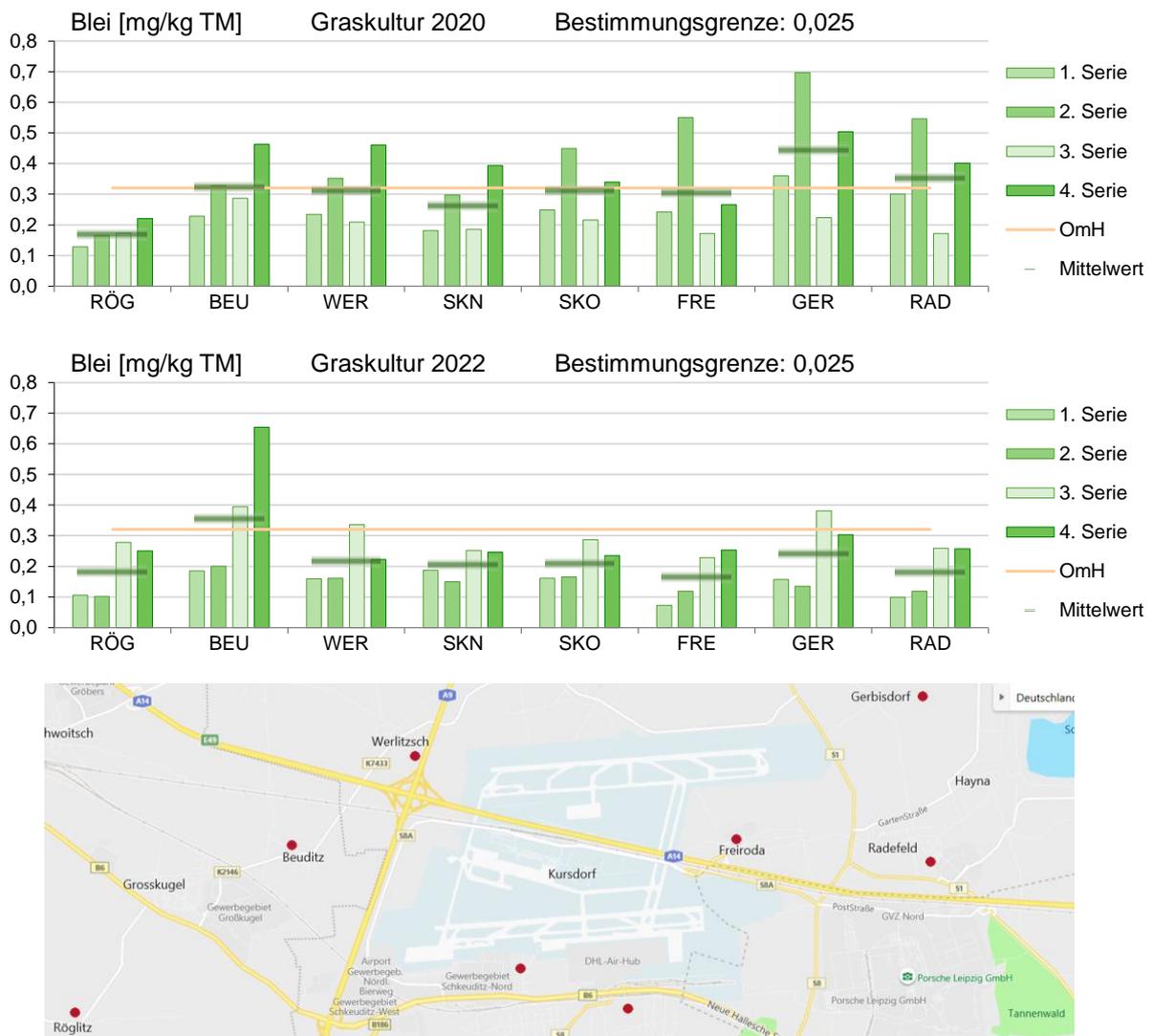
**Tabelle 3.3-2: Blei in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Blei [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,11	0,10	0,28	0,25	0,18
BEU	0,19	0,20	0,39	0,65	0,36
WER	0,16	0,16	0,34	0,22	0,22
SKN	0,19	0,15	0,25	0,25	0,21
SKO	0,16	0,17	0,29	0,23	0,21
FRE	0,07	0,12	0,23	0,25	0,17
GER	0,16	0,14	0,38	0,30	0,24
RAD	0,10	0,12	0,26	0,26	0,18
OmH:	0,32	Höchstgehalt:	34	BU-Wert Min:	1

Schwache Immissionseinflüsse traten auf (Bleigehalte abzüglich 15% oberhalb OmH: orange unterlegt in Tabelle 3.3-1 für 2020 und Tabelle 3.3-2 für 2022):

- in Serie 2 (Juni) 2020 an den östlichen Messpunkten SKO, FRE, GER, RAD;
- in Serie 4 (Ende Juli bis Mitte August) 2020 an den westlichen Messpunkten BEU, WER, sowie an SKN und den östlichen Messpunkten GER und RAD;
- in Serie 3 (Juli) 2022 an westlich BEU und östlich an GER;
- in Serie 4 2022 westlich an BEU.

Es handelt sich um temporäre Einflüsse, da die Unterschiede zwischen den einzelnen Serien teilweise stärker ausgeprägt sind, als zwischen den Messpunkt-Mittelwerten: Maxima in 2. und 4. Serie 2020, vor allem an GER und RAD und Maxima in 3. und 4. Serie 2022 an BEU und GER an – unmittelbar landwirtschaftlich geprägten Messpunkten. Die Ergebnisse weisen auf den potenziellen Einfluss der Windrichtungsverteilungen hin – zusammen mit weiteren möglichen Einflüssen, wie offenen Ackerflächen: Das Bleimaximum am Messpunkt BEU lag in 4. Serie 2022, in der Nordwinde vorherrschten (vgl. Bild 2.7-4).



**Bild 3.3-1: Bleigehalte in Graskultur**

Bleigehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

Vom dort nördlich unmittelbar angrenzenden Acker, der während dieser Expositionsserie brach lag, könnte es zu vermehrter Staubverdriftung auf die Graskulturen gekommen sein. Auch der vergleichsweise höhere Bleiwert in Serie 3 an GER 2022 korrespondiert mit der Windsituation (vorwiegend Winde aus Nord bis West) und der unmittelbaren Nachbarschaft des Messpunkts zum Acker. Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen wird nicht ersichtlich (vgl. Bild 2.7-1 und Bild 2.7-2), ebenso nicht mit der Wüchsigkeit der Graskulturen.

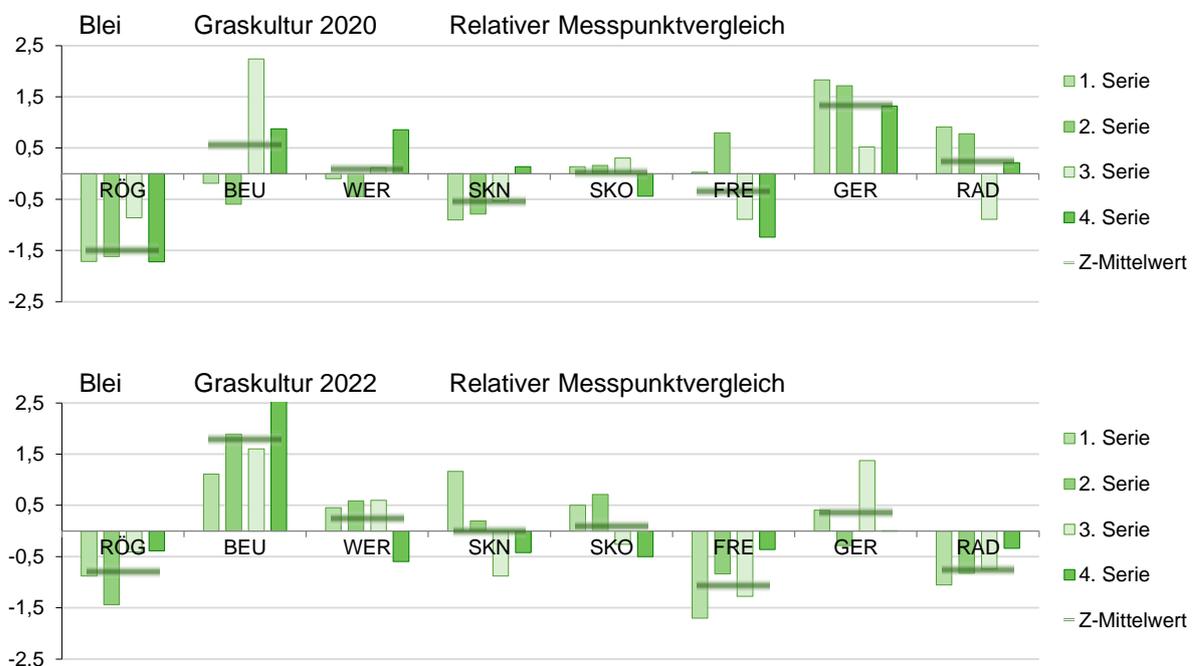
### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

Die Bleigehalte lagen – analog Antimon (Kap. 3.1) – im Jahr 2022 im Mittel noch niedriger, weil vergleichsweise höhere Einzelwerte  $>0,40$  mg/kg TM (Tabelle 3.3-1) im Jahr 2022 nur einmal auftraten (Tabelle 3.3-2).

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird erkennbar, dass Messpunkt RÖG die niedrigsten Bleigehalte, deutlich unterhalb der Schwelle für den maximalen Hintergrund, aufwies. Messpunkt GER im Jahr 2020 und BEU im Jahr 2022 wiesen vergleichsweise die höchsten Bleigehalte auf (Bild 3.3-1).

Im relativen Messpunktvergleich anhand normierter Z-Werte (Bild 3.3-2) werden Messpunktastufungen nochmals deutlicher. Überdurchschnittliche Bleiwerte traten am Messpunkt BEU auch 2020 in der 3. Serie (Juli) auf, überdurchschnittliche Bleiwerte am Messpunkt GER 2020 hingegen in der 1., 2., 4. Serie. Überdurchschnittliche Bleiwerte traten am Messpunkt BEU 2022 in allen Serien auf, überdurchschnittliche Bleiwerte am Messpunkt GER 2022 nur in der 3. Serie.



**Bild 3.3-2: Blei in Graskultur – relativer Messpunktvergleich**

relativer Messpunktvergleich anhand Z-Werten für 2020 (Bild oben ) und für 2022 ( Bild unten)

Aufwirbelung bleihaltiger Stäube von Straßen und von den versiegelten Oberflächen des Flughafenareals wäre eine potenzielle indirekte Quelle. Hätte diese einen Einfluss, wären vergleichsweise höhere Werte an den straßen- und flughafennächsten Messpunkten SKN, SKO und FRE zu erwarten – vor allem 2022

kontinuierlich (ohne pandemiebedingte Reduktionen). Dies traf nicht zu. Am Flughafen wird ausschließlich bleifrei getankt (vgl. Kap. 2.2.1). Die Ergebnisse weisen eher auf temporäre Bodenstaubaufwirbelungen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten hin. Die Messpunkte BEU und GER mit vergleichsweise höheren Werten sind zwar als „flughafennah“ bezeichnet, allerdings beide in rund 2 km Entfernung zu den versiegelten Flächen des Flughafenareals (vgl. Tabelle 2.1-1). Hier dürften andere Bleiquellen als indirekte aus dem Flughafenbetrieb relevant sein: landwirtschaftliche Bodenbearbeitung und Bodenstaubverfrachtung, insbesondere bei Trockenheit. Denn beide Messpunkte grenzen unmittelbar an landwirtschaftliche Flächen. Das Ergebnis korrespondiert mit einem aktuellen Graskultur-Biomonitoring des Bayerischen Landesamts für Umwelt (BayLfU 2019), bei dem Blei-Immissionswirkungen von versiegelten Fläche nur bis in den Nahbereich reichten.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Die Höhe der Ergebnisse im Umland des Flughafens Leipzig/Halle liegt im oberen Bereich der Bleigehalte aus dem Umfeld des Flughafens München und dem ländlichen bayerischen Hintergrund (Wäber und Pompe 2022, BayLfU 2022). Der ländliche Hintergrund in Bayern wird an naturnahen und landwirtschaftlichen Messstationen ermittelt, um als Referenz für die Grundbelastung zu dienen. Die Höhe der Bleiergebnisse ist vergleichbar mit der Wirkungssituation im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Wäber und Pompe 2022a):

**Tabelle 3.3-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Blei**

0,13–0,70 mg/kg TM 2020 und 0,07–0,65 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
<0,05–0,26 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
0,09– 0,47 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
<0,25 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

### 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 und 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 (rot unterlegt in Tabelle 3.3-1 und -2) wurde weit unterschritten. Die mittleren Bleigehalte über die Vegetationszeit von Mai bis August 2020 und 2022 unterschritten den unteren Wert der Spanne für Maximale Immissions-Werte in Rinderfuttermitteln von umgerechnet 1,0 mg/kg TM ebenfalls (rosa unterlegt in Tabelle 3.3-1 und -2). Von einer Gefährdung ist nicht auszugehen.

Orientierend kann ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) Nr. 2015/1005): 0,30 mg/kg bezogen auf Frischmasse. Der höchste, im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Wert, 0,70 mg/kg TM am Messpunkt GER, beträgt umgerechnet auf Frischmasse rund 0,15 mg/kg FM. Er liegt damit auf 50 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel.

### 3.4 Cadmium

Cadmium (Cd) war in allen Grasproben analytisch bestimmbar, mit einer Wertespanne von 0,009–0,031 mg/kg TM im Jahr 2020 (Tabelle 3.4-1) und 0,011–0,032 mg/kg TM im Jahr 2022 (Tabelle 3.4-2).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit  $u$  des Verfahrens beträgt für Cadmium 19 %, aber in Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 ist kein überregionaler OmH definiert. Der OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern beträgt 0,052 mg/kg TM (BayLfU 2022). Der OmH für das Umfeld des Flughafens BER ist mit 0,049 mg/kg TM geringfügig niedriger (vgl. Tabelle 2.5-1). Für die Bewertung der Cadmiumergebnisse wurde letzterer gewählt, da die stoffspezifische Hintergrundbelastungssituation im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle relativ gut mit der des BER-Umfelds vergleichbar sein dürfte.

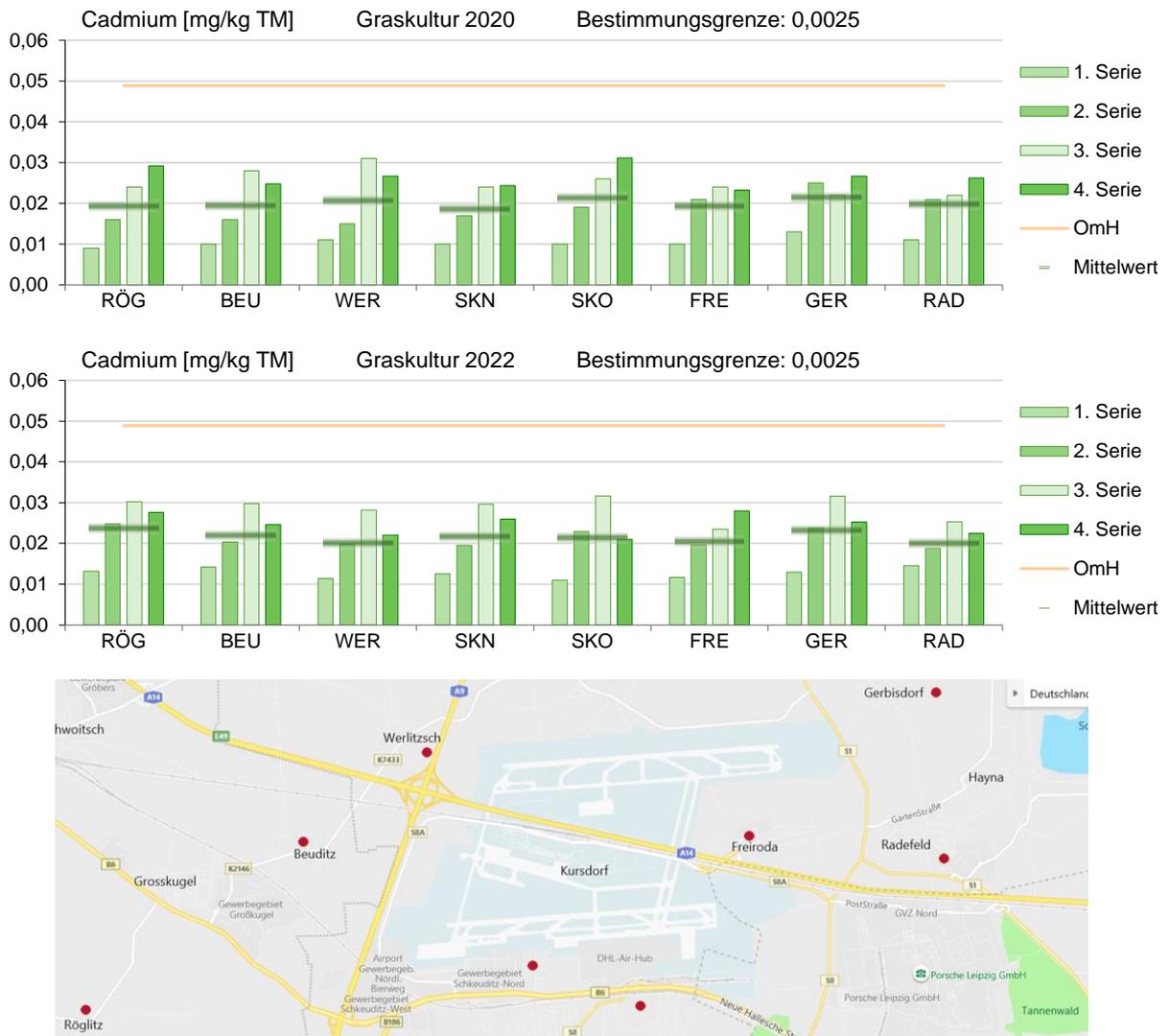
Es traten keine Immissionseinflüsse auf.

**Tabelle 3.4-1: Cadmium in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Cadmium [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,0025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,009	0,016	0,024	0,029	0,020
BEU	0,010	0,016	0,028	0,025	0,020
WER	0,011	0,015	0,031	0,027	0,021
SKN	0,010	0,017	0,024	0,024	0,019
SKO	0,010	0,019	0,026	0,031	0,022
FRE	0,010	0,021	0,024	0,023	0,020
GER	0,013	0,025	0,022	0,027	0,022
RAD	0,011	0,021	0,022	0,026	0,020
OmH:	0,049	Höchstgehalt:	1,1	BU-Wert Min:	0,7

**Tabelle 3.4-2: Cadmium in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Cadmium [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,0025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,013	0,025	0,030	0,028	0,024
BEU	0,014	0,020	0,030	0,025	0,022
WER	0,011	0,020	0,028	0,022	0,020
SKN	0,013	0,020	0,030	0,026	0,022
SKO	0,011	0,023	0,032	0,021	0,022
FRE	0,012	0,020	0,023	0,028	0,021
GER	0,013	0,024	0,032	0,025	0,023
RAD	0,015	0,019	0,025	0,022	0,020
OmH:	0,049	Höchstgehalt:	1,1	BU-Wert Min:	0,7



**Bild 3.4-1: Cadmiumgehalte in Graskultur**

Cadmiumgehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

**Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:**

Die Cadmiumgehalte zeigten messpunktübergreifend – analog Arsen (Kap. 3.2) – einen gewissen zeitlichen Verlauf 2020 und 2022: niedrigste Werte in der 1. Serie im Mai und höchste Werte in der 3. und 4. Serie im Juli bis Mitte August. Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen wird nicht erkennbar (vgl. Bild 2.7-1 und -2). Flughafenbetrieb und Verkehr stellen keine direkten Quellen von Cadmium dar. Es kann u. a. aus Steinkohleverbrennung und Phosphatdüngung stammen und ist gut für Pflanzen verfügbar (über die Wurzeln; vgl. Kap. 2.2.1). Der zeitliche Verlauf der Cadmiumgehalte im niedrigen Hintergrundbereich könnte dem Einfluss zunehmender Wüchsigkeit der Graskulturen zum Sommer hin unterliegen.

### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Anhand der grafischen Darstellung und der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird erkennbar, dass keine Messpunktastufung vorlag (Bild 3.4-1). Daher wurde für Cadmium kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Das Ergebnis korrespondiert mit den Wertebereichen anderer Graskultur-Biomonitorings und dem unteren Wertebereich im Umland des Flughafens München seit 2017 (Wäber und Pompe 2022, 2022a, BayLfU 2022). Die Wirkungssituation im Umland des Flughafens Leipzig/Halle ist somit hinsichtlich Cadmium als unauffällig niedrig zu bewerten:

**Tabelle 3.4-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Cadmium**

0,009–0,031 mg/kg TM 2020 und 0,011–0,032 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
<0,01–0,044 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens München 2017–2020 (Cd 2021 nicht untersucht)
0,006– 0,018 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
0,017 ± 0,007 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Cadmium ist als krebserregend eingestuft (VDI 2310/28). Für Futtermittel ist ein Höchstgehalt von 1 mg/kg bezogen auf 88 % TM (FuttMV) festgesetzt und Maximale Immissions-Werte empfohlen: in Rinder- und in Schaffuttermitteln 0,6 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/28). Der Futtermittel-Höchstgehalt von umgerechnet 1,1 mg/kg TM wurde weit unterschritten und auch der Empfehlungswert.

Orientierend kann für Cadmium analog Blei ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) Nr. 2021/1323): 0,10 mg/kg bezogen auf Frischmasse. Der höchste im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Wert, 0,032 mg/kg TM am Messpunkt SKO im Jahr 2022, beträgt umgerechnet auf Frischmasse rund 0,006 mg/kg FM. Er liegt damit nur auf 6 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel.

### 3.5 Chrom

Chrom (Cr) (vgl. Kap. 2.2.1) war 2020 in allen Grasproben analytisch bestimmbar, in den Serien 1–3 in einem Wertebereich von 0,10–0,27 mg/kg TM, in Serie 4 von 0,28–0,51 mg/kg TM (Tabelle 3.5-1).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt für Chrom 22 % und der überregionale OmH 0,51 mg/kg TM (VDI 3857/2). Der OmH für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) beträgt vergleichbar 0,48 mg/kg TM, während der OmH für das Umfeld des Flughafens München mit 0,28 mg/kg TM deutlich niedriger ist, als die beiden anderen OmH (vgl. Tabelle 2.5-1). Für die Bewertung der Chromergebnisse wurde der niedrige OmH des Münchner Flughafens gewählt, weil Chrom vornehmlich aus aktuellen Immissionen wieder in die Umwelt eingetragen wird: neben industriellen Prozessen, überwiegend aus dem Verkehr (UBA 2022; vgl. Kap. 2.2.1).

**Tabelle 3.5-1: Chrom in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Chrom [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,10	0,11	0,14	0,28	0,16
BEU	0,14	0,15	0,26	0,47	0,25
WER	0,15	0,16	0,20	0,51	0,25
SKN	0,15	0,20	0,14	0,44	0,23
SKO	0,19	0,20	0,19	0,32	0,22
FRE	0,14	0,27	0,17	0,35	0,23
GER	0,17	0,22	0,16	0,47	0,25
RAD	0,16	0,24	0,12	0,43	0,24
OmH:	0,28	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

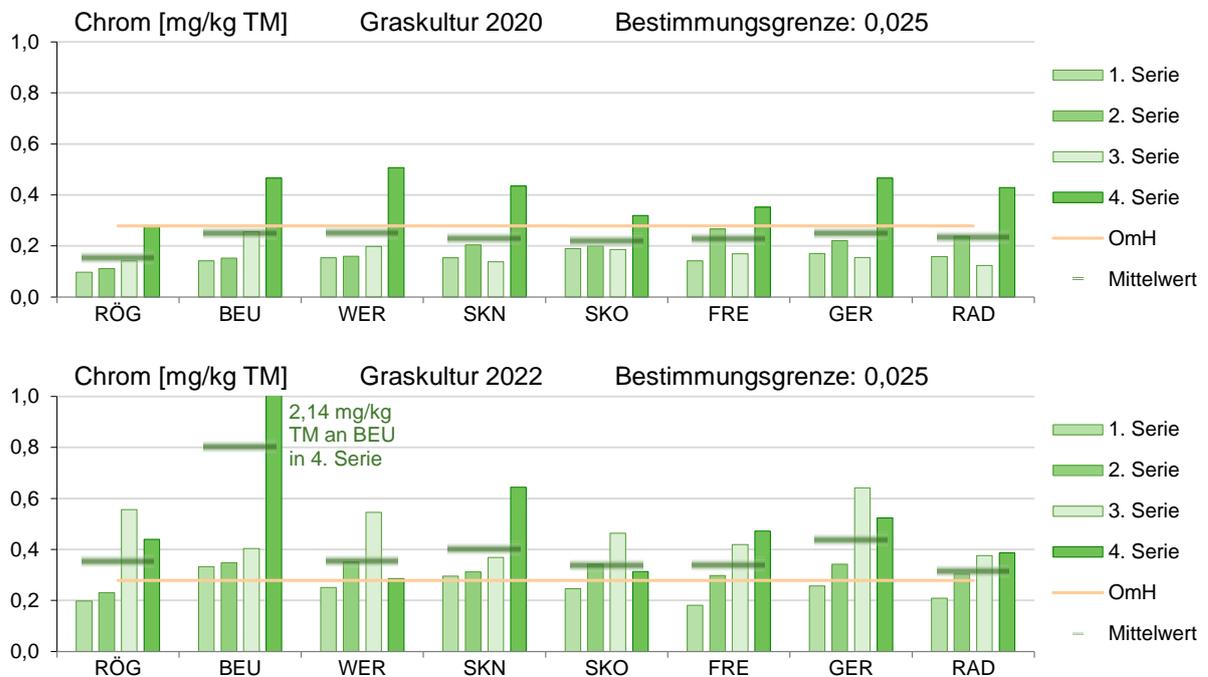
**Tabelle 3.5-2: Chrom in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Chrom [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	0,20	0,23	0,56	0,44	0,36
BEU	0,33	0,35	0,40	2,14	0,81
WER	0,25	0,35	0,55	0,29	0,36
SKN	0,29	0,31	0,37	0,64	0,41
SKO	0,25	0,34	0,46	0,31	0,34
FRE	0,18	0,30	0,42	0,47	0,34
GER	0,26	0,34	0,64	0,52	0,44
RAD	0,21	0,30	0,38	0,39	0,32
OmH:	0,28	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

Schwache Immissionseinflüsse traten auf (Chromgehalte abzüglich 22 % oberhalb OmH: orange unterlegt in Tabelle 3.3-1 für 2020 und Tabelle 3.3-2 für 2022):

- in Serie 4 (Ende Juli bis Mitte August) 2020 an allen Messpunkten, außer RÖG, SKO, FRE;

- in Serie 3 (Juli) 2022 an allen Messpunkten;
- in Serie 4 2022 an allen Messpunkten, außer WER und SKO.



**Bild 3.5-1: Chromgehalte in Graskultur**

Chromgehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

**Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:**

Bei den OmH-Überschreitungen handelt es sich – analog Blei (Kap. 3.3) – um temporäre Einflüsse, da die Unterschiede zwischen den einzelnen Serien teilweise deutlich stärker ausgeprägt sind, als zwischen den Messpunkt-Mittelwerten mit Maxima in der 4. Serie 2020 und der 3. und 4. Serie 2022 (Bild 3.5-1). Die Ergebnisse für Chrom dürften, wie die für Blei (vgl. Kap. 3.3), von den Windrichtungsverteilungen beeinflusst sein. Das Chrommaximum am Messpunkt BEU trat in der 4. Serie 2022 bei vorherrschenden Nordwinden auf (vgl. Bild 2.7-4). Vom dort nördlich angrenzenden und während dieser Expositionsserie brachliegenden Acker, könnte es zu vermehrter Staubverdriftung auf die Graskulturen gekommen sein.

Auch der höhere Chromwert an GER in Serie 3 korrespondiert mit der Windsituation (vorwiegend Nord bis Westwinde) und der unmittelbaren Nachbarschaft des Messpunkts zum Acker. Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen (vgl. Bild 2.7-1 und Bild 2.7-2), oder der Wüchsigkeit der Graskulturen wird nicht deutlich.

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Da Chrom überwiegend aus dem Verkehr in die Umwelt gelangt (UBA 2022; vgl. Kap. 2.2.1), wäre eine Messpunktastufung ähnlich Antimon (vgl. Kap. 3.1) zu vermuten. Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird aber keine Messpunktastufung deutlich und Messpunkte mit insgesamt überdurchschnittlichen Werten traten nicht hervor. Daher wurde für Chrom kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen. Dieses Ergebnis kann damit erklärt werden, dass keine unmittelbaren Chromquellen wie Straßenverkehr bis an die Messpunkte reichen.

Der vergleichsweise hohe Chromgehalt an Messpunkt BEU in der 4. Serie 2022 (Bild 3.5-1) wurde, wie die ebenfalls in dieser Probe vergleichsweise höheren Blei- und Nickelwerte, durch Nachanalyse geprüft und bestätigt. Dargestellt sind hier die Mittelwerte beider Analysen. Vor Ort waren keine Besonderheiten aufgefallen. Das direkt angrenzende Feld war allerdings während dieser Expositionsperiode abgeerntet worden und lag dann brach.

#### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Die Wirkungssituation im Umland des Flughafens Leipzig/Halle war mit denen in den Umfeldern der Flughäfen München und Berlin Brandenburg vergleichbar (Wäber und Pompe 2022, 2022a). Sie liegen im oberen Wertebereich ländlicher Hintergrundstationen in Bayern (BayLfU 2022; Tabelle 3.5-3)– auch wenn sie nur temporär Immissionseinflüsse zeigen:

**Tabelle 3.5-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Chrom**

0,10–0,27 mg/kg TM in 1.–3. Serie und 0,28–0,51 mg/kg TM in 4. Serie 2020 , 0,18–0,35 mg/kg TM in 1.-2. Serie und 0,29–0,64 mg/kg TM in 3.–4. Serie 2022 (Maximum 2,14 mg/kg TM) im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
0,05–0,42 mg/kg TM (Maximum 1,78 mg/kg TM) im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
0,13–0,69 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
0,11 ± 0,04 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

#### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung:

Maximale Immissions-Werte für Chrom, die auf Mittelwerte über die Vegetationszeit zu beziehen sind, betragen in Rinderfuttermitteln und in Schaffuttermitteln 50 mg/kg bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/39). Der Beurteilungswert von 57 mg/kg umgerechnet auf 100% TM wurde von den Mittelwerten im Untersuchungszeitraum 2020 weit unterschritten (rosa unterlegt in Tabelle 3.5-1). Selbst das Chrommaximum von 2,14 mg/kg TM in der 4. Serie 2022 würde diesen Richtwert nur zu 4 % ausschöpfen. Ein Futtermittel-Höchstgehalt, der auf Einzelwerte zu beziehen wäre, ist nicht festgelegt.

### 3.6 Nickel

Nickel (Ni) (vgl. Kap. 2.2.1) war 2020 in allen Grasproben analytisch bestimmbar. Die Gehalte lagen 2020 mit 2,4–4,5 mg/kg TM (Tabelle 3.6-1) und 2022 mit 1,4–3,6 mg/kg TM in jeweils relativ einheitlichen Bereichen (Tabelle 3.6-2).

**Tabelle 3.6-1: Nickel in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Nickel [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	3,4	3,1	2,7	3,2	3,1
BEU	2,8	3,0	3,4	3,4	3,1
WER	3,2	2,6	3,9	4,0	3,4
SKN	3,1	3,2	3,0	4,5	3,4
SKO	2,6	2,6	3,5	3,8	3,1
FRE	3,1	2,9	3,6	3,3	3,2
GER	3,0	2,7	3,7	3,1	3,1
RAD	3,0	2,4	3,4	3,4	3,0
OmH:	5,4	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

**Tabelle 3.6-2: Nickel in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Nickel [mg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,025	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	1,8	2,2	3,0	2,5	2,4
BEU	1,7	2,1	2,9	3,2	2,5
WER	1,4	1,9	3,2	2,4	2,2
SKN	1,4	2,3	2,9	2,3	2,2
SKO	1,4	2,2	3,6	2,2	2,4
FRE	2,5	2,1	2,9	2,3	2,4
GER	1,5	1,9	2,9	2,4	2,2
RAD	3,1	2,1	2,3	2,5	2,5
OmH:	5,4	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	57

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

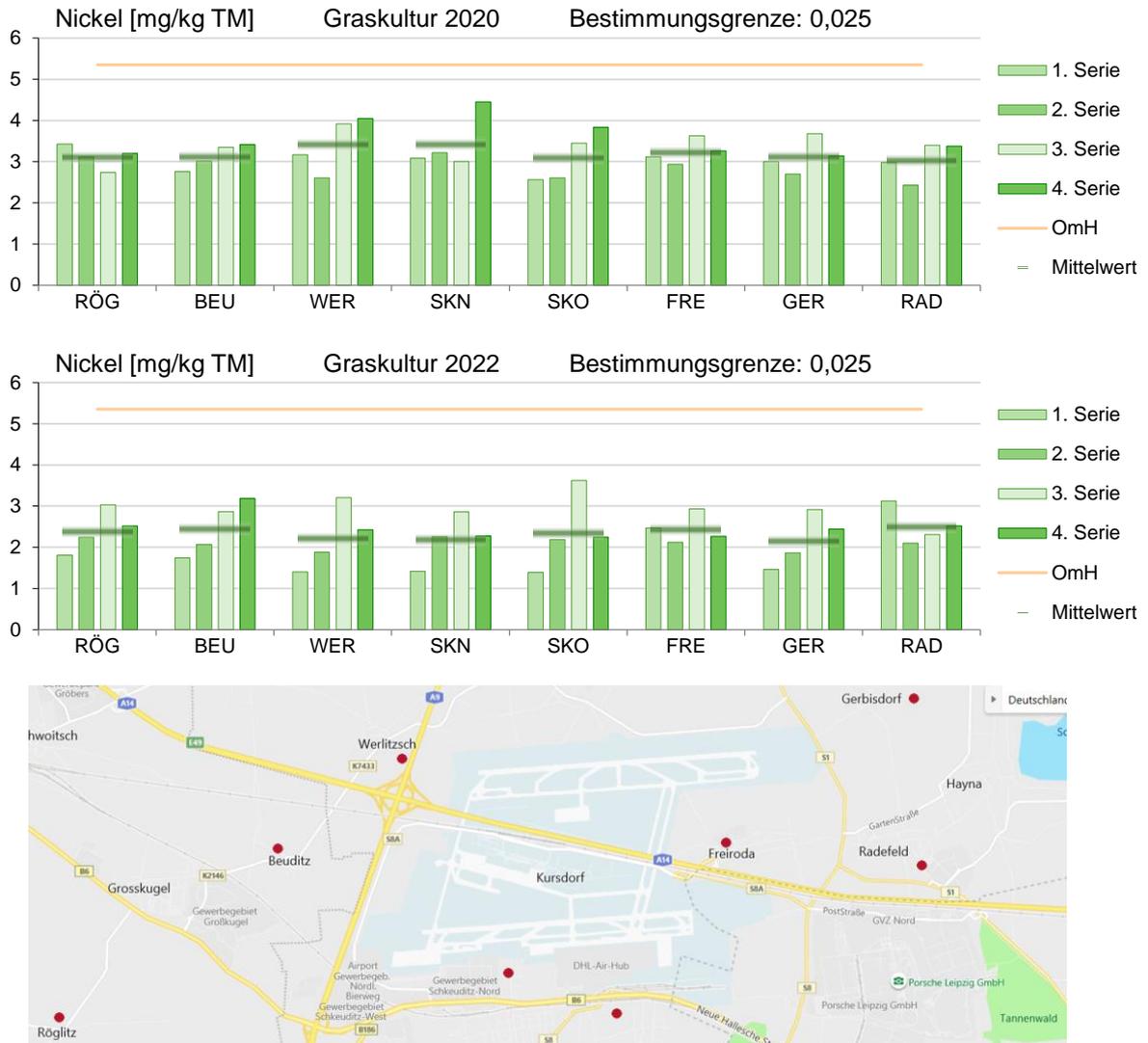
Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt 14 %. In Richtlinie VDI 3857 Blatt 2 ist kein überregionaler OmH für Nickel definiert (vgl. Tabelle 2.5-1). Der OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern beträgt 5,4 mg/kg TM (BayLfU 2022), genauso wie der OmH für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Wäber und Pompe 2022a) und bildet hier den Bezug zur Bewertung etwaiger Immissionseinflüsse.

Es traten keine Immissionseinflüsse für Nickel in Graskulturen auf.

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

Die Nickelgehalte lagen im Jahr 2022 im Mittel noch niedriger als im Jahr 2020 (Bild 3.6-1).

Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen wird nicht deutlich (vgl. Bild 2.7-1 und Bild 2.7-2), ebenso nicht mit der Wüchsigkeit der Graskulturen oder den Stoffgehalten im Substrat.



**Bild 3.6-1: Nickelgehalte in Graskultur**

Nickelgehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

**Messpunktastufung und Quellenzuordnung:**

Flughafenbetrieb und Verkehr könnten zwar als direkte Quellen von Nickel (aus Katalysatoren und Motorverschleiß) in Frage kommen. Die Wirkungssituation liegt aber hier klar im Hintergrundbereich. Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird erkennbar, dass keine Messpunktastufung vorlag. Daher wurde für Nickel kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Das korrespondiert mit aktuellen Ergebnissen eines straßenverkehrsbezogenen Biomonitorings in Bayern (BayLfU 2019), bei dem sogar unmittelbar quellennah keine relevanten Nickelanreicherungen in Graskulturen von der Hintergrundbelastung differenziert werden konnten. Das Ergebnis im Umland des Flughafens Leipzig/Halle ist unauffällig niedrig und mit dem unteren Wertebereich der anderen Graskultur-Biomonitorings vergleichbar (Wäber und Pompe 2022, 2022a), auch im ländlichen Hintergrund in Bayern (BayLfU 2022; Tabelle 3.6-3):

**Tabelle 3.6-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Nickel**

2,4–4,5 mg/kg TM 2020 und 1,4–3,6 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
1,2–8,3 mg/kg im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
1,7–7,4 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
4,8 ± 0,7 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Maximale Immissions-Werte für Nickel, 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 wurde von den Mittelwerten 2020 und 2022 deutlich unterschritten (rosa unterlegt in Tabelle 3.6-1 und -2). Ein Futtermittel-Höchstgehalt ist nicht festgelegt.

### 3.7 Quecksilber

Quecksilber (Hg) war 2022 in allen und 2020 in fast allen Grasproben analytisch bestimmbar (RÖG, BEU, SKN: Werte in der 1. Serie 2020 <BG;). Die Gehalte lagen mit <0,005–0,0111 mg/kg TM in einem relativ einheitlichen Bereich nahe der Bestimmungsgrenze Tabelle 3.7-1 und -2). Ein Messwert lag mit rund 0,016 mg/kg TM am Messpunkt RAD in der 4. Serie 2020 vergleichsweise höher (Tabelle 3.7-1)

**Tabelle 3.7-1: Quecksilber in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020:		Quecksilber [mg/kg TM]			Bestimmungsgrenze: 0,005	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert	
RÖG	0,0025	0,0070	0,0070	0,0087	0,0063	
BEU	0,0025	0,0060	0,0100	0,0104	0,0072	
WER	0,0059	0,0070	0,0090	0,0091	0,0077	
SKN	0,0025	0,0070	0,0070	0,0090	0,0064	
SKO	0,0059	0,0070	0,0090	0,0083	0,0075	
FRE	0,0054	0,0080	0,0080	0,0080	0,0073	
GER	0,0059	0,0080	0,0080	0,0098	0,0079	
RAD	0,0053	0,0080	0,0080	0,0159	0,0093	
OmH:	0,009	Höchstgehalt:	0,114	BU-Wert Min:	0,057	

**Tabelle 3.7-2: Quecksilber in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

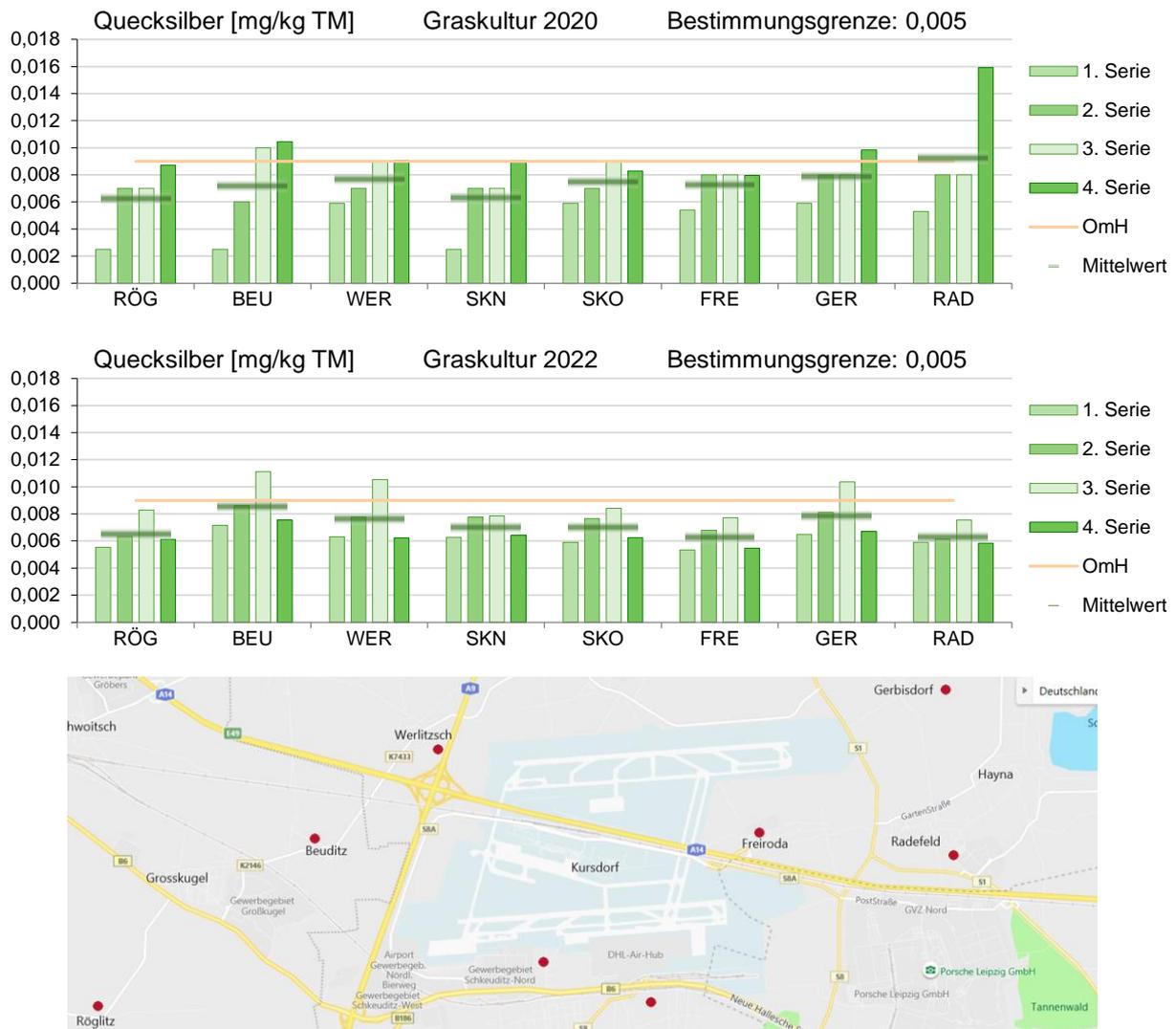
Graskultur 2022:		Quecksilber [mg/kg TM]			Bestimmungsgrenze: 0,005	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert	
RÖG	0,0055	0,0063	0,0083	0,0061	0,0066	
BEU	0,0072	0,0086	0,0111	0,0075	0,0086	
WER	0,0063	0,0078	0,0105	0,0062	0,0077	
SKN	0,0063	0,0078	0,0079	0,0064	0,0071	
SKO	0,0059	0,0077	0,0084	0,0063	0,0071	
FRE	0,0053	0,0068	0,0077	0,0055	0,0063	
GER	0,0065	0,0081	0,0104	0,0067	0,0079	
RAD	0,0059	0,0061	0,0076	0,0058	0,0064	
OmH:	0,0090	Höchstgehalt:	0,114	BU-Wert Min:	0,057	

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt 6 % und der überregionale OmH 0,011 mg/kg TM (VDI 3857/2). Der OmH für das Umfeld des Flughafens BER liegt spezifisch für das Untersuchungsgebiet mit 0,016 mg/kg TM deutlich höher. Daher wird der OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern als Bezug gewählt, der mit 0,0090 mg/kg TM am niedrigsten liegt und die Datenbasis den aktuellen 10-Jahreszeitraum umfasst (vgl. Tabelle 2.5-1).

Das Maximum in der 4. Serie 2020 am Messpunkt RAD von 0,0159 mg/kg TM abzüglich  $u$  überschreitet den OmH (orange unterlegt in Tabelle 3.7-1). Hier wäre ein schwacher, weil singulärer Immissionseinfluss anzunehmen. Allerdings ist Vandalismus als Ursache möglich: wie bereits für den ebenfalls vergleichsweise höheren Arseneinzelwert erläutert (vgl. Kap. 3.2) waren die Graskulturen bei Radefeld zu Anfang der

4. Serie zu Boden geworfenen worden und könnten durch Erde und Bodenaub kontaminiert worden sein. Ein singulärer Immissionseinfluss wurden an Messpunkt WER (3. Serie 2022; Tabelle 3.7-2) identifiziert und zwei an GER (4. Serie 2020 und 3. Serie 2022). Lediglich an Messpunkt BEU wurden nicht nur einzelne, sondern schwache Immissionseinflüsse identifiziert: aufgrund 3 von 8 möglichen OmH-Überschreitungen (3. und 4. Serie 2020, 3. Serie 2022).



**Bild 3.7-1: Quecksilbergehalte in Graskultur**

Quecksilbergehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

**Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:**

Zeitliche Entwicklungen der Quecksilbergehalte werden nicht deutlich (Bild 3.7-1). Zwar war ein gewisser zeitlicher Verlauf 2020 erkennbar, ähnlich Arsen und Nickel (vgl. Kap. 3.2 und 3.4) – aber 2022 nicht

mehr: messpunktübergreifend vergleichsweise niedrigste Werte in der 1. Serie im Mai und tendenziell höhere Werte in den Serien 2–4 bis Mitte August. Ein Zusammenhang mit den Niederschlagsmengen wird nicht erkennbar (vgl. Bild 2.7-2).

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Flughafenbetrieb und Verkehr mit Kraftstoffverbrennung stellen keine direkten Quellen von Quecksilber dar, sondern hauptsächlich die Verbrennung von Kohle, Öl und Gas zur Energie- und Wärmegewinnung (UBA 2022; vgl. Kap. 2.2.1).

Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte zeigt sich keine relevante Messpunktastufung. Daher wurde für Quecksilber kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen. Der geringfügig höhere Mittelwert für Messpunkt RAD 2020 war durch den Einzelwert der 4. Serie (möglicherweise aufgrund Vandalismus) bedingt; im Jahr 2022 trat an RAD ein vergleichsweise niedriger Messpunktmittelwert auf (Bild 3.7-1).

#### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Die Wirkungssituation für Quecksilber ist unauffällig niedrig. Sie ist mit aktuellen Ergebnissen anderer Graskultur-Biomonitorings vergleichbar, die ebenfalls quellenferne Situationen repräsentieren (Wäber und Pompe 2022, 2022a, BayLfU 2022):

**Tabelle 3.7-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Quecksilber**

<0,005–0,010 mg/kg TM (Maximalwert 0,016 mg/kg TM) 2020 und 0,0053–0,0111 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
<0,005–0,014 mg/kg im Umfeld des Flughafens München 2017–2020 (Hg 2021 nicht untersucht)
<0,005–0,016 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
0,0058 ± 0,0013 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

#### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Für Quecksilber ist ein Höchstgehalt von 0,10 mg/kg bezogen auf 88 % TM gemäß Futtermittelverordnung (FuttMV) festgesetzt. Zudem sind Maximale Immissions-Werte zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und zur Sicherung der Unbedenklichkeit der von diesen Tieren gewonnenen Lebensmittel definiert (VDI 2310/33): in Rinderfuttermitteln 0,10 mg/kg und in Schaffuttermitteln 0,05 mg/kg, jeweils bezogen auf 88 % TM. Der Futtermittel-Höchstgehalt von umgerechnet 0,114 mg/kg TM wurde weit unterschritten (rot unterlegt in Tabelle 3.7-1). Die mittleren Quecksilbergehalte über die Vegetationszeit von Mai bis August unterschritten den unteren Wert der Spanne für Maximale Immissions-Werte von umgerechnet 0,057 mg/kg TM ebenfalls klar (rosa unterlegt in Tabelle 3.7-1). Von einer Gefährdung ist nicht auszugehen.

Orientierend kann ein Höchstgehalt nach europäischem Lebensmittelrecht herangezogen werden, der für verzehrfertig aufbereitete und damit gewaschene Blattkohl-Lebensmittel gilt (VO (EU) 2018/73): 0,010 mg/kg bezogen auf Frischmasse (vgl. Tabelle 2.5-1). Der höchste im ungewaschenen Bioindikator Graskultur gemessene Wert, 0,0159 mg/kg TM am Messpunkt RAD, beträgt umgerechnet auf Frischmasse 0,0036 mg/kg FM. Er liegt damit auf 35 % des Höchstgehalts für Blattkohl-Lebensmittel.

### 3.8 Zink

Zink (Zn) war in allen Grasproben analytisch bestimmbar. Die Gehalte lagen 2020 mit 17–28 mg/kg TM und 2022 mit 15–35 mg/kg TM in einem relativ einheitlichen Bereich (Tabelle 3.8-1 und Tabelle 3.8-2).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  beträgt für Zink 14 % und der überregionale OmH 41 mg/kg TM (VDI 3857/2). Der OmH für den ländlichen Hintergrund in Bayern liegt ähnlich bei 37 mg/kg TM (vgl. Tabelle 2.5-1). Der OmH für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg liegt mit 32 mg/kg TM etwas niedriger und wird hier für die Bewertung der Ergebnisse, da die Hintergrundbelastungssituation im Umfeld des Flughafens Leipzig/Halle mit der des BER in Schönefeld vergleichbar sein sollte.

Es traten keine Immissionseinflüsse auf.

**Tabelle 3.8-1: Zink in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

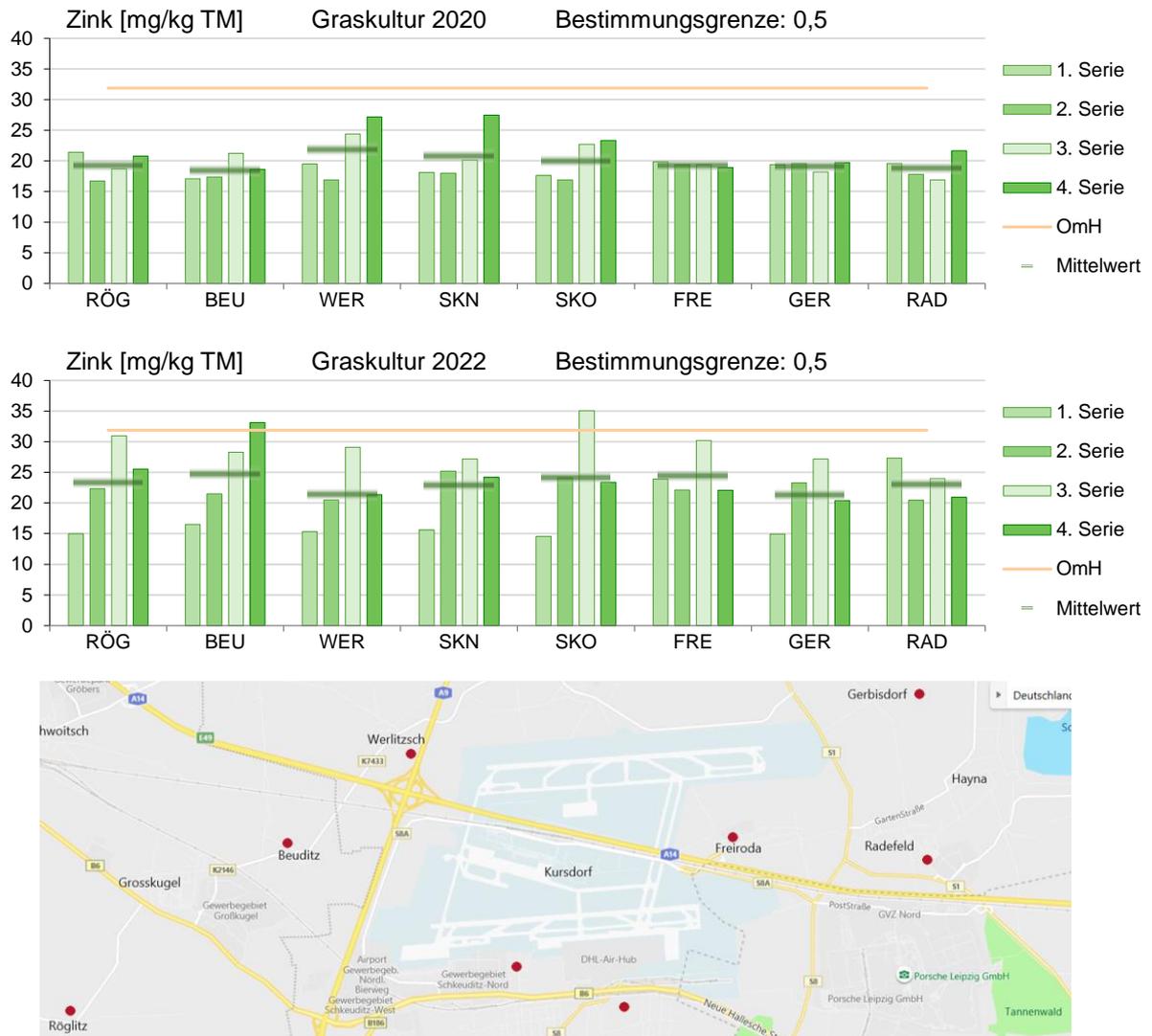
Graskultur 2020: Zink [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,5					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	21	17	19	21	19
BEU	17	17	21	19	19
WER	20	17	24	27	22
SKN	18	18	20	27	21
SKO	18	17	23	23	20
FRE	20	19	19	19	19
GER	19	20	18	20	19
RAD	20	18	17	22	19
OmH:	32	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	341

**Tabelle 3.8-2: Zink in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022: Zink [mg/kg TM] Bestimmungsgrenze: 0,5					
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Mittelwert
RÖG	15	22	31	26	23
BEU	17	22	28	33	25
WER	15	21	29	21	22
SKN	16	25	27	24	23
SKO	15	24	35	23	24
FRE	24	22	30	22	25
GER	15	23	27	20	21
RAD	27	20	24	21	23
OmH:	32	Höchstgehalt:	-	BU-Wert Min:	341

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

Zeitliche Entwicklungen der Zinkgehalte werden nicht deutlich (Bild 3.8-1).



**Bild 3.8-1: Zinkgehalte in Graskultur**

Zinkgehalte in Graskultur im Vergleich mit dem Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) im Jahr 2020 (Bild oben) und im Jahr 2022 (Bild Mitte); Lage der Messpunkte RÖG bis RAD im Umland des Flughafens Leipzig/Halle (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])

**Messpunktastufung und Quellenzuordnung:**

Anhand der arithmetischen Messpunkt-Mittelwerte wird erkennbar, dass keine Messpunktastufung vorlag (Bild 3-8). Daher wurde für Zink kein relativer Messpunktvergleich vorgenommen.

Flughafenbetrieb und Verkehr könnten zwar als direkte Quellen von Zink (aus Korrosionsschutz, Reifen, Bremsen, Straßenbelag) in Frage kommen (UBA 2022; vgl. Kap. 2.2.1). Die ermittelte Wirkungssituation liegt aber im Hintergrundbereich.

### Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation:

Die Zinkgehalte in Graskulturen sind mit denen anderer aktueller Biomonitorings vergleichbar. Sie sind unauffällig und niedrig (Wäber und Pompe 2022, 2022a, BayLfU 2022):

**Tabelle 3.8-3: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Zink**

17–28 mg/kg TM 2020 und 15–35 mg/kg TM 2022 im Umland des Flughafens Leipzig/Halle
14–46 mg/kg im Umfeld des Flughafens München 2017–2020 (Zn 2021 nicht untersucht)
19–35 mg/kg TM im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
21 ± 4 mg/kg TM als Mittelwert ländlicher Hintergrundmesspunkte in Bayern 2020

### Beurteilung hinsichtlich einer Gefährdung

Maximale Immissions-Werte für Zink, die auf Mittelwerte über die Vegetationszeit zu beziehen sind, betragen in Rinderfuttermitteln 500 mg/kg und in Schaffuttermitteln 300 mg/kg, jeweils bezogen auf 88 % TM (VDI 2310/31). Der niedrigere Beurteilungswert von 341 mg/kg umgerechnet auf 100% TM wurde von den Mittelwerten 2020 und 2022 weit unterschritten (rosa unterlegt in Tabelle 3.8-1). Ein Futtermittel-Höchstgehalt ist nicht festgelegt.

### 3.9 PAK

Die 16 PAK-Verbindungen nach EPA (vgl. Kap. 2.2.2) wurden oberhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg TM gemessen, 2020 mit Ausnahme von Dibenzo[ah]anthracen in Serie 3 an RAD (Kap. 7.2).

**Tabelle 3.9-1: Summe der 16 PAK in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020: Messpunkt	Summe 16 PAK (EPA) [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1	
	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	20	29	33	34
BEU	17	25	27	33
WER	14	28	29	33
SKN	17	28	25	26
SKO	21	30	27	28
FRE	19	28	29	27
GER	18	26	36	36
RAD	16	22	21	32
OmH 1.-4. Serie	44	OmH 4. Serie	44	

**Tabelle 3.9-2: PAK4 in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020: Messpunkt	PAK4 [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,1	
	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	2,8	3,5	4,6	3,5
BEU	2,3	4,2	4,1	4,9
WER	2,2	4,8	3,5	4,4
SKN	2,4	4,6	3,6	4,1
SKO	3,4	5,0	3,4	3,6
FRE	2,8	4,3	3,8	3,1
GER	3,0	4,2	5,3	4,6
RAD	2,3	3,3	2,2	4,3
OmH 1.-3. Serie	8,6	OmH 4. Serie	8,1	

**Tabelle 3.9-3: Benzo[a]pyren in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020**

Graskultur 2020: Messpunkt	Benzo[a]pyren [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,1	
	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,60	0,53	0,85	0,81
BEU	0,58	0,91	0,85	1,32
WER	0,58	1,06	0,68	1,17
SKN	0,57	1,02	0,66	1,02
SKO	0,83	1,04	0,60	1,07
FRE	0,63	0,99	0,62	0,84
GER	0,61	0,89	0,89	1,29
RAD	0,53	0,57	0,48	1,24
OmH 1.-3. Serie	1,70	OmH 4. Serie	0,80	

Im Jahr 2022 lag die Verbindung Dibenzo[ah]anthracen in einigen Proben <BG 0,1 µg/kg TM (Kap. 7.3).

**PAK-16 PAK** – die Summenwerte der 16 PAK nach EPA lagen 2020 in einem Bereich von 14–36 µg/kg TM (Tabelle 3.9-1), 2022 in der Höhe damit gut übereinstimmend von 15–42 µg/kg TM (Tabelle 3.9-4).

**Tabelle 3.9-4: Summe der 16 PAK in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Summe 16 PAK (EPA) [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	
RÖG	23	22	34	35	
BEU	21	21	24	42	
WER	19	23	32	35	
SKN	22	28	25	28	
SKO	22	23	25	29	
FRE	19	23	24	29	
GER	23	20	27	36	
RAD	15	21	25	32	
OmH 1.-4. Serie	44	OmH 4. Serie	44		

**Tabelle 3.9-5: PAK4 in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		PAK4 [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,1	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	
RÖG	2,9	3,0	5,5	3,9	
BEU	2,7	3,3	3,5	6,8	
WER	2,5	3,2	4,5	4,5	
SKN	3,2	4,6	3,8	4,1	
SKO	3,5	3,1	3,8	4,3	
FRE	2,1	2,8	4,2	3,5	
GER	3,5	3,0	3,4	4,5	
RAD	2,0	2,9	3,2	5,5	
OmH 1.-3. Serie	8,6	OmH 4. Serie	8,1		

**Tabelle 3.9-6: Benzo[a]pyren in Graskultur im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2022**

Graskultur 2022:		Benzo[a]pyren [µg/kg TM]		Bestimmungsgrenze: 0,1	
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	
RÖG	0,48	0,45	1,17	0,95	
BEU	0,63	0,72	0,80	1,65	
WER	0,59	0,67	1,04	1,42	
SKN	0,76	1,02	0,49	0,94	
SKO	0,91	0,68	0,72	1,14	
FRE	0,38	0,59	0,95	0,81	
GER	0,71	0,65	0,55	0,94	
RAD	0,51	0,51	0,63	1,36	
OmH 1.-3. Serie	1,70	OmH 4. Serie	0,80		

**PAK4**, die Summen der vier Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen, lagen 2020 in einem Bereich von 2,2–5,3 µg/kg TM und 2022 sehr ähnlich von 2,0–6,8 µg/kg TM (Tabelle 3.9-2 und Tabelle 3.9-5).

**Benzo[a]pyren** (BaP), als weitere Leitsubstanz der PAK, lag 2020 bei 0,48–1,32 µg/kg TM und 2022 ebenfalls ähnlich zu 2020, in einem Bereich von 0,38–1,65 µg/kg TM (Tabelle 3.9-3 und Tabelle 3.9-6).

#### Identifikation von Immissionseinflüssen mittels OmH:

Da die Standardunsicherheit des Verfahrens  $u$  nicht bekannt ist, ist gemäß VDI 3859 Blatt 2 (2021) „dann ein Immissionseinfluss anzunehmen ist, wenn der gemessene Wert  $\geq 1,5 \cdot OmH$  beträgt“ (vgl. Kap. 2.5). Dies entspricht rechnerisch 33,3 %. Die für PAK in Graskultur zur Verfügung stehenden OmH fallen je nach Untersuchungsgebiet recht unterschiedlich aus. Die OmH für 16 PAK / PAK4 / BaP reichen

- von 26\* / rund 2,5\* /  $< 1^*$  µg/kg TM für das Umfeld des Flughafens München,
- über 44\* / rund 8\* / rund 1–2\* µg/kg TM für den ländlichen Hintergrund in Bayern,
- bis 48 / rund 15,9 / rund 1,7 µg/kg TM für das Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg.

\* kennzeichnet OmH, bei denen zwischen den Expositionen im Mai–Juli (Serie 1–3) und August (Serie 4) unterschieden wird (vgl. Tabelle 2.5-1).

Aufgrund der gebietspezifischen Unterschiede und weil VDI-Richtlinien bislang keine überregionalen OmH für PAK definiert haben, werden als pragmatischer Ansatz die intermediär ausfallenden OmH angewendet, aus dem ländlichen Hintergrund in Bayern (BayLfU 2017).

Die Summen der 16 untersuchten PAK und PAK4 als Leitparameter lagen 2020 und 2022 unterhalb dieser Schwellen für Immissionseinflüsse. Schwache Immissionseinflüsse traten für Benzo[a]pyren auf: jeweils in der 4. Serie überschritten einzelne BaP-Gehalte den OmH:

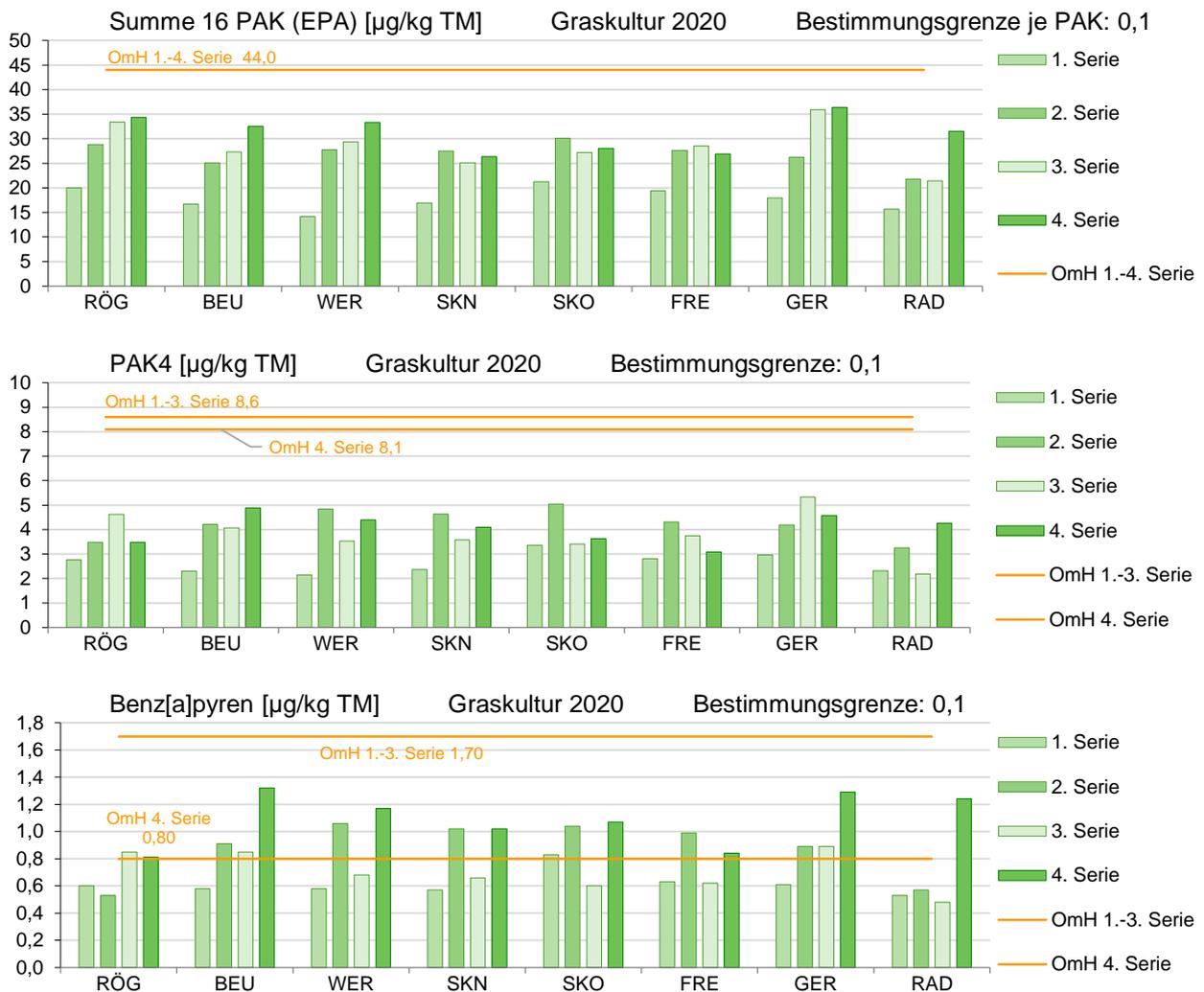
- einmal an den Messpunkten GER (2020) und WER (2022) und
- zweimal an den Messpunkten BEU und RAD.

Für diesen Expositionsabschnitt ist ein deutlich niedrigerer OmH für BaP von 0,80 µg/kg TM anzuwenden, als für die Serien 1–3 (1,7 µg/kg TM; Tabelle 3.9-3 und Tabelle 3.9-6). Der Unterschied zwischen den OmH ergibt sich aus saisonal geprägten Immissionssituationen (BayLfU 2017): Hauptquelle der PAK ist Hausbrand zu Heizzwecken (UBA 2016), der sich noch im Frühjahr und Frühsommer auswirkt (Serien 1 bis 2 bis Juni), im Hochsommer (Serie 4 im August) aber nicht zu erwarten ist.

#### Zeitliche Entwicklung der Wirkungssituation:

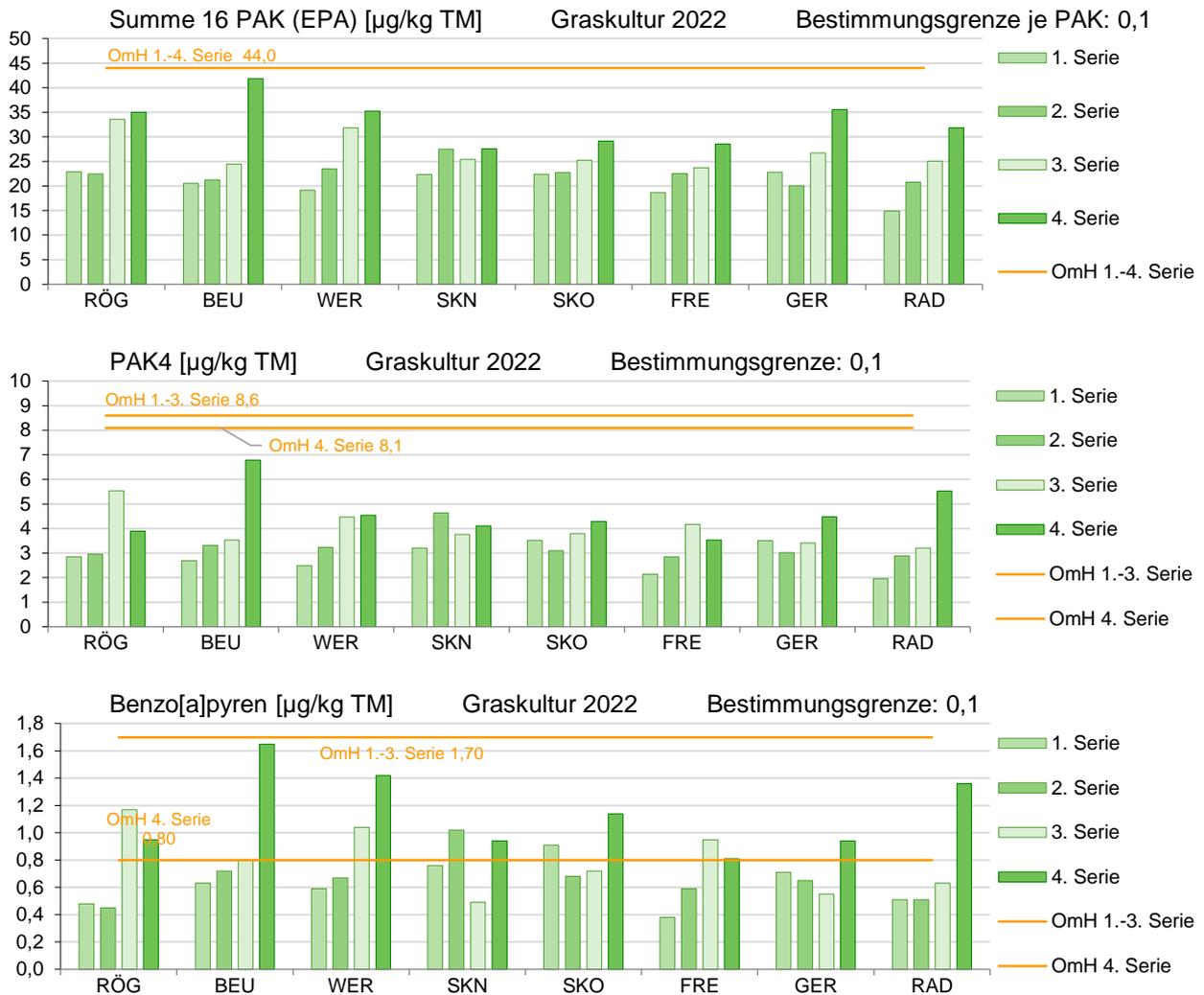
Die PAK-Gehalte unterschieden sich nicht zwischen den Jahren 2020 und 2022.

Aufgrund der saisonalen Hauptquelle für PAK – häuslichen Kleinf Feuerungsanlagen – wären in der 1. Serie im Mai und gegebenenfalls in der 2. Serie im Juni vergleichsweise höhere PAK-Werte in Graskultur zu erwarten gewesen, als in Serie 3 und Serie 4 bis Mitte August. Aber der zeitliche Verlauf zeigte 2020 und 2022 umgekehrt messpunktübergreifend niedrigste Werte in der 1. Serie im Mai – im Mittel 22 µg/kg TM für 16 PAK – und tendenziell höhere Werte in der 2. bis 4. Serie Anfang Juni bis Mitte August – mit im Mittel 30 µg/kg TM für 16 PAK (Tabelle 3.9-1 und Tabelle 3.9-4). Dieser zeitliche Verlauf ist sehr ähnlich zu dem für Arsen (vgl. Kap. 3.2) und Cadmium (vgl. Kap. 3.4 und siehe Bild 3.9-1 und Bild 3.9-2). Verkehr und Flughafenbetrieb stellen keine direkten Quellen für Arsen, Cadmium und Quecksilber dar, vielmehr Verbrennung von Steinkohle und Industrieprozesse (vgl. Kap. 2.2.1). Der zeitliche Verlauf für PAK nivelliert sich allerdings unter Berücksichtigung der anzusetzenden Unsicherheit des Verfahrens von 33,3 %.



**Bild 3.9-1: PAK-Gehalte in Graskultur – 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren 2020**

PAK-Gehalte in Graskultur im Vergleich mit den Orientierungswerten für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH), Bild oben: 16 PAK, 2. Bild von oben: PAK4, 2. Bild von unten: Benzo[a]pyren; Lage der Messpunkte RÖG bis RAD (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])



**Bild 3.9-2: PAK-Gehalte in Graskultur – 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren 2022**

PAK-Gehalte in Graskultur im Vergleich mit den Orientierungswerten für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH), Bild oben: 16 PAK, Bild Mitte: PAK4, Bild unten: Benzo[a]pyren;

Ein gewisser saisonaler Verlauf 2020 und 2022 mit vergleichsweise niedrigsten Werten in der 1. Serie im Mai und höchsten Werten in der 4. Serie von Ende Juli bis Mitte August deutet sich auch für PAK4 und Benzo[a]pyren an. Die Vermutung, der zeitliche Verlauf könnte mit dem Verlauf der überregionalen, Corona bedingten Reduktion industrieller Verbrennungsprozesse 2020 in Zusammenhang stehen, wird durch die Ergebnisse 2022 nicht bestätigt (die dann hätten insgesamt höher liegen müssen als 2020). Das Flugverkehrsaufkommen war in den Monaten Mai, Juni, Juli und August in etwa konstant (Bild 1.3-1) und kann somit den gewissen saisonalen Verlauf, mit tendenziell höchsten Werten in der 4. Serie, nicht erklären. Ein gewisser Einfluss der zunehmenden Wüchsigkeit der Graskulturen zum Sommer hin, mit höherem Akkumulationsvermögen der größeren Blattflächen, wäre als Einfluss denkbar.

#### Messpunktastufung und Quellenzuordnung:

Kontinuierliche Quellen für PAK sind Verbrennungsprozesse in Feuerungsanlagen im Gewerbe, Industrie und Kraftstoffverbrennung im Verkehr (UBA 2016). Der zeitliche Verlauf der PAK-Gehalte in Graskulturen

2020 könnte im Zusammenhang mit der Reduktion der Emissionen aus Verkehr und Industrie als Auswirkung der Corona-Krise gestanden haben. Eine Analyse des Deutschen Wetterdienstes (DWD) der Stickstoffoxide, als typische Luftschadstoffe aus Industrie und Verkehr, ermittelte – unter Berücksichtigung der relevanten Parameter Windgeschwindigkeit, Temperatur, Ozon trendbereinigt einen Rückgang von im Mittel  $31 \pm 8$  Prozent in den ersten 4 Wochen der Corona bedingten Beschränkungen. Der Rückgang fiel allerdings regional und lokal sehr unterschiedlich aus (DWD 2020). Über die weitere Entwicklung liegen noch keine derartigen Auswertungen vor.

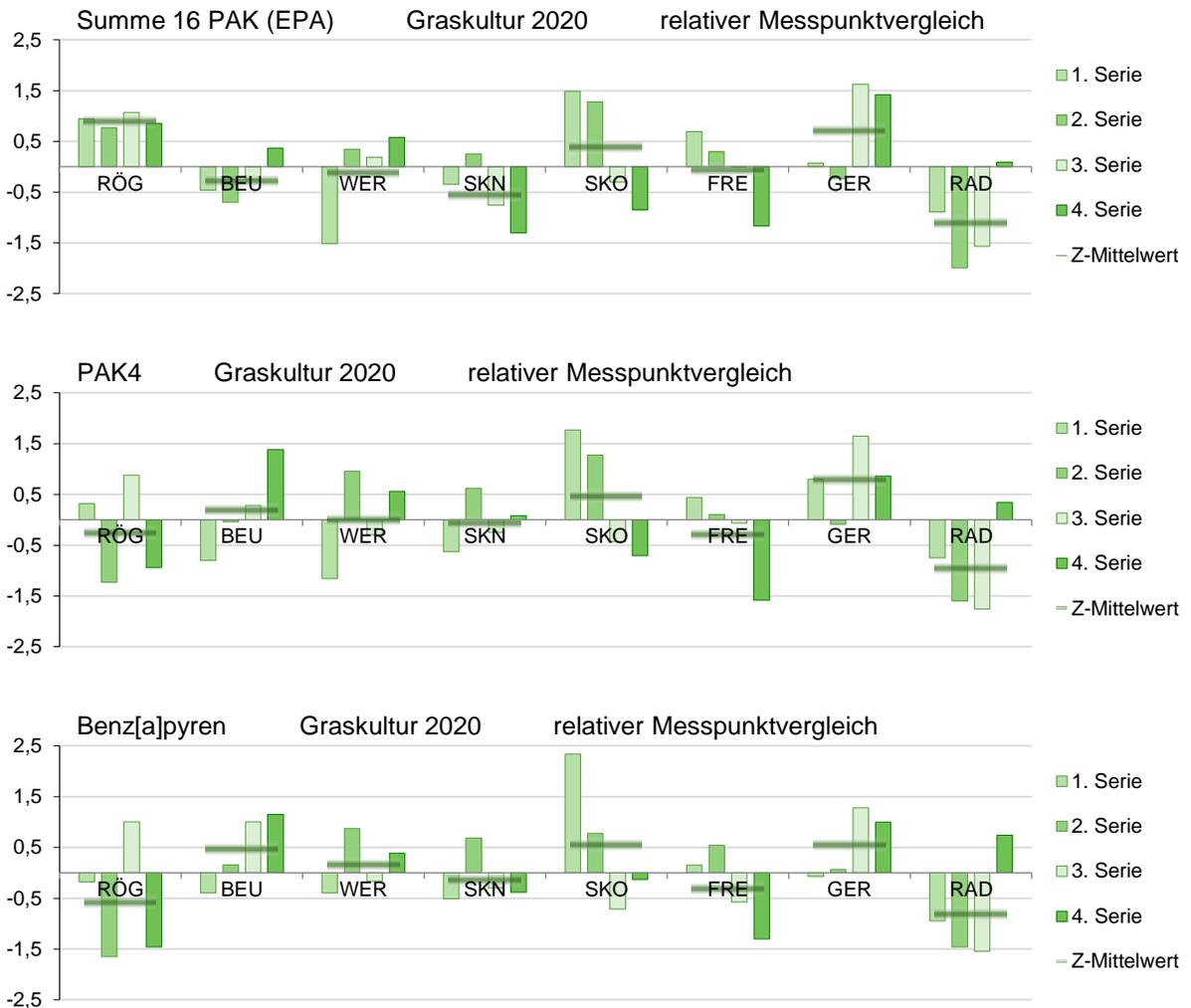
Eine Messpunktastufung wird anhand absoluter Werte für die 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren nicht deutlich (Bild 3.9-1 und Bild 3.9-2). Um den zeitlichen Verlauf auszublenzen und die Streuung zu relativieren, wurden relative Messpunktvergleiche durchgeführt. Anhand normierter Z-Werte sollen diese etwaige Messpunktastufungen verdeutlichen.

Folgende Ergebnisse zeigen sich für die drei PAK-Parameter 2020:

- In Röglitz innerorts (RÖG) wurden relativ höchste Summenwerte der 16 PAK gemessen, ebenfalls – aber nur temporär in der 3. und 4. Serie im Sommer – am Ortsrand von Gerbisdorf (GER). Inmitten Ausgleichsflächen nahe Radefeld (RAD) traten vergleichsweise überdurchschnittliche 16 PAK-Werte auf (Bild 3.9-3 oben).
- Hinsichtlich der schwerer flüchtigen und als Kontaminanten relevanten PAK4 (Bild 3.9-3 Mitte) mit Benzo[a]pyren (Bild 3.9-3 unten) wurden in Röglitz in etwa durchschnittliche Werte gemessen, vergleichsweise unterdurchschnittliche wieder nahe Radefeld
- Überdurchschnittliche Werte für die 16 PAK, PAK4 und Benzo[a]pyren wurden in den Serien 1 und 2 (Mai und Juni) am Messpunkt Schkeuditz Ost (SKO) ermittelt, in den Serien 3 und 4 (Juli bis Mitte August) hingegen am Messpunkt GER, sowie schwächer am Messpunkt BEU, am Ortsrand von Beuditz neben Feldern und ohne direkten Überflug.

Folgende Ergebnisse zeigen sich für die drei PAK-Parameter 2022 (Bild 3.9-4):

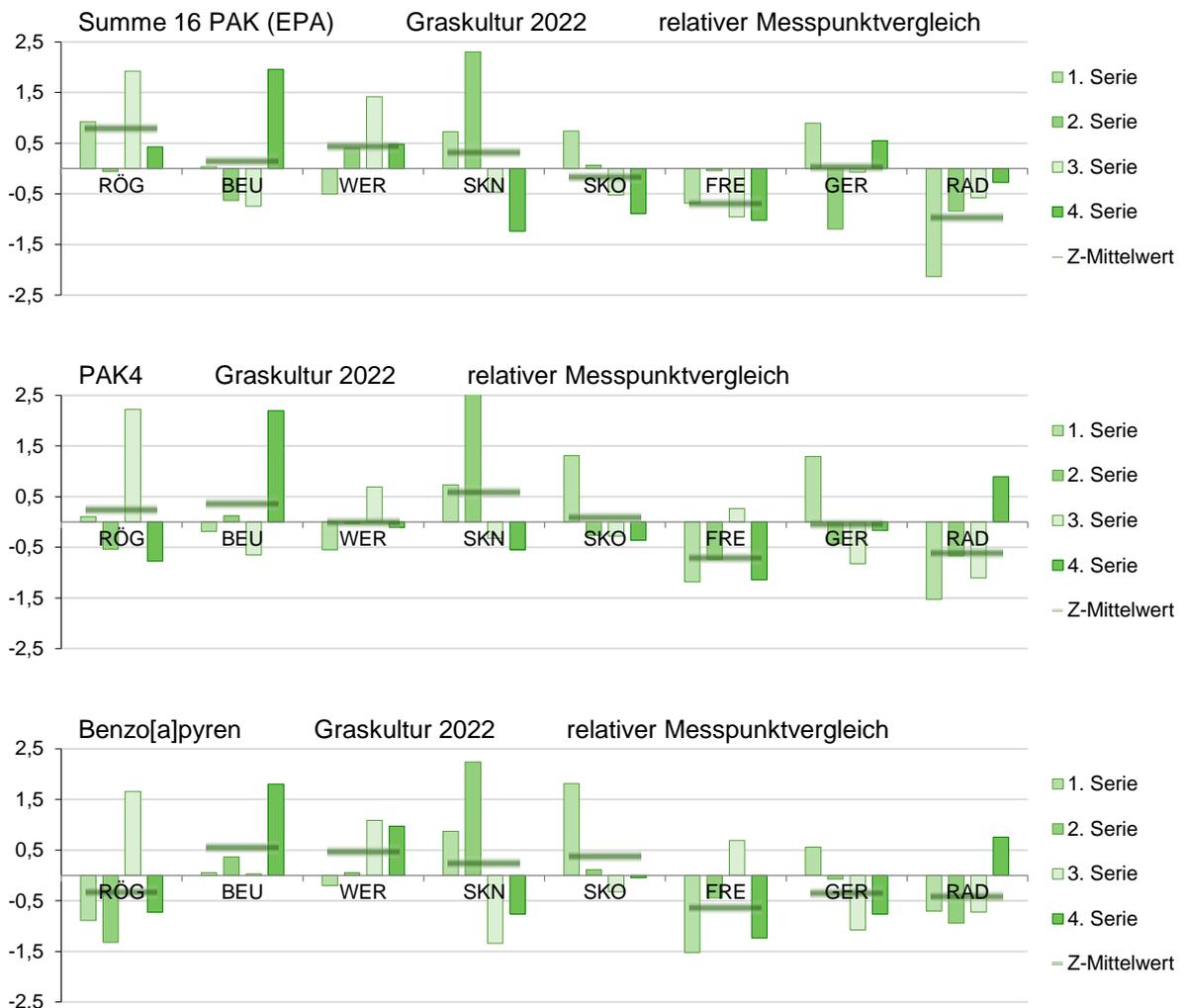
- In Röglitz innerorts (RÖG) bestätigen sich die schwach überdurchschnittlichen 16 PAK-Werte (im Mittel z-Wert +0,8) aufgrund der Werte der 1. und 3. Serie (Bild 3.9-4 oben). Ebenfalls temporär werden überdurchschnittliche 16 PAK-Werte in jeweils anderen Expositionsserien erkennbar: am Ortsrand von Beuditz (BEU: 4. Serie), am Ortsrand von Werlitzsch (WER: 3. Serie), in Schkeuditz Nord (SKN: 2. Serie). Inmitten Ausgleichsflächen nahe Radefeld (RAD) traten erneut unterdurchschnittliche 16 PAK-Werte auf (v.a. 1. Serie).
- Für PAK4 (Bild 3.9-4 Mitte) und Benzo[a]pyren (Bild 3.9-4 unten) zeigen sich ähnliche Bilder temporär überdurchschnittlicher Werte: RÖG 3. Serie, BEU 4. Serie, SKN 2. Serie (sehr schwach WER 3. Serie und für BaP 4. Serie), nur für Benzo[a]pyren auch SKO 1. Serie. Am Messpunkt RAD traten nur für PAK4 schwach unterdurchschnittliche Werte vorrangig aufgrund der 1. Serie auf.
- Für Röglitz ergaben sich im Mittel wie 2020 in etwa durchschnittliche Werte für PAK4 und Benzo[a]pyren.



**Bild 3.9-3: PAK in Graskultur – relativer Messpunktvergleich 2020**

relativer Messpunktvergleich anhand Z-Werten für 16 PAK (Bild oben), PAK4 (2. Bild von oben), Benz[a]pyren (2. Bild von unten);

Lage der Messpunkte RÖG bis RAD (Karte unten [Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH])



**Bild 3.9-4: PAK in Graskultur – relativer Messpunktvergleich 2022**

relativer Messpunktvergleich anhand Z-Werten für 16 PAK (Bild oben), PAK4 (Bild Mitte), Benzo[a]pyren (Bild unten)

Aus der Lage der Messpunkte könnten Indizien für potenzielle PAK-Quellen ersichtlich werden:

- RÖG innerorts, mit Hausbrand und Straßenverkehr,
- SKO Gleis- und Straßenverkehr und GER Straßenverkehr (entsprechend der Nähe und Intensität).

Der Messpunkt SKO trat bereits bei dem verkehrstypischen Metall Antimon (Bremsabrieb) hervor (vgl. Kap. 3.1). Der Messpunkt GER trat hinsichtlich Antimon nur schwach temporär hervor, in der 2. und 4. Serie 2020 und damit nicht deckungsgleich mit PAK. Der Messpunkt BEU trat 2022 nicht hervor, stattdessen der Messpunkt SKN im Juni 2022. Insgesamt bestätigen sich die Indizien aus dem Jahr 2020 für kontinuierliche Quellen durch die Abstufungen im Jahr 2022 nicht. Die PAK-Gehalte lagen allerdings insgesamt im Hintergrundbereich, weitestgehend unterhalb Schwellen für Immissionseinflüsse.

## Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation

**Tabelle 3.9-7: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für 16 PAK**

14–36 µg/kg TM für Serie 1–3 2020 und 15–34 µg/kg TM für Serie 1–3 2022 26–36 µg/kg TM für Serie 4 2020 und 28–42 µg/kg TM für Serie 4 2022 Umland Flughafen Leipzig/Halle
12–32 µg/kg TM für Serie 1–3 und 10–38 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
21–47 µg/kg TM für Serie 1–3 (bis Maximalwert 76 im Mai 2013) und 28–50 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015, 2022
18 µg/kg TM für Serie 1–3 als Median (Mittelwertmaß) und 14–17 µg/kg TM für Serie 4 (Einzelwerte) an ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern 2014

**Tabelle 3.9-8: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für PAK4**

2,2–5,3 µg/kg TM für Serie 1–3 2020 und 2,0–5,5 µg/kg TM für Serie 1–3 2022 3,1–4,9 µg/kg TM für Serie 4 2020 und 3,5–6,8 µg/kg TM für Serie 4 2022 Umland Flughafen Leipzig/Halle
0,8–5,4 µg/kg TM für Serie 1–3 und 0,8–6 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
3,9–19 µg/kg TM für Serie 1–3 (bis Maximalwert 24 im Mai 2013) und 5,2–16 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013, 2015 2022
1,9 µg/kg TM für Serie 1–3 als Median (Mittelwertmaß) und 1,5–1,7 µg/kg TM für Serie 4 (Einzelwerte) an ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern 2014

**Tabelle 3.9-9: Vergleichende Einordnung der Wirkungssituation für Benzo[a]pyren**

0,5–1,1 µg/kg TM für Serie 1–3 2020 und 0,4–1,2 µg/kg TM für Serie 1–3 2022 0,7–0,9 µg/kg TM für Serie 4 2020 und 0,8–1,7 µg/kg TM für Serie 4 2022 Umland Flughafen Leipzig/Halle
0,1–1,3 µg/kg TM für Serie 1–3 und 0,1–1,7 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens München 2017–2021
0,4–2,1 µg/kg TM für Serie 1–3 (bis Maximalwert 2,3 im Mai 2013) und 0,7–2,6 µg/kg TM für Serie 4 im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg (Schönefeld) 2013 2015 2022
<0,1 µg/kg TM für Serie 1–3 und <0,1 µg/kg TM für Serie 4 an ländlichen Hintergrundmesspunkten in Bayern 2014

Die Summen der 16 PAK waren in der Höhe mit den 16 PAK aus den Umfeldern der Flughäfen München und BER vergleichbar (Wäber und Pompe 2022, 2022a). Ihr unterer Bereich lag im Bereich des ländlichen Hintergrunds in Bayern 2014 (BayLfU 2017; aktuellere PAK-Daten liegen nicht vor; Tabelle 3.9-7).

Die PAK4 waren in der Höhe mit denen aus dem Umfeld des Flughafens München vergleichbar (Tabelle 3.9-8) und ihr unterer Bereich mit dem des ländlichen Hintergrunds in Bayern. Sie waren eher niedriger als die Vergleichswerte aus dem Umfeld des BER.

Die Benzo[a]pyren-Werte lagen nur vereinzelt oberhalb OmH für den quellenfernen ländlichen Hintergrund aus Bayern: in den 4. Serien 2020 und 2022 (Tabelle 3.9-3 und Tabelle 3.9-6). Sie waren in der Höhe gut mit denen aus dem Umfeld des Flughafens München vergleichbar und lagen im unteren Bereich der BaP-Werte aus dem Umfeld des BER (Tabelle 3.9-9; BaP im ländlichen Hintergrund in Bayern <BG).

Die Wirkungssituation im Umland des Flughafens Leipzig/Halle war auch in der jeweils 4. Serie 2020 und 2022, mit im zeitlichen Verlauf tendenziell höheren PAK-Gehalten als in den vorangegangenen Abschnitten, als unauffällig zu bewerten.

### 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 speziell für Blattgemüse-Lebensmittel.

Verordnung (EU) Nr. 835/2011 definiert Höchstgehalte für andersartige Lebensmittel, Getreidebeikost, andere Beikost und Anfangsnahrung für Säuglinge, Öle und tierische Lebensmittel. Sie werden zur orientierenden Beurteilung nicht herangezogen, da sich diese Lebensmittel hinsichtlich Zusammensetzung und Aufnahme im menschlichen Körper von pflanzlichen Lebensmitteln unterscheiden. In Verordnung (EU) 2015/1933 sind Höchstgehalte für trockene pflanzliche Lebens- und Nahrungsergänzungsmittel, wie getrocknete Kräuter und Gewürze, festgelegt. Diese wurden vom BayLfU (2017) hilfsweise zur Beurteilung für PAK4 und Benzo[a]pyren-Gehalte beim Grünkohl-Biomonitoring angewendet (BayLfU 2017). Hier werden die Höchstgehalte für getrocknete Kräuter hilfsweise orientierend für den Bezug auf (getrocknete) Graskulturen herangezogen. Dabei ist einschränkend zu beachten:

- Graskulturen sind Futtermittel-Repräsentanten, keine Repräsentanten von Kräutern 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.

Die Höchstgehalte für getrocknete Kräuter und Gewürzen betragen gemäß Verordnung (EU) 2015/1993

- 50 µg/kg für PAK4 und
- 10 µg/kg für Benzo[a]pyren.

PAK4 und Benzo[a]pyren in Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle erreichten 2020 und 2022 maximal nur rund 10 % dieser hilfsweisen Beurteilungswerte.

## 4 Abkürzungen

As	Arsen
BaP	Benzo[a]pyren
BayLfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
BER	Flughafen Berlin Brandenburg (ehemals Schönefeld)
BG	analytische Bestimmungsgrenze
Cd	Cadmium
Cr	Chrom
DBS	Dauerbeobachtungsstation(en)
EPA	US Environmental Protection Agency
FM	Frischmasse
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
FMG	Flughafen München GmbH
FuttMV	Futtermittelverordnung
Hg	Quecksilber
HRGC	hochauflösender Gaschromatograph
ICP	induktiv gekoppeltes Plasma
MP	Messpunkt
MS	Massenspektrometrie
MSD	massenselektiver Detektor
MUC	Flughafen München
Ni	Nickel
OmH	Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (VDI 3857/2)
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
Sb	Antimon
TM	Trockenmasse
<i>u</i>	Standardunsicherheit des Verfahrens
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VO	Verordnung
Zn	Zink

## 5 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 (signifikant) 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

### **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 – 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 unerwünschter Stoffe 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 -> Unsicherheit des Verfahrens  $u$ , die den -> Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt überschreiten, sind als -> immissionsbeeinflusst zu werten

**Immissionswirkung:**

durch luftgetragene Stoffe verursachte -> Wirkungen

**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

**Maximaler Immissions-Wert:**

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

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

statistisch abgeleiteter Wert, der die robuste Obergrenze der Stoffgehalte in einem Akkumulations(bio-)indikator 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, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen; bewertet -> Kontaminanten in Lebensmitteln gemäß VO (EU) Nr. 835/2011 ff.

**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)

## 6 Literatur

### 6.1 Gesetze und Verordnungen

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

EG (2002) RICHTLINIE 2002/32/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft: L 140/10-21

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. 488/2014: VERORDNUNG (EU) DER KOMMISSION vom 12. Mai 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Cadmium in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 138, S. 75-79 vom 13.5.2014

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) Nr. 744/2012: VERORDNUNG (EU) DER KOMMISSION vom 16. August 2012 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte für Arsen, Fluor, Blei, Quecksilber, Endosulfan, Dioxine, Ambrosia spp., Diclazuril und Lasalocid-A-Natrium sowie der Aktionsgrenzwerte, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 219, S. 5 vom 17.8.2012

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) 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, ABl. Nr. L 282, S. 11

VO (EU) 2018/73: VERORDNUNG (EU) 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, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 13, S. 8-9 vom 18.1.2018

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.

## 6.2 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, Berlin: Beuth Verlag

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 Luftbeschaffenheit – Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit (ISO 20988: 2007); Deutsche Fassung EN ISO 20988: 2007. Berlin, Beuth

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 28:2008-10: 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 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 3:2023-01: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Berlin, Beuth

VDI 3957 Blatt 10:2023-01: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) – 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

### 6.3 Literaturquellen

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

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.

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

Krapp, M., L. Peichl (2015): Antimony deposition and accumulation in biomonitoring plants at a traffic affected site compared to rural sites in Bavaria / Germany. 3rd International Workshop on Antimony in the Environment, 6.-9.10.2015, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig

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

Streit, B. (1991): Lexikon Ökotoxikologie. VCH Weinheim

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., 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

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. (2016a): 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

## 6.4 Quellen im Internet

BayLfU (2020): Anreicherung von Metallen in Graskulturen – Hintergrundwerte; Jahresmittelwerte 2003 – 2019. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 27 S., Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: [https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe\\_luft/schwermetalle/doc/metalle\\_in\\_graskultur\\_2003\\_2017.pdf](https://www.lfu.bayern.de/luft/schadstoffe_luft/schwermetalle/doc/metalle_in_graskultur_2003_2017.pdf)

BayLfU (2022): Anreicherung von Metallen in Graskulturen – Hintergrundwerte; Jahresmittelwerte 2002 – 2021. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, 21 S., Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: [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)

DWD (2020) Reduktion von Stickoxiden in deutschen Städten nach Corona-Lockdown – Materialien, Methoden und Analysen zum GAW Brief 76 des DWD. DWD und UBA (Hrsg.) 14 S. Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: [https://www.dwd.de/DE/Home/\\_functions/aktuelles/2020/20200717\\_hintergrundbericht\\_gaw.html](https://www.dwd.de/DE/Home/_functions/aktuelles/2020/20200717_hintergrundbericht_gaw.html)

TÜV (2009): Biomonitoring von Luftschadstoffen mit dem Grünkohl-Verfahren im Umfeld des Flughafens Leipzig 2008. TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Flughafen Leipzig/Halle GmbH (Hrsg.), Quelle im Internet, Stand 12.10.2022: [https://di5l0vjrkfc7a.cloudfront.net/media/user\\_upload/Leipzig\\_Halle/bericht\\_biomonitoring\\_gruenkohl\\_2008.pdf](https://di5l0vjrkfc7a.cloudfront.net/media/user_upload/Leipzig_Halle/bericht_biomonitoring_gruenkohl_2008.pdf)

UBA (2014): Umweltbelastungen der Landwirtschaft: Düngemittel. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Stand 12.12.2022: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/duengemittel#duengemittel-was-ist-das>

UBA (2016): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe – Umweltschädlich! Giftig! Unvermeidbar? Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: [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 (2022): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen (Schwermetalle) 1990 – 2020, Umweltbundesamt (Hrsg.), Stand 11.12.2022: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen>

Wäber, M. (2016): Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld mit standardisierten Graskulturen 2015. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/Biomonitoring-Bericht-2011-2015.pdf>

FMG (2022): Biomonitoring – Biomonitoring und Depositionsuntersuchungen in der Umgebung des Flughafens München – Zusammenfassende Dokumentationen. Flughafen München GmbH (Hrsg.), Stand 12.12.2022: <https://www.munich-airport.de/biomonitoring-88353>

Wäber, M. und Pompe, F. (2022): Biomonitoring in der Umgebung des Flughafens München 2021 – mit Einordnung der Wirkungssituation 2017–2021 und zusammenfassender Datendokumentation 2021. Flughafen München GmbH (Hrsg.), Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: [https://www.munich-airport.de/\\_b/0000000000000009555400bb5f33e76e/biomonitoring-deposition-191.pdf](https://www.munich-airport.de/_b/0000000000000009555400bb5f33e76e/biomonitoring-deposition-191.pdf)

Wäber, M. und Pompe, F. (2022a): Graskultur-Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2022 – mit Einordnung der Wirkungssituation 2013 und 2015. Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (Hrsg.), Quelle im Internet, Stand 12.12.2022: <https://corporate.berlin-airport.de/content/dam/corporate/de/umwelt/luft/2022-11-28-biomber.pdf>

## 7 Anhang

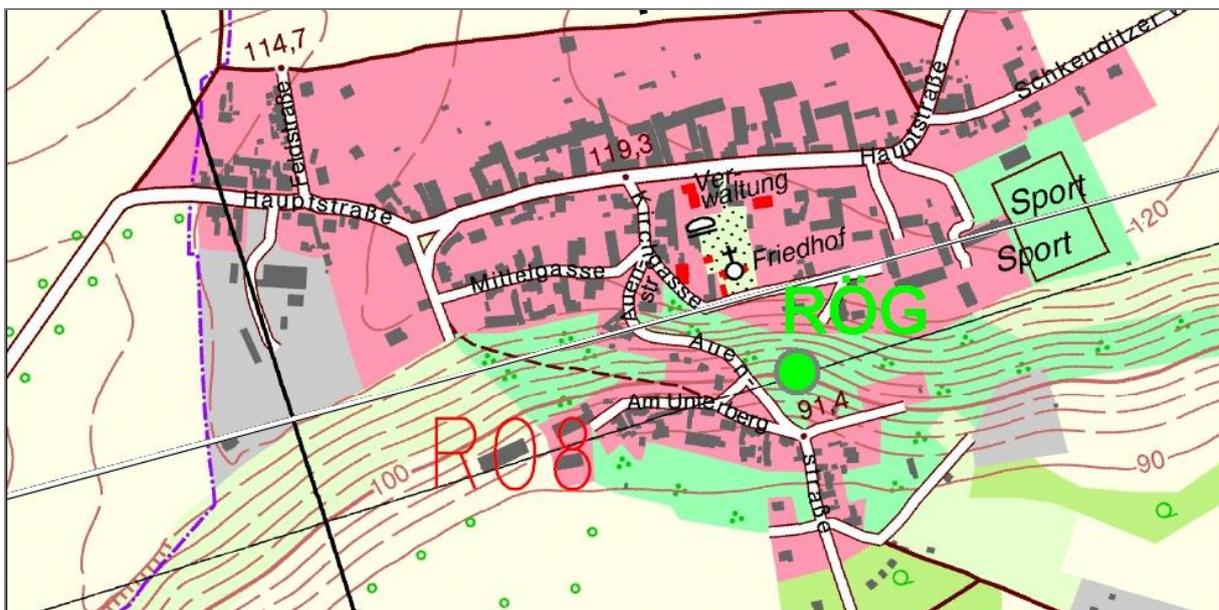
### 7.1 Messnetz – Messpunkt-Kennblätter

Auf den folgenden Seiten finden sich die Kennblätter der Messpunkte im Untersuchungsgebiet von West (Messpunkt RÖG) nach Ost (Messpunkt RAD).

### 7.1.1 Messpunkt RÖG

Der Messpunkt RÖG befindet sich innerorts in Röglitz auf einer Obstwiese. Der Flughafen liegt etwa 4,8 km in ost-nordöstlicher Richtung entfernt (Südbahn, Abflüge bei Westwind). Der Messpunkt liegt im Flugrouten-Bereich (Überflug in größerer Höhe möglich). Er bildet – versetzt – zu Messpunkt BEU einen Gradienten (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-1).

UTM-Koordinaten: 33U 300247.183 (Ost) 5697983.009 (Nord)



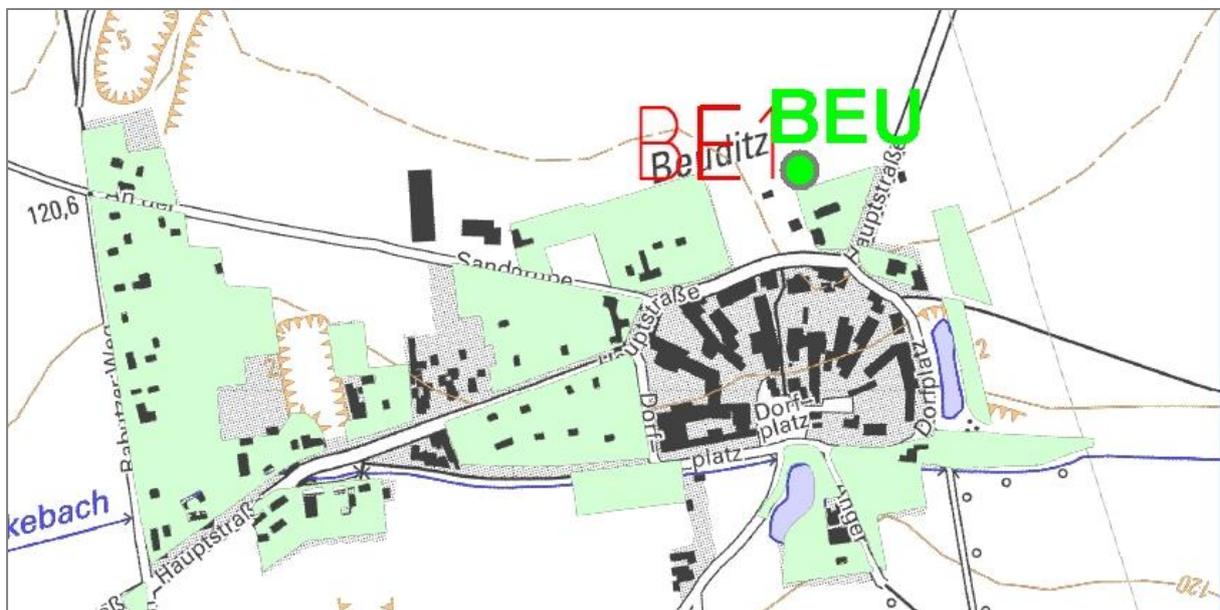
**Bild 7.1-1: Messpunkt RÖG – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

## 7.1.2 Messpunkt BEU

Der Messpunkt BEU befindet sich am nördlichen Ortsrand von Beuditz an einer Gartenwiese. Landwirtschaftliche Flächen grenzen unmittelbar nördlich an. Der Flughafen liegt etwa 2,3 km in östlicher Richtung entfernt (Vorfeld am Terminal zwischen Nord- und Südbahn). Der Messpunkt liegt flughafennah ohne direkten Überflug (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-1).

UTM-Koordinaten: 33U 303843.123 (Ost) 5700508.287 (Nord)



**Bild 7.1-2: Messpunkt BEU – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

### 7.1.3 Messpunkt WER

Der Messpunkt WER befindet sich am nordöstlichen Ortsrand von Werlitzsch auf einer Ausgleichsfläche des Flughafens. Landwirtschaftliche Flächen grenzen unmittelbar nördlich an. Der Flughafen liegt etwa 2,6 km in südöstlicher Richtung entfernt (Nordbahn, Abflüge bei Westwind). Der Messpunkt liegt flughafennah und landwirtschaftsnah (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-3).

UTM-Koordinaten: 33U 304794.755 (Ost) 5702108.830 (Nord)



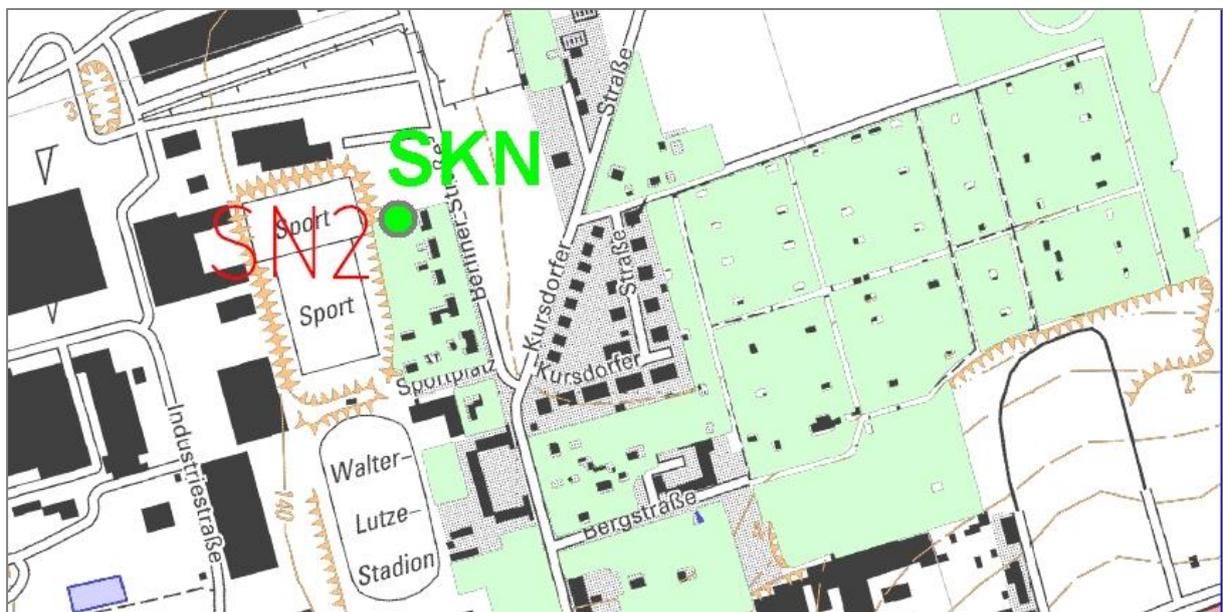
**Bild 7.1-3: Messpunkt WER – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

#### 7.1.4 Messpunkt SKN

Der Messpunkt SKN befindet sich innerorts im Norden der Großen Kreisstadt Schkeuditz auf einem bewachsenen Wall in ca. 1,5 m Höhe neben einem Wohnhaus und einem Sportplatz. Eine kleine landwirtschaftliche Fläche grenzt unmittelbar südlich an. Der Flughafenzaun ist etwa 100 m nördlich und die Südbahn etwa 500 m nördlich entfernt. Der Messpunkt liegt flughafennah nahe Rollverkehr (Südbahn), ohne direkten Überflug (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-4).

UTM-Koordinaten: 33U 306641.152 (Ost) 5698803.710 (Nord)



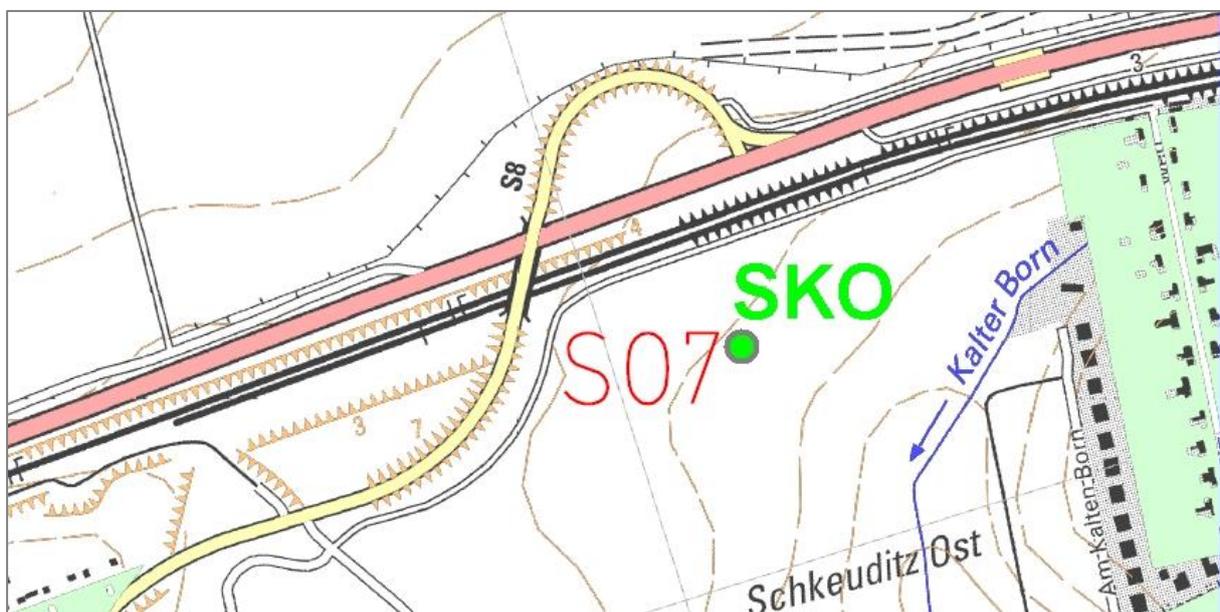
**Bild 7.1-4: Messpunkt SKN – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

### 7.1.5 Messpunkt SKO

Der Messpunkt SKO befindet sich am Kalten Born auf einer Ausgleichsfläche des Flughafens, umgeben von naturnahen Flächen mit Büschen in mindestens 100 m Umkreis, 200 m westlich von Schkeuditz-Papitz. Etwa 100 m nördlich befinden sich Bahngleise, 150 m nördlich Flughafen-Zubringerverkehr und etwa 500 m nördlich der DHL-Hangar des Flughafens. Der Messpunkt liegt flughafennah nahe Rollverkehr (Südbahn), ohne direkten Überflug (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-5).

UTM-Koordinaten: 33U 306641.152 (Ost) 5698803.710 (Nord)



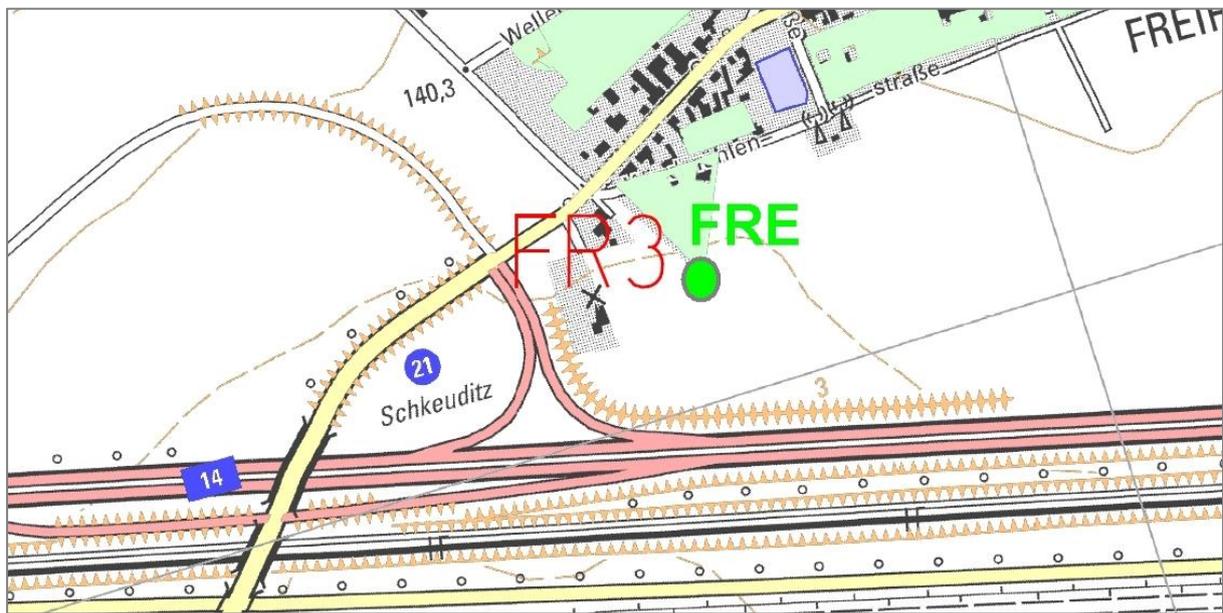
**Bild 7.1-5: Messpunkt SKO – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

### 7.1.6 Messpunkt FRE

Der Messpunkt FRE, am südwestlichen Ortsrand von Freiroda auf einer Ausgleichsfläche des Flughafens, ist umgeben von naturnahen Flächen mit Büschen. Etwa 130 m südlich und westlich befinden sich die Autobahn A14 und Flughafen-Zubringerverkehr. Der Messpunkt ist davon durch Büsche abgeschirmt, siedlungsnah und flughafennah zwischen Nord- und Südbahn gelegen, ohne direkten Überflug (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-6). Die Südbahn des Flughafens (Abflüge bei Ostwind) liegt etwa 0,8 km in südwestlicher Richtung entfernt, die Nordbahn (Abflüge bei Ostwind) etwa 1,5 km nördlich und das Vorfeld am Terminal in etwa 2,5 km Entfernung, westlich vom Messpunkt.

UTM-Koordinaten: 33U 309698.87 (Ost) 5700129.96 (Nord)



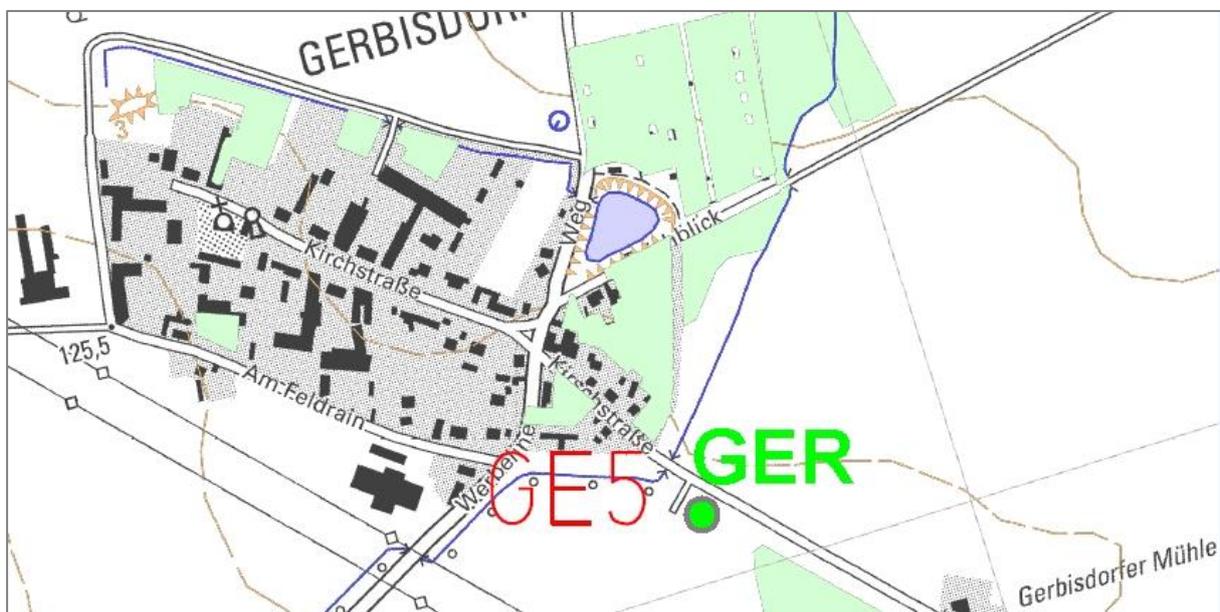
**Bild 7.1-6: Messpunkt FRE – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

### 7.1.7 Messpunkt GER

Der Messpunkt GER befindet sich am südwestlichen Ortsrand von Gerbisdorf auf einer Ausgleichsfläche des Flughafens, etwa 20 m westlich einer wenig befahrenen Ortsverbindungsstraße. Landwirtschaftliche Flächen grenzen unmittelbar westlich und auch östlich an. Die Nordbahn des Flughafens befindet sich etwa 1,8 km in westlicher Richtung (Abflüge bei Ostwind). Der Messpunkt ist siedlungsnah und relativ flughafennah gelegen, ohne direkten Überflug (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-7).

UTM-Koordinaten: 33U 311757.571 (Ost) 5702089.224 (Nord)



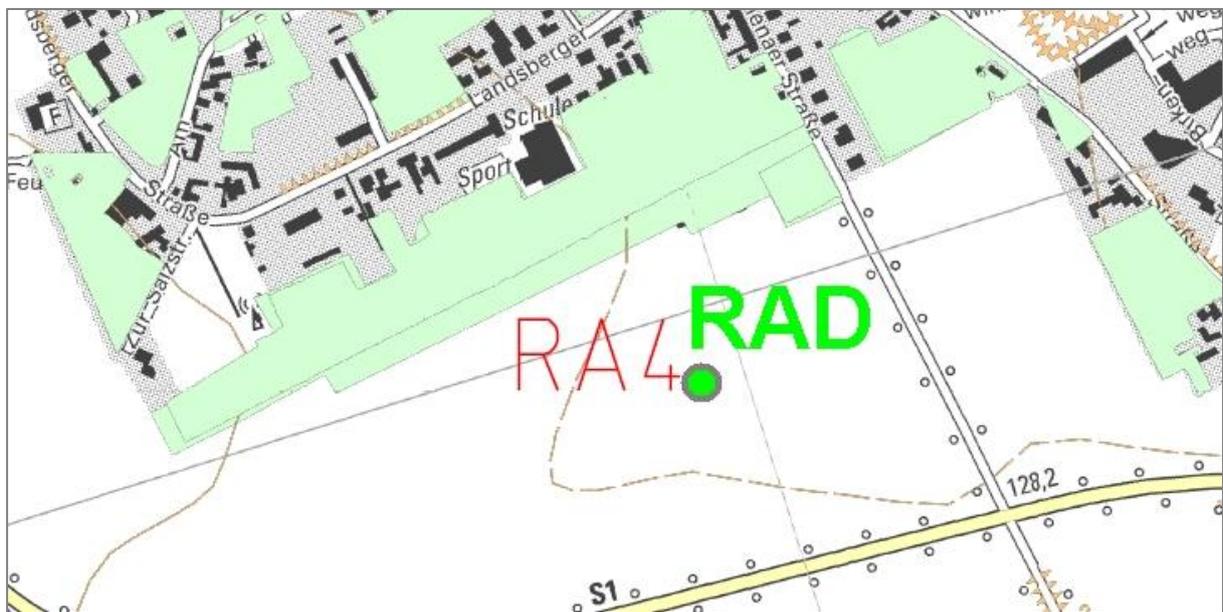
**Bild 7.1-7: Messpunkt GER – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

### 7.1.8 Messpunkt RAD

Der Messpunkt RAD befindet sich etwa 500 m südlich des Ortsrands von Radefeld und etwa 400 m westlich des Gewerbegebiets (Gewerbepark Tannewald) auf einer Ausgleichsfläche des Flughafens. Die Südbahn des Flughafens befindet sich etwa 2,9 km in nordwestlicher Richtung (Abflüge bei Ostwind). Der Messpunkt ist siedlungsnah gelegen, direkter Überflug ist möglich (vgl. Tabelle 2.1-1 und Bild 7.1-8).

UTM-Koordinaten: 33U 311970.934 (Ost) 5699962.498 (Nord)



**Bild 7.1-8: Messpunkt RAD – Karte (oben) und Foto (unten)**

[Karte Quelle: Flughafen Leipzig/Halle GmbH, Techn. Dokumentation]

## 7.2 PAK in Graskultur 2020

Graskultur 2020: Naphthalin [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Acenaphtylen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	3,1	5,0	4,5	5,7	RÖG	0,37	0,97	1,79	1,27
BEU	2,6	5,2	4,9	4,3	BEU	0,36	0,84	1,16	1,19
WER	2,4	5,2	4,4	5,3	WER	0,31	0,81	1,29	1,67
SKN	2,8	4,7	5,1	4,5	SKN	0,51	0,69	1,09	1,23
SKO	3,4	5,2	4,2	5,0	SKO	0,73	0,94	1,00	0,68
FRE	3,1	4,9	5,0	5,7	FRE	0,65	0,91	1,18	0,67
GER	2,8	5,1	4,8	5,7	GER	0,40	0,86	1,49	1,04
RAD	2,7	4,6	4,8	5,1	RAD	0,36	0,67	1,01	0,95

Graskultur 2020: Acenaphten [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Fluoren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,23	0,45	1,12	0,99	RÖG	0,95	2,61	2,28	2,59
BEU	0,28	0,57	0,56	0,50	BEU	1,22	1,43	2,13	1,83
WER	0,20	0,65	0,90	0,71	WER	0,81	1,77	2,04	2,31
SKN	0,29	0,37	0,48	0,35	SKN	1,33	1,85	1,84	1,65
SKO	0,34	0,63	0,53	0,44	SKO	1,08	2,40	1,97	1,37
FRE	0,17	0,43	0,53	0,39	FRE	1,28	1,25	1,37	1,12
GER	0,29	0,69	1,09	0,65	GER	1,33	2,08	2,17	1,95
RAD	0,29	0,52	0,54	0,45	RAD	0,82	1,43	1,53	2,10

Graskultur 2020: Phenanthren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	4,0	6,1	6,4	6,8	RÖG	0,43	0,36	0,67	0,63
BEU	4,2	5,0	6,2	6,3	BEU	0,21	0,15	0,37	0,34
WER	3,1	5,1	6,0	6,2	WER	0,17	0,21	0,34	0,27
SKN	3,6	5,8	5,4	4,2	SKN	0,19	0,16	0,23	0,31
SKO	4,1	5,8	5,5	5,4	SKO	0,27	0,24	0,41	0,31
FRE	3,7	5,4	5,2	5,2	FRE	0,38	0,13	0,48	0,33
GER	3,6	5,0	6,3	6,8	GER	0,24	0,20	0,76	0,55
RAD	3,3	4,4	3,7	5,9	RAD	0,20	0,18	0,27	0,29

Graskultur 2020: Fluoranthren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	4,9	6,4	4,9	5,2	RÖG	1,4	1,9	4,4	5,3
BEU	2,4	3,2	3,1	4,9	BEU	1,2	2,4	2,2	4,4
WER	2,1	3,8	4,1	4,4	WER	1,3	2,4	3,8	4,8
SKN	2,6	3,7	2,8	3,7	SKN	1,3	2,6	2,1	3,7
SKO	2,9	3,8	3,6	3,7	SKO	2,3	2,8	4,2	4,5
FRE	3,2	3,9	4,4	3,5	FRE	1,9	2,6	4,2	4,2
GER	2,8	3,3	5,3	5,0	GER	1,5	2,3	4,5	6,5
RAD	2,3	2,8	2,6	4,2	RAD	1,7	2,0	3,6	5,0

Graskultur 2020: Benz[a]anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Chrysen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,45	0,73	0,76	0,46	RÖG	0,79	1,12	1,66	1,27
BEU	0,35	0,75	0,79	0,62	BEU	0,51	1,44	1,33	1,64
WER	0,29	0,74	0,56	0,59	WER	0,46	1,25	1,08	1,51
SKN	0,33	0,67	0,61	0,61	SKN	0,54	1,23	1,06	1,39
SKO	0,54	0,83	0,50	0,43	SKO	0,90	1,32	1,31	1,11
FRE	0,47	0,81	0,61	0,34	FRE	0,80	0,94	1,41	0,97
GER	0,48	0,64	0,93	0,42	GER	0,86	1,17	1,74	1,62
RAD	0,38	0,69	0,40	0,52	RAD	0,63	1,03	0,75	1,32

Graskultur 2020: Benzo[b]fluoranthen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Benzo[k]fluoranthen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,92	1,10	1,35	0,94	RÖG	0,39	0,41	0,68	0,58
BEU	0,86	1,12	1,10	1,31	BEU	0,37	0,53	0,60	0,92
WER	0,82	1,79	1,21	1,12	WER	0,33	0,78	0,61	0,77
SKN	0,93	1,71	1,25	1,08	SKN	0,37	0,69	0,58	0,66
SKO	1,09	1,85	1,00	1,01	SKO	0,47	0,72	0,46	0,74
FRE	0,91	1,57	1,11	0,94	FRE	0,39	0,81	0,54	0,67
GER	1,01	1,49	1,77	1,24	GER	0,42	0,68	0,80	0,94
RAD	0,78	0,96	0,55	1,18	RAD	0,35	0,53	0,33	0,89

Graskultur 2020: Benzo[a]pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Dibenz[ah]anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,60	0,53	0,85	0,81	RÖG	0,12	0,10	0,29	0,20
BEU	0,58	0,91	0,85	1,32	BEU	0,13	0,10	0,30	0,27
WER	0,58	1,06	0,68	1,17	WER	0,12	0,17	0,28	0,24
SKN	0,57	1,02	0,66	1,02	SKN	0,12	0,17	0,25	0,10
SKO	0,83	1,04	0,60	1,07	SKO	0,16	0,15	0,20	0,15
FRE	0,63	0,99	0,62	0,84	FRE	0,12	0,13	0,19	0,18
GER	0,61	0,89	0,89	1,29	GER	0,13	0,15	0,35	0,24
RAD	0,53	0,57	0,48	1,24	RAD	0,10	0,13	0,05	0,23
OmH 1.-3. Serie	1,70	OmH 4. Serie	0,80						

Graskultur 2020: Benzo[ghi]perylen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2020: Indeno[123-cd]pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,65	0,59	1,01	0,82	RÖG	0,66	0,51	0,81	0,79
BEU	0,68	0,65	0,91	1,35	BEU	0,68	0,87	0,85	1,34
WER	0,64	1,05	1,09	1,21	WER	0,62	0,98	1,01	1,10
SKN	0,74	1,15	1,04	1,04	SKN	0,65	1,03	0,63	0,95
SKO	1,29	1,41	1,00	1,15	SKO	0,86	1,10	0,72	1,04
FRE	1,01	1,49	0,93	1,04	FRE	0,69	0,21	0,75	0,82
GER	0,71	0,97	1,71	1,25	GER	0,69	0,88	1,27	1,22
RAD	0,66	0,64	0,53	1,19	RAD	0,59	0,66	0,45	1,05

Graskultur 2020: Summe 16 PAK (EPA) [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1					Graskultur 2020: PAK4 [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	20	29	33	34	RÖG	2,8	3,5	4,6	3,5
BEU	17	25	27	33	BEU	2,3	4,2	4,1	4,9
WER	14	28	29	33	WER	2,2	4,8	3,5	4,4
SKN	17	28	25	26	SKN	2,4	4,6	3,6	4,1
SKO	21	30	27	28	SKO	3,4	5,0	3,4	3,6
FRE	19	28	29	27	FRE	2,8	4,3	3,8	3,1
GER	18	26	36	36	GER	3,0	4,2	5,3	4,6
RAD	16	22	21	32	RAD	2,3	3,3	2,2	4,3
OmH 1.-4. Serie	44	OmH 4. Serie	44		OmH 1.-3. Serie	8,6	OmH 4. Serie	8,1	

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG: 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ) sind mit dem halben Wert der BG *kursiv* dargestellt. In 2020 lag nur der Gehalt von Dibenz[ah]anthracen in Serie 3 am Messpunkt RAD unterhalb 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ , alle übrigen PAK-Verbindungen oberhalb BG.

### 7.3 PAK in Graskultur 2022

Graskultur 2022: Naphthalin [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Acenaphtylen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	4,2	3,7	4,8	5,2	RÖG	0,47	0,76	2,03	1,48
BEU	3,3	3,5	4,2	4,8	BEU	0,48	0,57	0,75	1,33
WER	3,8	4,4	4,5	4,2	WER	0,49	0,84	1,41	2,08
SKN	4,1	4,7	4,8	4,8	SKN	0,76	0,69	0,83	1,09
SKO	3,5	4,7	3,7	4,8	SKO	0,59	0,76	0,63	0,65
FRE	3,9	5,1	3,8	5,9	FRE	0,78	0,95	1,06	0,90
GER	3,9	3,9	4,0	5,1	GER	0,60	0,65	0,79	1,17
RAD	3,6	4,5	4,6	4,9	RAD	0,38	0,56	0,84	0,82

Graskultur 2022: Acenaphthen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Fluoren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,31	0,43	1,35	1,23	RÖG	1,28	1,96	2,11	2,49
BEU	0,38	0,52	0,61	0,81	BEU	1,57	1,77	2,71	2,45
WER	0,25	0,60	0,84	0,61	WER	1,07	1,52	1,84	2,89
SKN	0,34	0,37	0,59	0,40	SKN	1,68	1,85	2,09	1,98
SKO	0,33	0,45	0,39	0,49	SKO	1,36	1,95	1,72	1,59
FRE	0,19	0,47	0,41	0,48	FRE	1,39	1,39	1,08	1,16
GER	0,38	0,45	0,66	0,56	GER	1,49	1,51	2,05	2,16
RAD	0,30	0,50	0,57	0,43	RAD	0,80	1,63	1,88	2,01

Graskultur 2022: Phenanthren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	4,5	5,2	6,2	6,8	RÖG	0,17	0,31	0,75	0,60
BEU	4,8	3,9	5,1	8,5	BEU	0,17	0,15	0,19	0,57
WER	4,0	4,8	6,8	7,2	WER	0,22	0,21	0,46	0,49
SKN	4,3	5,8	5,1	5,4	SKN	0,12	0,16	0,18	0,26
SKO	4,6	4,3	4,7	5,0	SKO	0,16	0,18	0,22	0,35
FRE	3,9	4,0	4,7	5,9	FRE	0,20	0,15	0,40	0,42
GER	4,7	3,9	6,1	6,9	GER	0,26	0,15	0,51	0,79
RAD	2,9	4,1	4,2	6,3	RAD	0,18	0,17	0,37	0,45

Graskultur 2022: Fluoranthren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	5,1	4,0	5,1	5,0	RÖG	2,0	1,7	3,4	5,5
BEU	3,2	3,1	3,0	6,0	BEU	1,7	2,1	2,5	4,7
WER	2,9	3,2	5,2	4,8	WER	1,8	2,2	3,7	4,7
SKN	3,5	3,7	3,4	4,2	SKN	1,9	2,6	2,7	3,0
SKO	3,1	2,5	3,7	4,1	SKO	2,4	2,0	4,1	5,0
FRE	3,0	2,6	3,0	3,3	FRE	1,7	1,9	3,1	3,8
GER	3,4	2,6	4,0	6,0	GER	2,1	1,7	3,4	5,3
RAD	1,9	2,6	3,1	3,6	RAD	1,5	1,9	4,5	4,0

Graskultur 2022: Benzo[a]anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Chrysen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,60	0,51	0,83	0,61	RÖG	0,93	1,08	1,63	1,27
BEU	0,47	0,47	0,49	1,03	BEU	0,67	1,09	1,22	2,25
WER	0,40	0,55	0,63	0,54	WER	0,63	0,96	1,31	1,34
SKN	0,47	0,67	0,62	0,59	SKN	0,77	1,23	1,03	1,22
SKO	0,61	0,49	0,47	0,56	SKO	0,96	0,97	1,32	1,33
FRE	0,45	0,46	0,49	0,43	FRE	0,67	0,85	1,27	1,25
GER	0,63	0,47	0,58	0,62	GER	0,98	0,86	1,45	1,74
RAD	0,30	0,57	0,62	0,79	RAD	0,49	0,93	1,05	1,79

Graskultur 2022: Benzo[b]fluoranthen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Benzo[k]fluoranthen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,84	0,91	1,91	1,06	RÖG	0,45	0,36	1,03	0,69
BEU	0,92	1,03	1,02	1,86	BEU	0,47	0,43	0,50	1,36
WER	0,87	1,05	1,49	1,24	WER	0,45	0,70	0,84	0,93
SKN	1,20	1,71	1,62	1,36	SKN	0,48	0,69	0,76	0,53
SKO	1,04	0,96	1,28	1,26	SKO	0,56	0,51	0,69	0,83
FRE	0,64	0,94	1,46	1,04	FRE	0,41	0,60	0,86	0,78
GER	1,19	1,03	0,83	1,18	GER	0,55	0,55	0,67	0,84
RAD	0,65	0,87	0,91	1,58	RAD	0,30	0,55	0,67	1,11

Graskultur 2022: Benzo[a]pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Dibenzo[ah]anthracen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,48	0,45	1,17	0,95	RÖG	0,12	0,05	0,10	0,26
BEU	0,63	0,72	0,80	1,65	BEU	0,15	0,05	0,05	0,46
WER	0,59	0,67	1,04	1,42	WER	0,10	0,05	0,13	0,19
SKN	0,76	1,02	0,49	0,94	SKN	0,16	0,17	0,05	0,13
SKO	0,91	0,68	0,72	1,14	SKO	0,22	0,11	0,10	0,14
FRE	0,38	0,59	0,95	0,81	FRE	0,05	0,20	0,05	0,23
GER	0,71	0,65	0,55	0,94	GER	0,17	0,05	0,10	0,30
RAD	0,51	0,51	0,63	1,36	RAD	0,05	0,05	0,05	0,27
OmH 1.-3. Serie	1,70	OmH 4. Serie	0,80						

Graskultur 2022: Benzo[ghi]perylen [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1					Graskultur 2022: Indeno[123-cd]pyren [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	0,76	0,53	0,61	0,95	RÖG	0,71	0,43	0,53	0,97
BEU	0,81	1,11	0,68	2,07	BEU	0,77	0,71	0,63	2,03
WER	0,87	0,96	0,91	1,33	WER	0,86	0,82	0,78	1,31
SKN	0,91	1,15	0,67	0,83	SKN	1,00	1,03	0,45	0,85
SKO	1,06	1,27	0,81	1,01	SKO	0,99	0,94	0,65	0,96
FRE	0,48	1,30	0,51	1,26	FRE	0,43	0,98	0,53	0,86
GER	0,93	0,87	0,63	0,99	GER	0,88	0,71	0,42	0,90
RAD	0,56	0,72	0,67	1,20	RAD	0,48	0,60	0,41	1,33

Graskultur 2022: Summe 16 PAK (EPA) [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze je PAK: 0,1					Graskultur 2022: PAK4 [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] Bestimmungsgrenze: 0,1				
Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie	Messpunkt	1. Serie	2. Serie	3. Serie	4. Serie
RÖG	23	22	34	35	RÖG	2,9	3,0	5,5	3,9
BEU	21	21	24	42	BEU	2,7	3,3	3,5	6,8
WER	19	23	32	35	WER	2,5	3,2	4,5	4,5
SKN	22	28	25	28	SKN	3,2	4,6	3,8	4,1
SKO	22	23	25	29	SKO	3,5	3,1	3,8	4,3
FRE	19	23	24	29	FRE	2,1	2,8	4,2	3,5
GER	23	20	27	36	GER	3,5	3,0	3,4	4,5
RAD	15	21	25	32	RAD	2,0	2,9	3,2	5,5
OmH 1.-4. Serie	44	OmH 4. Serie	44		OmH 1.-3. Serie	8,6	OmH 4. Serie	8,1	

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG: 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ) sind mit dem halben Wert der BG *kursiv* dargestellt. In 2022 lagen nur Gehalte von Dibenzo[ah]anthracen teilweise unterhalb 0,1  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ , alle übrigen PAK-Verbindungen oberhalb BG.