

# Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld mit standardisierten Graskulturen 2015

Gutachterliche Bewertung im Vergleich zum Graskultur-Biomonitoring 2012 und 2013, einschließlich  
Kurzzusammenfassung des Grünkohl-Biomonitoring der Untersuchungsjahre 2011 und 2012





Titelbild: Standardisierte Graskulturen am Messpunkt Flughafen Südbahn Ost 2015

Copyright Foto: G. Wicker, LIGATUR



## Zusammenfassung

### **Das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld**

Das Biomonitoring dient dazu, mögliche Veränderungen der Umwelt nach Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg zu dokumentieren: Welchen Einfluss auf die Umwelt hat der Luftverkehr bereits heute und wie wird sich dies gegebenenfalls verändern? Aus diesem Grund wurde das Untersuchungsprogramm deutlich vor Inbetriebnahme des BER begonnen. Beim Biomonitoring werden im Untersuchungsgebiet im weiteren Umfeld um den Flughafen Berlin Schönefeld *Immissionswirkungen* von ausgewählten Metallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und deren räumliche Verteilung untersucht. Die Fragestellung: wie reichern sich Luftschadstoffe in der Umwelt an, wie wirken sie auf Pflanzen, die als Lebensmittel oder Futtermittel genutzt werden? Im Herbst 2011 wurden zu diesem Zweck genormte Grünkohlkulturen an zehn Messpunkten im Untersuchungsgebiet aufgestellt. Sie wurden unmittelbar am Flughafen, an der Autobahn, in und nahe Siedlungen und in landwirtschaftlichem Areal platziert, nach acht Wochen geerntet und im Labor analysiert. Zwei Messpunkte wurden in ausreichendem Abstand vom Flughafen, von Siedlungen und Straßen aufgestellt, um die allgemeine Hintergrundbelastung in der Region zu messen. Im Herbst 2012 wurde das Grünkohl-Biomonitoring wiederholt und zuvor im Mai mit einem Graskultur-Biomonitoring an drei Messpunkten ergänzt. Im Jahr 2013 wurde das Biomonitoring mit standardisierten Graskulturen im Mai, Juni und Juli an zehn Messpunkten fortgesetzt. Nachdem die Immissionswirkungen unmittelbar an der Autobahn bis 2012 hinreichend charakterisiert waren, wurde der dortige Messpunkt durch einen anderen in einer Siedlung ersetzt. Schwerpunkt des vorliegenden Berichts bildet das Graskultur-Biomonitoring 2015, das die Sanierung der nördlichen Start- und Landebahn und zeitgleiche Nutzung der Südbahn begleitete. Durch den Vergleich mit aktuellen nationalen Untersuchungen, mit Beurteilungswerten und mit Prüfwerten für Lebensmittel und Futtermittel können die Ergebnisse bewertet werden. Mit Hilfe von Biomonitoring wird auch das Gefährdungspotenzial für den Menschen ableitbar.

### **Die Ergebnisse im Messpunktevergleich**

Die Metallergebnisse waren sehr einheitlich und unauffällig. Ihr Ursprung lässt sich keiner Quelle zuordnen. Nur Antimon- und Chromimmissionswirkungen waren 2011 und 2012 unmittelbar an der Autobahn A113 deutlich über den Hintergrundbereich erhöht, sowie 2012 auch östlich der damals nicht im Betrieb befindlichen Südbahn. Dies war bedingt durch den Kfz-Verkehr. Hinsichtlich Arsen und Blei zeigten sich beim Grünkohl-Biomonitoring Abstufungen, allerdings trat in Grünkohl wie auch beim Graskultur-Biomonitoring kein Messpunkt deutlich hervor. In standardisierten Graskulturen wurden sämtlich niedrige Gehalte gemessen, typisch für den Hintergrundbereich abseits von Immissionseinflüssen. Lediglich Arsengehalte im Juli 2013 sowie Nickelgehalte 2013 und 2015 lagen im Bereich der Schwelle, die den ländlichen Hintergrund gegenüber Immissionseinflüssen abgrenzt, und die PAK-Gehalte im Mai 2012 und 2013 übertrafen diese Schwelle am Flughafen, in Siedlungen und im ländlichen Bereich gleichermaßen. Die PAK-Gehalte in Grünkohl waren im Herbst 2011 ebenfalls an den meisten Messpunkten im Untersuchungsgebiet als immissionsbeeinflusst zu werten und lagen in einem Bereich, der als typisch für innerörtliche PAK-Immissionswirkungen gilt. PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, also Kohle, Kraftstoffen, Holz oder Tabak.

Neben Kfz-Verkehr kommt der Einfluss häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen als vornehmliche PAK-Ursache in Frage. Im Jahr 2012 lagen die PAK-Ergebnisse in Grünkohl im Hintergrundbereich.

### **Die Ergebnisse im Vergleich 2011 bis 2015**

Bei zahlreichen Immissionsuntersuchungen in Deutschland waren aufgrund einer rund vier Wochen andauernden Trockenperiode im November 2011 u.a. überdurchschnittliche Feinstaubeträge zu beobachten. Die Trockenheit führte zu vermehrten Staubablagerungen auch auf den Grünkohlblättern, die nicht wie normalerweise durch Niederschläge abgewaschen wurden. Zudem war der Zeitraum Oktober und November 2011 durch eine Häufung von Ostwindlagen geprägt, verbunden mit Ferntransport von Luftschadstoffen aus östlichen Regionen und auch aus Polen. Diese Faktoren liefern eine plausible Erklärung für die deutlich höheren Gehalte an Antimon, Arsen, Blei, Chrom und PAK in Grünkohl 2011 im Vergleich zum Messabschnitt 2012. Im Mai 2012 und 2013 herrschten mit dem Frühherbst vergleichbare kühle Temperaturen, die wohl den Betrieb häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen nötig machten und den saisonalen Unterschied zwischen den immissionsbeeinflussten PAK-Werten in Graskulturen im Mai und den nachfolgenden Monaten im Bereich des unbeeinflussten ländlichen Hintergrunds erklären. Beim Biomonitoring 2015 lagen die Luftschadstoffgehalte in Graskulturen unterhalb bis maximal im Bereich der Schwelle für Immissionseinflüsse. Der Wechsel des Flugbetriebs von der Nord- auf die Südbahn hatte keinen relevanten Einfluss.

### **Die Ergebnisse im Vergleich mit anderen Biomonitoring-Untersuchungen**

Die lokalen Hintergrundgehalte waren mit niedrigen Werten aus anderen Untersuchungen gut vergleichbar, z. B. mit dem verfahrensgleichen Biomonitoring in der ländlichen Region um den Flughafen München oder an Hintergrundmesspunkten emittentenbezogener Untersuchungen in Bayern.

### **Die Ergebnisse im Vergleich zu Prüfwerten für eine Gefährdungsbeurteilung**

Wie in den Vorjahren war auch beim Biomonitoring 2015 nicht von einem vorhandenen Gefährdungspotenzial auszugehen: Die Metallergebnisse in Grünkohlkulturen lagen deutlich unter Prüfwerten und Höchstgehalten für Lebensmittel, die in Graskulturen deutlich unter denen für Futtermittel entsprechender Richtlinien und Verordnungen. Für Gemüse und für Futtermittel bestehen für PAK keine gesetzlichen Höchstgehalte. Die PAK-Werte des Biomonitoring im Umfeld um den Flughafen Berlin Schönefeld waren aber mit denen, die im Hintergrundbereich und innerorts auftreten, vergleichbar.

### **Fazit und Ausblick**

Das Graskultur-Biomonitoring 2015 bestätigte die Ergebnisse des Biomonitoring seit 2011, die ergaben, dass der Flughafen Berlin Schönefeld keinen relevanten Einfluss auf die Luftschadstoffwirkungen in der Region hat. Die Ergebnisse des freiwilligen Biomonitorings werden nach Durchführung des Umwelt-Untersuchungsprogramms jährlich für den interessierten Laien aufbereitet veröffentlicht und das Biomonitoring wird auch nach Eröffnung des BER fortgesetzt.

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	5
Inhaltsverzeichnis .....	7
Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis .....	11
Danksagung .....	12
1 Einleitung .....	13
1.1 Luftgüte-Untersuchungsprogramm des Flughafens Berlin Schönefeld.....	13
1.2 Typische Luftschadstoffe aus dem Flughafenbetrieb und wie sie in die Umwelt gelangen .....	13
1.3 Biomonitoring zur Bewertung von Luftschadstoffwirkungen.....	14
1.3.1 Aussagemöglichkeiten - Hintergrund- , Orientierungs- und Prüfwerte.....	15
1.3.2 Zielsetzungen des Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld .....	19
1.3.3 Vorgehen .....	19
1.3.4 Bisherige Ergebnisse.....	20
1.3.5 Zielsetzung des Biomonitoring mit standardisierten Graskulturen 2015 .....	21
2 Untersuchungsgebiet und Messpunkte .....	23
2.1 Begriffsdefinitionen .....	23
2.2 Festlegung von Untersuchungsgebiet und Messpunkten .....	24
2.2.1 Untersuchungsgebiet.....	24
2.2.2 Berücksichtigung von Einflussfaktoren.....	24
2.2.3 Anforderungen an die Messpunkteauswahl .....	26
2.3 Messpunktebeschreibung.....	27
3 Stoffe und Methoden .....	43
3.1 Untersuchte Stoffe .....	43
3.2 Parallelexposition zur Ermittlung der Verfahrensstreuung .....	46
3.3 Biomonitoring-Verfahren.....	46
3.3.1 Verfahren der standardisierten Graskultur .....	47
3.3.2 Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl.....	48
3.4 Analysenverfahren.....	50
4 Ergebnisse .....	51

4.1	Witterungseinflüsse .....	52
4.1.1	Windrichtung und Windgeschwindigkeit .....	52
4.1.2	Niederschlagsmengen .....	55
4.2	Verfahrensstreuung .....	56
4.3	Antimongehalte in standardisierter Graskultur .....	58
4.4	Arsengehalte in standardisierter Graskultur .....	61
4.5	Bleigehalte in standardisierter Graskultur.....	66
4.6	Cadmiumgehalte in standardisierter Graskultur .....	71
4.7	Chromgehalte in standardisierter Graskultur .....	75
4.8	Kupfergehalte in standardisierter Graskultur .....	80
4.9	Nickelgehalte in standardisierter Graskultur.....	83
4.10	Quecksilbergehalte in standardisierter Graskultur .....	88
4.11	Zinkgehalte in standardisierter Graskultur.....	91
4.12	PAK-Gehalte in standardisierter Graskultur .....	96
4.13	Ergebnisse des Grünkohl-Biomonitoring 2011 und 2012.....	102
5	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse.....	109
6	Abkürzungen.....	115
7	Glossar.....	117
8	Literatur.....	121
8.1	Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften.....	121
8.2	Technische Regeln .....	122
8.3	Literatur.....	123
8.4	Weitere Vergleichsuntersuchungen.....	126
9	Anhang: 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen .....	127
9.1	Tabellarische Darstellung der 16 EPA-PAK in Graskulturen.....	127

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1.2-1: Wie gelangen die Schadstoffe in die Umwelt?.....	14
Bild 2.3-1: Lage der Biomonitoring-Messpunkte .....	30
Bild 2.3-2: Messpunkt MP1 / MP1p Flughafen Südost (FOS) (Foto: G. Wicker LIGATUR) .....	31
Bild 2.3-3: Messpunkt MP2 Flughafen Autobahn (FOA, bis 2012) .....	32
Bild 2.3-4: Messpunkt MP3 Flughafen Waltersdorf (FOW) .....	33
Bild 2.3-5: Messpunkt MP4 und MP4P Referenz Zülowniederung (RZN) .....	34
Bild 2.3-6: Messpunkt MP5 Flughafen Südwest (FWS) .....	35
Bild 2.3-7: Messpunkt MP6 Flughafen Mahlow (FWM) .....	36
Bild 2.3-8: Referenzmesspunkt MP7 Referenz Genshagen (RGÜ) .....	37
Bild 2.3-9: Messpunkt MP8 Kontrolle Südbahn Rotberg (KSR) .....	38
Bild 2.3-10: Messpunkt MP9 Siedlung Schönefeld (SSN) (Copyright: G. Wicker LIGATUR) .....	39
Bild 2.3-11: Messpunkt MP10 Kontrolle Waßmannsdorf (KNW).....	40
Bild 2.3-12: Messpunkt MP11 Siedlung Schulzendorf (SSS) (Copyright: G. Wicker LIGATUR) .....	41
Bild 3.3-1: Standardisierte Graskultur bei Exposition (Copyright G. Wicker LIGATUR) .....	47
Bild 3.3-2: Standardisierter Grünkohl - vereinfachte schematische Skizze (nach Wäber 1999) .....	48
Bild 3.3-3: Probenahme von Grünkohl (Copyright G. Wicker LIGATUR).....	49
Bild 4.1-1: Windverteilung 4.6.-1.7.2015 .....	53
Bild 4.1-2: Windverteilung 2.7.-29.7.2015 .....	53
Bild 4.1-3: Windverteilung 30.7.-26.8.2015 .....	53
Bild 4.1-4: Windverteilung 8.5.-4.6.2013 .....	54
Bild 4.1-5: Windverteilung 5.6.-4.7.2013 .....	54
Bild 4.1-6: Windverteilung 5.7.-4.8.2013 .....	54
Bild 4.3-1: Antimon in standardisierten Graskulturen 2015.....	59
Bild 4.3-2: Antimon in standardisierten Graskulturen 2013.....	59
Bild 4.4-1: Arsen in standardisierten Graskulturen 2015.....	63
Bild 4.4-2: Arsen in standardisierten Graskulturen 2013.....	63
Bild 4.4-3: Arsen in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich.....	64
Bild 4.5-1: Blei in standardisierten Graskulturen 2015 .....	68
Bild 4.5-2: Blei in standardisierten Graskulturen 2013 .....	68

Bild 4.5-3: Blei in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich .....	69
Bild 4.6-1: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2015.....	73
Bild 4.6-2: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2013.....	73
Bild 4.6-3: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich.....	74
Bild 4.7-1: Chrom in standardisierten Graskulturen 2015 .....	77
Bild 4.7-2: Chrom in standardisierten Graskulturen 2013 .....	77
Bild 4.7-3: Chrom in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich .....	78
Bild 4.8-1: Kupfer in standardisierten Graskulturen 2015 .....	81
Bild 4.9-1: Nickel in standardisierten Graskulturen 2015 .....	85
Bild 4.9-2: Nickel in standardisierten Graskulturen 2013 .....	85
Bild 4.9-3: Nickel in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich .....	86
Bild 4.10-1: Quecksilber in standardisierten Graskulturen 2015 .....	89
Bild 4.11-1: Zink in standardisierten Graskulturen 2015 .....	93
Bild 4.11-2: Zink in standardisierten Graskulturen 2013 .....	93
Bild 4.11-3: Zink in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich .....	94
Bild 4.12-1: Summen der 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2015.....	98
Bild 4.12-2: Summen der 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2012 und 2013 .....	98
Bild 4.12-3: 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich .....	99
Bild 4.13-1: Antimon und Chrom in Grünkohl 2011 und 2012 - Messpunktevergleich .....	105
Bild 4.13-2: PAK in Grünkohl 2011 und 2012 - Messpunktevergleich .....	105
Bild 4.13-1: PAK-Gehalte in Graskulturen 2012 und 2013 als integrierte Balkendiagramme im Untersuchungsgebiet.....	112
Bild 4.13-2: PAK-Gehalte in Graskulturen 2015 als integrierte Balkendiagramme im Untersuchungsgebiet.....	113

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.3-1: Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierten Graskulturen .....	18
Tabelle 1.3-2: Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierter Grünkohl-Exposition.....	18
Tabelle 2.3-1: Messpunkte - Bezeichnung und Kurzbeschreibung.....	28
Tabelle 2.3-2: Lokalisierung der Biomonitoring-Messpunkte (via GPS und WGS84).....	29
Tabelle 3.1-1: Untersuchte 16 EPA-PAK .....	45
Tabelle 4.1-1: Niederschlagsmengen während des Graskultur-Biomonitorings 2013 und 2015.....	55
Tabelle 4.2-1: Variabilität der Stoffgehalte aus Graskultur-Paralleleexposition .....	56
Tabelle 4.2-2: Analytische Messunsicherheit – Metall-Doppelbestimmung MP4 und MP4p.....	57
Tabelle 4.3-1: Antimon - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen.....	60
Tabelle 4.4-1: Arsengehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	61
Tabelle 4.4-2: Arsengehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	61
Tabelle 4.4-3: Arsen - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen.....	64
Tabelle 4.5-1: Bleigehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	66
Tabelle 4.5-2: Bleigehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	66
Tabelle 4.5-3: Blei - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	69
Tabelle 4.6-1: Cadmiumgehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	71
Tabelle 4.6-2: Cadmiumgehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	71
Tabelle 4.6-3: Cadmium - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	74
Tabelle 4.7-1: Chromgehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	75
Tabelle 4.7-2: Chromgehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	75
Tabelle 4.7-3: Chrom - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	78
Tabelle 4.8-1: Kupfergehalte in standardisierten Graskulturen 2015.....	80
Tabelle 4.8-2: Kupfer - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	81
Tabelle 4.9-1: Nickelgehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	83
Tabelle 4.9-2: Nickelgehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	83
Tabelle 4.9-3: Nickel - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	86
Tabelle 4.10-1: Quecksilbergehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	88
Tabelle 4.10-2: Quecksilber - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	89
Tabelle 4.11-1: Zinkgehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	91

Tabelle 4.11-2: Zinkgehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	91
Tabelle 4.11-3: Zink - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	94
Tabelle 4.12-1: Summe der 16 EPA-PAK - Gehalte in standardisierten Graskulturen 2015 .....	96
Tabelle 4.12-2: Summe der 16 EPA-PAK - Gehalte in standardisierten Graskulturen 2013 .....	96
Tabelle 4.12-3: 16 EPA-PAK - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen .....	99
Tabelle 4.13-1: Metall- und PAK-Gehalte in Grünkohl bei der Exposition 2011 und 2012 .....	102
Tabelle 9.1-1: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juni 2015 .....	127
Tabelle 9.1-2: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juli 2015 .....	127
Tabelle 9.1-3: PAK-Gehalte in Graskulturen im August 2015 .....	128
Tabelle 9.1-4: PAK-Gehalte in Graskulturen im Mai 2013 .....	128
Tabelle 9.1-5: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juni 2013 .....	129
Tabelle 9.1-6: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juli 2013 .....	129
Tabelle 9.1-7: PAK-Gehalte in Graskulturen an 3 Messpunkten im Mai 2012 .....	130

## Danksagung

Unser Dank gilt:

- den umliegenden Gemeinden und ihren Vertretern sowie der Agrargenossenschaft Groß Machnow und dem Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg für die Messpunkt-Nutzungsgenehmigungen,
- dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) für die Niederschlagsdaten und Winddarstellungen,
- dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (BayLfU) und
- dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) sowie
- der Flughafen München GmbH für Biomonitoring-Vergleichsdaten,
- den Bürgern für Schutz und Aufmerksamkeit gegenüber den Gras- und Grünkohlexponaten und
- allen Beteiligten an der Astrid-Lindgren-Grundschule Schönefeld und der
- Grundschule Schulzendorf.

Vielen Dank, dass Sie zur Durchführung des Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld beigetragen haben!

## 1 Einleitung

### 1.1 Luftgüte-Untersuchungsprogramm des Flughafens Berlin Schönefeld

Die Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) hat im Jahr 2011 ein Umwelt-Untersuchungsprogramm ins Leben gerufen: <http://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/index.php>.

Es zielt darauf ab, die Luftqualität und die Umweltwirkungen des Luftverkehrs langfristig zu beobachten. Mit einer Messstelle analysiert die FBB die Luftgüte auf dem Gelände des Flughafens Berlin Schönefeld auf luftverkehrstypische Schadstoffe. Die Veröffentlichung der Ergebnisse erfolgt durch das Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV).



Ein weiterer Baustein des Programms ist ein Bienenmonitoring, in dessen Rahmen Honig, Pollen und Waben aus dem Umfeld des Flughafens auf Luftschadstoffe untersucht werden: <http://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/bienenmonitoring/index.php>.

Dritter Baustein des Umwelt-Untersuchungsprogramms ist ein **Biomonitoring**: Luftschadstoffanreicherungen werden in lebenden Organismen, den **Bioindikatoren** untersucht und geben über die Verbreitung von Luftschadstoffen durch den Luftverkehr und deren **Wirkungen** auf die Umwelt im Umfeld des Flughafens Schönefeld Aufschluss. Das Biomonitoring wurde in den Jahren 2011 und 2012 mit Grünkohl sowie 2012 und 2013 mit Graskulturen durchgeführt. Schwerpunkt des vorliegenden Berichts bildet das Biomonitoring mit Graskulturen 2015, das die Nordbahn-Sanierung und zeitgleiche Nutzung der südlichen Start- und Landebahn begleitete. Das Untersuchungsprogramm wird über die Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg (BER) hinaus fortgeführt, um mögliche Veränderungen der Luftgüte und Umweltwirkungen im Flughafenumfeld zu dokumentieren.

### 1.2 Typische Luftschadstoffe aus dem Flughafenbetrieb und wie sie in die Umwelt gelangen

Beim Betrieb eines Flughafens werden Luftschadstoffe freigesetzt: bei Starts und Landungen und dem mit dem Flughafenbetrieb verbundenen Kfz-Verkehr.

Neben dem Flughafenbetrieb gibt eine Vielzahl von Quellen unerwünschte Stoffe in die Umgebungsluft ab (**Emissionen**): Verkehr, industrielle Prozesse, Landwirtschaft, Hausfeuerungsanlagen etc.. Die Schadstoffe können in der Luft sehr weiträumig transportiert werden und unterliegen dabei Umwandlungsprozessen (**Transmissionen**). Wo und wie die Luftschadstoffe in die Umwelt eingetragen werden (**Depositionen**) und sich anreichern und wirken (**Immissionswirkungen**), hängt von ihren Eigenschaften, der Witterung, dem Gelände, der Vegetation und weiteren Faktoren ab. Die **Immissionen** können gasförmig, als feste Partikel trocken oder mit dem Niederschlag in Gewässer, Böden und Or-

ganismen gelangen (siehe Bild 1.2-1). Die Vielzahl der vorkommenden Luftschadstoffe kann vielfältige **Wirkungen** hervorrufen.

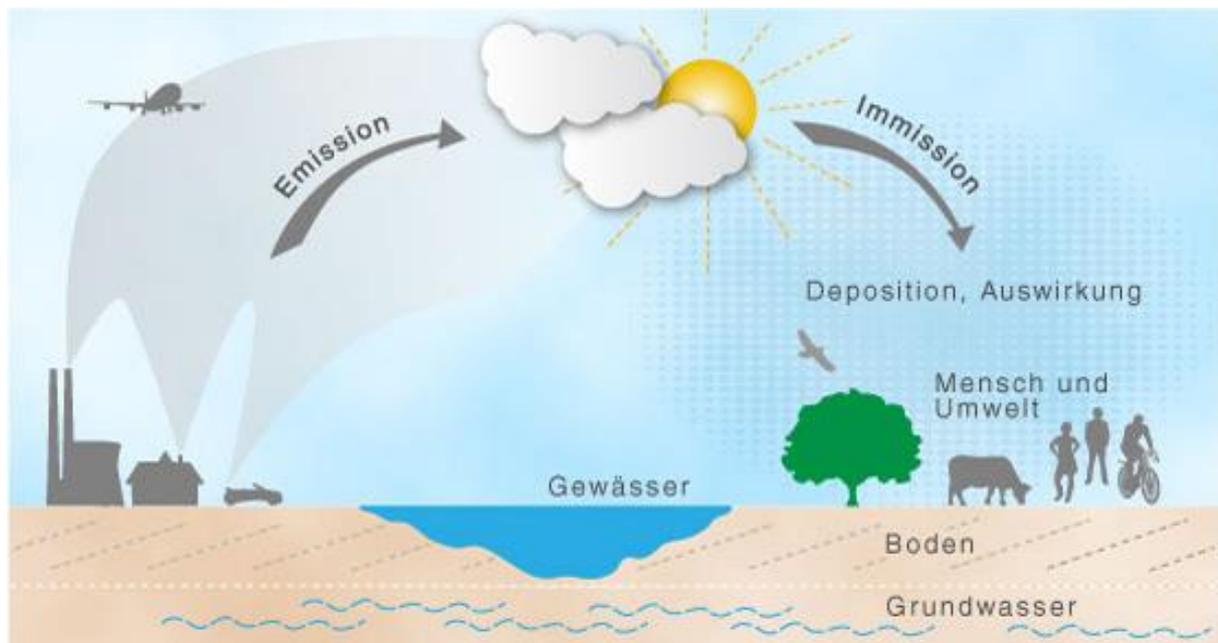


Bild 1.2-1: Wie gelangen die Schadstoffe in die Umwelt?

Copyright Grafik: M. Wäber, UMW Umweltmonitoring

### 1.3 Biomonitoring zur Bewertung von Luftschadstoffwirkungen

Das Biomonitoring wurde nach den Vorgaben des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) durchgeführt, die den wissenschaftlichen Standard der Methode und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse sicherstellen. Die etablierten **Biomonitoring**-Verfahren mit Pflanzen und die zugehörigen Beurteilungswerte sind in den VDI-Richtlinienreihen 3857 und 3957 festgelegt. Standardisierte Graskultur und standardisierte Grünkohl-Exposition (VDI 3957/2 Entwurf 2013 und VDI 3957/3 2008) liefern vergleichbar zuverlässig belastbare Ergebnisse, wie die Immissionsmesstechnik. Die **Bioindikatoren** messen aber nicht Immissionen, also Luftschadstoffkonzentrationen. Vielmehr können sie als einzige die Auswirkungen von Emissionen, auf die die Luftreinhaltepolitik der EU und das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) abzielen, als **Immissionswirkungen** direkt überwachen (VDI 3957/1 2014). Diese Wirkungen können anders - auch stärker - ausfallen als Emissions- oder Immissionsmessungen der Luft erwarten lassen, weil äußere Einflüsse, wie Klima und Messpunktfaktoren, und das Zusammenwirken verschiedener Schadstoffe einbezogen werden (Wäber 1996; 1999). Mit den Biomonitoring-Verfahren kann die zeitliche und räumliche Verteilung der Wirkungen bestimmt und die Gefährdung von Pflanzen und – über die Nahrungskette – von Tier und Mensch bewertet werden.

Immissionswirkungen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und den Spuren- und Schwermetallen Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink sind Untersuchungsgegenstand des Biomonitorings im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld. Diese umweltgiftigen (ökotoxischen) Stoffe stammen vorrangig aus Verbrennungsprozessen, z. B. aus Industrie, häuslicher Kleinf Feuerung (Hausbrand), Bahn-, Kfz- und Flugverkehr, sowie z. B. aus Reifenabrieb und Staubverwehungen. Sie können auf den Menschen gesundheitsschädlich wirken.

Graskulturen als Stellvertreter von Futtermitteln und Grünkohl als Stellvertreter von Lebensmitteln z. B. werden an unterschiedlichen Standorten in einem **Untersuchungsgebiet** der Umweltsituation ausgesetzt (in Kulturtöpfen aufgestellt = **aktives Biomonitoring**). Die Bioindikatoren kämmen die Schadstoffe wie eine Bürste aus der Luft. Das Blattmaterial wird dann nach einem definierten Zeitraum geerntet und im Labor spurenanalytisch auf die Gehalte an Luftschadstoffen untersucht.

Beim aktiven Biomonitoring werden aktuelle Immissionswirkungen auf die Bioindikatorpflanzen gemessen, die stellvertretend für die Vegetation bewertet werden. Weitere Aussagemöglichkeiten und Vorteile von aktivem Biomonitoring – im Vergleich zu passivem Biomonitoring, der Beprobung am Messpunkt wachsender Pflanzen – sind (VDI 3957/1, 2014):

- Die Messpunkte können frei gewählt werden.
- Der Einfluss messpunktbedingter Bodeneigenschaften kann ausgeschlossen werden.
- Es wird einheitlich standardisiertes Pflanzenmaterial beprobt (nicht Grünlandaufwuchs und Feldfrüchte mit „Vorgeschichte“).
- Unterschiedlichen Messpunkte können unmittelbar miteinander verglichen werden, weil der Einfluss dortiger Vorbelastungen (Schadstoffe im Boden) vermieden wird.
- Dies ermöglicht eine bessere zeitliche und räumliche Vergleichbarkeit der Messpunkte.

### 1.3.1 Aussagemöglichkeiten - Hintergrund- , Orientierungs- und Prüfwerte

Das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Schönefeld orientiert sich an den Vorgaben für emittentenbezogene Untersuchungen gemäß VDI-Richtlinie 3957 Blatt 10 (2004, in Überarbeitung) und Orientierungs- und **Prüfwerte** gemäß VDI-Richtlinien 3857 und 3957 jeweils Blatt 2 (2014 und Entwurf 2013). Es dient dazu, um folgende Fragen zu klären (AK B/W 1999, VDI 3957/10 2004):

1. Sind im Emittentenumfeld die untersuchten Stoffe in den Bioindikatoren nachweisbar?
2. Sind die Stoffgehalte an unterschiedlichen Messpunkten unterschiedlich hoch?
3. In welcher räumlichen Ausdehnung sind sie feststellbar?
4. Liegen die Stoffgehalte im **Hintergrund**bereich, oder Normalbereich vereinzelt immissionsbeeinflusst, oder sind sie systematisch **immissionsbedingt** erhöht?
5. Können Immissionswirkungen auf den/die untersuchten Emittenten zurückgeführt werden?
6. Wie hoch sind sie im Vergleich mit Vergleichswerten aus anderen Untersuchungsgebieten?

7. Ist aufgrund der mittels Biomonitoring gemessenen Immissionswirkungen von einer Beeinflussung oder Gefährdung von Mensch oder Tier auszugehen (Gefährdungspotenzial)? Hierzu werden die Stoffgehalte in den Bioindikatoren auf Orientierungs- und Prüfwerte zur Beurteilung bezogen.
8. Wie entwickeln sich die Stoffgehalte und Immissionswirkungen längerfristig.

Stoffgehalte im Bioindikator Graskultur werden in mg (Milligramm) oder µg (Mikrogramm: 1 Tausendstel mg) pro Kilogramm **TM (Trockenmasse)** angegeben. Werden sie mit Vergleichs-, Orientierungs- und Prüfwerten in Bezug gesetzt, werden diese Beurteilungswerte auf 100 % TM bezogen.

Stoffgehalte im Bioindikator Grünkohl werden ebenfalls in mg oder µg pro kg Trockenmasse bezogen auf 100 % TM angegeben und so mit entsprechenden Beurteilungswerten in Bezug gesetzt. Werden sie mit Prüfwerten für Lebensmittel verglichen, werden Stoffgehalte im Bioindikator auf Frischmasse (FM) zurückgerechnet: 1 mg/kg TM entsprechen etwa 1/6 mg/kg FM bei Grünkohl (TM:FM = 1:6).

### Hintergrundbereich

An den lokalen Referenzmesspunkten, die als **Hintergrundmesspunkte** die typische Hintergrundsituation im weiteren Umfeld des Flughafens Schönefeld repräsentieren (vgl. Kapitel 2) wird der **Hintergrundbereich** von Immissionswirkungen erfasst: an den Referenzmesspunkten MP4 / MP4p und MP7 RGÜ. Durch Hintergrundwerte aus anderen Untersuchungen können die Aussagen unterstützt werden.

### Orientierungswerte OmH

Neben den internen Referenzwerten werden primär aktuelle Orientierungswerte für die Bewertung herangezogen – neben aktuellen Vergleichswerten anderer Untersuchungen. Im vom Bayerischen Landesamt für Umwelt erstmals publizierten Bewertungsverfahren (BayLfU 2009) werden „**Orientierungswerte** für maximale Hintergrundgehalte“ (**OmH**) als Beurteilungswerte ermittelt. „Einzelwerte unterhalb des OmH werden als normal hinsichtlich der ländlichen bayerischen Hintergrundbelastung betrachtet. Überschreitet ein einzelnes zu bewertendes Analyseergebnis den OmH um weniger als 30 %, so wird dies auf Grund der stoff- und konzentrationsbedingt unterschiedlichen Schwankungsbreiten von Einzelanalysen als unwesentlich betrachtet. Überschreiten mehrere Werte eines Elements den OmH oder werden Einzelüberschreitungen um mehr als 30 % der OmH gefunden, ist deren Ursache und Wirkungsrelevanz abzuklären“ (BayLfU 2015).

Der Vergleich mit Hintergrund- und Orientierungswerten dient als dazu, eine Abgrenzung zu den zu vermeidenden Immissionswirkungen zu ermöglichen.

Zur Beurteilung der Stoffgehalte in Graskulturen – mit Ausnahme von Nickel und PAK – liegen überregionale OmH vor (VDI 3857/2 2014). Für Nickel und die Summe der 16 EPA-PAK kann auf den bayerischen OmH zurückgegriffen werden (siehe Tabelle 1.3-1), oder auf OmH für Nickel und Ben-

zo[a]pyren als Leitsubstanz der PAK des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz in Nordrhein-Westfalen (LANUV).

Orientierungswerte für PAK in Grünkohl hat das Bayerische Landesamt für Umwelt (BayLfU 2015) publiziert. Orientierungswerte für Hintergrundgehalte in Grünkohl nach VDI-Richtlinien 3957 Blatt 3 (2008) liegen für Metalle bislang nicht vor. OmH für verzehrfertigen Grünkohl des LANUV können nicht direkt zur Bewertung herangezogen werden, da sie - bedingt durch das Waschen des LANUV-Grünkohls vor Analyse - niedriger ausfallen als dies für VDI-Grünkohl der Fall wäre (Hombrecher et al. 2015).

### Immissionsbedingte Werte

Ob Messwerte als *immissionsbedingt* erhöht, also als *Immissionswirkungen* zu werten sind, erschließt sich aus dem unmittelbaren Vergleich mit den zeitgleich an Referenzmesspunkten gemessenen Werten, dem Vergleich mit den OmH und mit Vergleichswerten aus anderen Untersuchungsgebieten (ggf. auch aus anderen Untersuchungsjahren, vorbehaltlich dort unterschiedlicher externer Einflussfaktoren).

### Prüfwerte zur Gefährdungsabschätzung

Die Bioindikatoren sind zunächst Messgeräte für Immissionswirkungen aus der Luft in die Vegetation.

Die Graskultur steht stellvertretend für pflanzliche Futtermittel. Durch den indirekten Vergleich mit **Prüfwerten**, Richtwerten und Höchstgehalten von Kontaminanten in Futtermitteln, kann eine Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden. Für eine Beurteilung von Futterpflanzen werden Höchstgehalte unerwünschter Stoffe der Futtermittelverordnung (FuttMV 2013) in der jeweilig aktuellen Fassung angewendet und die stoffspezifische Maximale Immissionsdosis MID der Richtlinienreihe VDI 2310 Blatt 27 bis Blatt 39 (siehe Tabelle 1.3-1). Wenn Prüfwerte für passende Futtermittel überschritten werden, sollten Kontrollen an betroffenen Futterpflanzen und gegebenenfalls Feldfrüchten im Umkreis des betroffenen Messpunktes erwogen werden (VDI 3957/2 Entwurf 2013). Mit den Kontrollen kann geklärt werden, ob die geltenden Richtwerte oder Höchstgehalte in den betreffenden Pflanzen am Standort eingehalten werden. Auftretende Überschreitungen am Standort würden gegebenenfalls die Empfehlung nach sich ziehen, aus vorsorgenden Gründen auf deren Nutzung bzw. Verzehr zu verzichten. Für PAK in Futtermitteln sind keine MID-Werte oder Höchstgehalte definiert, die auf die Gehalte in Graskulturen bezogen werden könnten. Hier bleibt der Vergleich mit anderen Untersuchungen zur Bewertung.

Die Grünkohlkultur steht stellvertretend für Lebensmittel des Menschen (Blattgemüse-Lebensmittel). Durch den Vergleich mit Prüfwerten und Höchstgehalten für Kontaminanten in Lebensmitteln kann eine orientierende Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden. Die Prüfwerte und Höchstgehalte für Lebensmittel beziehen sich allerdings auf verzehrfertiges, also gewaschenes Gemüse. Der Bioindikator Grünkohl wird hingegen entsprechend VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3 (2008) ungewaschen analysiert. Er ist somit ein Frühindikator für die Gefährdung des Schutzgutes Nahrung.

Tabelle 1.3-1: Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierten Graskulturen

Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierten Graskulturen						
Stoffe in mg/kg 100% TM	Abkürz.	Orientierungswerte (OmH)			Prüfwerte für Futtermittel	
		lt. VDI 3857/2	lt. BayLfU	lt. LANUV	lt. FuttMV	MID-Werte
Antimon	Sb	<b>0,08</b>	0,053	<Bestimm.grenze	-	-
Arsen	As	<b>0,29</b>	0,30	<Bestimm.grenze	<b>2,3</b>	2,3
Blei	Pb	<b>0,9</b>	Spanne 0,26-1,1	2,5	<b>34</b>	4,5 - 21
Cadmium	Cd	<b>0,1</b>	0,056	0,11	<b>1,1</b>	0,7
Chrom	Cr	<b>0,9</b>	Spanne 0,2-0,48	3,6	-	57
Kupfer	Cu	<b>12</b>	7,4	17	-	11,4 - 57
Nickel	Ni	-	<b>7,2</b>	3,7	-	57
Quecksilber	Hg	<b>0,02</b>	0,013	-	-	0,057 - 0,114
Zink	Zn	<b>50</b>	46	51	-	341 - 568
16 PAK nach EPA	16EPA-PAK	-	<b>56<sup>1)</sup>, 52<sup>2)</sup></b>	-	-	-
Summe 4 PAK	PAK4	-	-	-	-	-
Benzo(a)pyren	BaP	-	-	<b>0,0021</b>	-	-

100% TM: Stoffgehalt bezogen auf 100% Trockenmasse  
PAK4: Summe der vier PAK BaP, Benzo(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen und Chrysen lt. VO (EU) Nr. 835/2011  
OmH: Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (VDI 3857/2 2014)  
OmH lt. VDI 3857/2: überregional, aus dem ländlichen Hintergrund 2004-2008: Bayern, Baden-W., NRW, O.österreich  
OmH lt. BayLfU: bayerischer ländl. Hintergrund, Metalle 2008-2012, PAK 2007-2011 (BayLfU 2015) <sup>1)</sup>Mai-Juli, <sup>2)</sup>Aug.  
OmH lt. LANUV: aus dem ländlichen und städtischen Hintergrund 2004-2013 (Hombrecher et al. 2015)  
lt. FuttMV: Höchstgehalte für Futtermittel laut Futtermittelverordnung (2013), in der jeweils gültigen Fassung  
MID-Werte: Maximale Immissionsdosis nach VDI-Richtlinienreihe 2310 bezogen auf Schaf- und Rinder-Futtermittel

Tabelle 1.3-2: Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierter Grünkohl-Exposition

Beurteilungswerte für Stoffgehalte in standardisierter Grünkohl-Exposition (VDI 3957/3 2010)					
Stoffe in mg/kg 100% TM	Abkürz.	Orientierungswerte OmH		Prüfwerte für Lebensmittel	
		lt. BayLfU	lt. LANUV	lt. VO 1881 ff.	lt. VO in FM
Antimon	Sb	-	<Bestimm.grenze	-	
Arsen	As	-	<Bestimm.grenze	-	
Blei	Pb	-	0,7	<b>1,8</b>	0,3
Cadmium	Cd	-	0,13	<b>1,2</b>	0,2
Chrom	Cr	-	0,34	-	
Kupfer	Cu	-	6,6	-	
Nickel	Ni	-	1,3	-	
Quecksilber	Hg	-	-	-	
Zink	Zn	-	35	-	
16 PAK nach EPA	16EPA-PAK	<b>333</b>		-	
Summe 4 PAK	PAK4	-	-	-	
Benzo(a)pyren	BaP	-	<b>0,0039</b>	-	

100% TM: Stoffgehalt bezogen auf 100% Trockenmasse  
PAK4: Summe 4 PAK: BaP, Benzo(a)anthracen, Benzo(b)fluoranthen, Chrysen lt. VO (EU) Nr. 835/2011  
OmH: Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (VDI 3857/2 2014)  
OmH lt. BayLfU: bayer. ländl. Hintergrund, Metalle 2008-2012, PAK 2007-2011 (BayLfU 2015)  
OmH lt. LANUV: aus ländl. & städt. Hintergrund 2004-2013, nicht VDI, gewaschen (Hombrecher et al. 2015)  
lt. VO 1881 ff.: VO(EG) Nr. 1881/2006 mit VO(EU) Nr.835/2011, Höchstgehalte in Blattgemüse-Lebensmitteln  
lt. VO in FM: Höchstgehalte sind lt. VO im Frischmasse angegeben (Faktor 1/6 zu TM bei Grünkohl)

Die Metallgehalte in Grünkohlkulturen können indirekt orientierend anhand Höchstgehalten für Gemüse-Lebensmittel nach EU-Verordnungen bewertet werden (VO (EG) Nr. 1881/2006 und VO (EU) Nr. 420/2011, Nr. 488/2014). Für PAK sind aktuell keine gesetzlichen Höchstgehalte für vergleichbare Lebensmittel definiert.

### 1.3.2 Zielsetzungen des Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld

Berlin ist mit den Flughäfen Berlin-Tegel im Norden und Schönefeld im Südosten der drittgrößte Flughafenstandort in Deutschland. Am Flughafen Schönefeld werden derzeit rund 7,5 Millionen Fluggäste (2015) abgefertigt. Hier entsteht der neue Flughafen Berlin Brandenburg BER, der den Flugverkehr von Schönefeld und Tegel zukünftig bündeln wird. Das dann geänderte Luftverkehrsaufkommen, die neue Start- und Landebahn Süd und die Zunahme des Zubringerverkehrs lassen vermuten, dass sich die lufthygienischen Verhältnisse auf dem Flughafengelände und in der Umgebung des Flughafens ändern werden. Die Situation vor und nach Inbetriebnahme des BER zu vergleichen, ist die Hauptzielsetzung des Umwelt-Untersuchungsprogramms der FBB.

Das Biomonitoring als einer der freiwilligen Bausteine ist langfristig angelegt: Es startete im Herbst 2011 als Vorbelastungsuntersuchung vor Inbetriebnahme des BER mit standardisierter Exposition von Grünkohl, ergänzte die Immissionsüberwachung an der Luftgütemessstelle Flughafen Schönefeld und dehnte sie auf die umliegenden Gemeinden aus (vgl. Kapitel 1.1).

Mit den Lebens- und Futtermittel liefernden Bioindikatoren, Grünkohl und Graskultur, nimmt sich das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld der vorrangigen Bürgerfragen an, ob und welche Schadstoffe wirklich in der Umwelt und der Nahrungskette ankommen und welchen Anteil daran der Luftverkehr hat - in einer für die Bürger anschaulichen Weise (Wäber 2008).

Zielsetzungen, neben dem Vergleich vor und nach Inbetriebnahme des BER, sind:

- Belastungen und Luftschadstoffquellen zu identifizieren,
- unterschiedlicher Belastungssituationen im Umfeld um den Flughafen Schönefeld räumlich wie auch zeitlich zu differenzieren,
- das Gefährdungspotenzial für die Nahrungskette und den Menschen abzuleiten,
- Veränderungen zu dokumentieren, wie 2015 die Verlegung der Starts und Landungen auf die Südbahn, während der Sanierung der Nordbahn des Flughafens Berlin Schönefeld.

### 1.3.3 Vorgehen

Eine differenzierte Auswahl der Messpunkte am Flughafen und im weiteren Umfeld und der untersuchten Stoffe sind Voraussetzung, Luftschadstoffquellen zu identifizieren und Belastungssituationen zu vergleichen. Zehn **Messpunkte** wurden ausgewählt, um die Immissionswirkungen der Luftschadstoffe als Anreicherung in den standardisierten Pflanzenkulturen zu messen und zu bewerten (siehe Kapitel 2). Die Messpunkte befinden sich an den Start- und Landebahnen, in Schönefeld und Blanken-

felde-Mahlow, (ehemals) nahe der Autobahn, in landwirtschaftlich genutzten Gebieten sowie in solchen mit landschaftlich wertvollen Ausgleichsflächen im Umfeld des Flughafens.

Die standardisierten Grünkohlkulturen (VDI 3957/3 2008) filterten acht Wochen lang im Herbst 2011 Schadstoffe aus der Luft und reicherten sie an. Danach wurden sie im Labor ultraspurenanalytisch auf die Gehalte an PAK und Spuren- und Schwermetalle untersucht.

Nach der ersten Grünkohl-Exposition im Herbst 2011 wurden die Immissionswirkungen im Herbst 2012 erneut mit Grünkohl ermittelt und verglichen, um eine breitere Datenbasis zu erhalten. Diese kann dann Messungen bei geänderten Luftsituationen, z. B. nach Inbetriebnahme des BER, gegenüber gestellt werden.

Während Grünkohl stellvertretend für Lebensmittel untersucht wird, wird Gras wegen seiner Bedeutung als Futtermittel eingesetzt. Graskulturen erfassen Immissionswirkungen auch im Frühjahr und Sommer, außerhalb der Heizperiode, also ohne Überlagerung durch Immissionseinflüsse häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen. Mit standardisierten Graskulturen wurde analog zur Grünkohl-Exposition verfahren: Sie wurden unter genormten Bedingungen vorkultiviert und im Untersuchungsgebiet in Töpfen auf Stangen aufgestellt. Innerhalb von vier Wochen konnten sie Schadstoffe aus der Luft aufnehmen.

Um die unter extremen äußeren Einflussfaktoren 2011 ermittelten Grünkohl-Ergebnisse umgehend zu überprüfen (siehe Kapitel 1.3.4) und ein Gefährdungspotenzial für die Landnutzung ausschließen zu können, wurde im Mai 2012 Graskultur-Biomonitoring auf PAK an drei Messpunkten durchgeführt.

Im Jahr 2013 und aktuell 2015 wurden die Graskulturen an allen Messpunkten im Untersuchungsgebiet je dreimal – 2013 von Mai bis Juli und 2015 von Juni bis August – exponiert. Nach jedem der Expositionsabschnitte wurden die Graskulturen geerntet, ins Labor zur Analyse gebracht und vor Ort durch neue ersetzt.

### 1.3.4 Bisherige Ergebnisse

Das Biomonitoring 2011 bis 2013 zeigte, dass der Flughafen Schönefeld keinen relevanten Einfluss auf die Immissionswirkungen in der Region hatte, wobei Grünkohl- und Graskulturergebnisse gut miteinander korrespondierten. Die Ergebnisse lagen flughafennah wie flughafenfern in vergleichbarer Größenordnung, unterhalb der herangezogenen Höchst- bzw. Prüfwerte. Saisonale Effekte, die sich teilweise von Hintergrundwerten abhoben, konnten differenziert und identifiziert werden (Wäber et al. 2015):

- beim Grünkohl gegenüber dem Hintergrund erhöhte PAK-Gehalte 2011 aufgrund einer außergewöhnlichen Trockenperiode mit überdurchschnittlicher Staubexposition
- sowie vereinzelt immissionsbedingte Schwermetallgehalte in Grünkohl 2011 und 2012 an der in diesem Zeitraum nicht betriebenen Südbahn des Flughafens durch lokalen Kfz-Verkehrseinfluss;
- bei Graskulturen jeweils im Mai 2012 und 2013 über den Hintergrund erhöhte PAK-Gehalte, zurückführbar auf den Einsatz von Kleinf Feuerungsanlagen aufgrund der kalten Witterung.

Im Herbst 2012 und im Sommer 2013 zeigten alle Ergebnisse gute Übereinstimmung mit langjährigen Hintergrundwerten von Vergleichsuntersuchungen.

### 1.3.5 Zielsetzung des Biomonitoring mit standardisierten Graskulturen 2015

Nach den ersten Expositionen 2012 und 2013 wurden die Graskulturen 2015 zum einen erneut eingesetzt, um eine breitere Datenbasis für die spätere Untersuchung von Immissionswirkungen nach Inbetriebnahme des BER zu erhalten.

Besonderer Anlass war aber die Sanierung der Nordbahn 2015, die beim Biomonitoring 2011 bis 2013 in Betrieb war, und der erstmalige Betrieb der neuen Südbahn: Mit dem Graskultur-Biomonitoring 2015 sollen etwaige, dadurch bedingte Veränderungen der Luftsituation und der Immissionswirkungen dokumentiert und bewertet werden.



## 2 Untersuchungsgebiet und Messpunkte

### 2.1 Begriffsdefinitionen

Zum Verständnis für die Festlegungen von Untersuchungsgebiet und Messpunkten für das Biomonitoring sind folgende Begriffe relevant (VDI 3957/2 Entwurf 2013 Gründruck und VDI 3957/15 2014; siehe auch Kapitel 7 Glossar):

**Hintergrundstandort:**

Standort ohne unmittelbaren Einfluss lokaler Emissionen, d. h. außerhalb von geschlossenen Siedlungsgebieten und mit mindestens 50 m Abstand zu verkehrsreichen Straßen bzw. um mindestens das 50fache der Quellhöhe von emittierenden Anlagen entfernt

**Hintergrundgehalt:**

Stoffgehalt (in Pflanzen), der unter den gegebenen klimatischen Bedingungen durch die Aufnahme aus dem Boden/Substrat und die Hintergrundimmissionen am Hintergrundstandort zustande kommt

**Kontrollmesspunkte:**

Messpunkte außerhalb des (vermuteten) Einflussbereichs des Emittenten, welche die typischen Immissionsverhältnisse im näheren Untersuchungsgebiet charakterisieren sollen

**lokale Referenzmesspunkte:**

Messpunkte außerhalb des unmittelbaren Untersuchungsgebietes, die als Hintergrundmesspunkte die typische Hintergrundsituation im weiteren Umfeld des Emittenten repräsentieren

**Messpunkte, Hintergrundmesspunkte:**

Konkret ausgewählte Expositionsorte (Messorte) an einem (Hintergrund-)Standort

**Untersuchungsgebiet:**

Das Untersuchungsgebiet umfasst das mutmaßlich betroffene Gebiet, den Kontrollbereich und den Referenzbereich. Das Messgebiet im engeren Sinn umfasst demgegenüber alle Messpunkte, die potenziell von den für den Emittenten spezifischen Immissionen und deren Wirkungen beeinflusst werden, also auch die Kontrollmesspunkte; jedoch nicht die Referenzmesspunkte.

## 2.2 Festlegung von Untersuchungsgebiet und Messpunkten

Im Unterschied zur Situation 2011 bis 2015, vor Inbetriebnahme, werden nach Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg BER folgende Veränderungen erwartet:

- Eine neue Start- und Landebahn Süd wird eröffnet und
- die alte Start- und Landebahn Nord zur sanierten und ausgebauten neuen Nordstartbahn.
- der Flughafen-Bodenbetrieb wird zunehmen ebenso wie die Zahl der Flugbewegungen.
- Neue Flugrouten (Flugstrecken) werden festgelegt und befliegen.
- Der flughafeninduzierte Straßenverkehr (Zubringerverkehr) wird zunehmen.
- Nach Fertigstellung des Flughafenausbaus entfallen damit verbundener Baustellenverkehr und Immissionen aus Bautätigkeiten.
- Im Strukturkonzept FU-BBI sind Siedlungserweiterungsplanungen (Gewerbeansiedlung im Umfeld des BER) vorgesehen,
- sowie die Entwicklung weiterer Natur- und Erholungsräume.

### 2.2.1 Untersuchungsgebiet

Auf Grundlage von Immissionsausbreitungsprognosen, geplanten Flugbewegungen, Recherchen u.a. zu potenziellen Quellen, Landnutzungen und Schutzgütern sowie von Begehungen des näheren und weiteren Umfelds um den Flughafen Berlin Schönefeld wurde 2011 das Untersuchungsgebiet festgelegt. Es umfasst:

- das mutmaßlich betroffene Gebiet im Gradienten von den Start-/Landebahnen des Flughafens,
- den Kontrollbereich, unmittelbar an den Flughafenbereich angrenzend, aber senkrecht zu den Hauptwindrichtungen West und Ost und
- den Referenzbereich, außerhalb des mutmaßlich betroffenen Gebiets, ohne Flughafeneinfluss.

### 2.2.2 Berücksichtigung von Einflussfaktoren

Emissionen können weiträumig mit der Luft transportiert, umgewandelt und als Immissionen unterschiedlich in der Umwelt verteilt werden (vgl. Kapitel 1.2). Welche Luftverunreinigungen in welcher Reichweite und Richtung vom Emittenten als Immissionswirkungen messbar werden, hängt von den Stoffen, der Witterung, dem Gelände und weiteren Faktoren ab. Bei der Festlegung des Untersuchungsgebiets, der Auswahl der Messpunkte und schließlich der Bewertung des Biomonitorings muss nachfolgend berücksichtigt werden:

- Ein höherer Emittent hat theoretisch einen weiter reichenden Immissionseinfluss als eine niedrige Luftschadstoffquelle – der Flughafenbetrieb umfasst als Hauptemittenten Flugverkehr (Starts/Landungen, Überflug), Bodenbetrieb (Rollfeldverkehr) und Zubringerverkehr.

- Immissionen, die von einer hohen Quelle stammen, insbesondere einer punktförmigen Quelle, werden vorwiegend in Hauptwindrichtung getragen und weiträumiger verteilt. Immissionen, die von einer Flächenquelle stammen, werden eher diffus im Nahbereich verteilt – der Flughafenbetrieb setzt sich aus beiden Quelltypen zusammen.
- Bei Windstille werden Immissionen diffus um den Emittenten verteilt, mit zunehmender Windstärke werden die Immissionen zunehmend weiter transportiert; Inversionswetterlagen können die Immissionssituation also erheblich beeinflussen – die Windrichtung und -geschwindigkeit sind daher mit zu betrachten.
- Die Reichweite der Immissionen hängt stoffspezifisch von deren Eigenschaften, Größe und unterschiedlichen Stabilität ab – daher ist das Immissionsspektrum insbesondere bei leichter flüchtigen Stoffen wie den PAK nicht identisch mit dem emittierten Stoffspektrum.
- An verschiedenen Messpunkten in der gleichen Entfernung von Emittenten können aufgrund von örtlichen Gegebenheiten, Windverhältnissen und Abschattung unterschiedliche Immissionenwirkungen gemessen werden – die Anforderungen an die Messpunkteauswahl sind daher einzuhalten.
- Interne Faktoren, wie das Wachstum der Pflanzen, haben ebenso Einfluss auf die Schadstoffgehalte (Verdünnung durch Wachstum) wie externe Faktoren (z. B. Abwaschung aufgelagerter Stoffe bei Regen vor der Probenahme – interne Faktoren werden durch Standardisierung der Durchführung weitestmöglich konstant gehalten, während externe Faktoren auf Bioindikatoren und Vegetation gleichermaßen wirken, also intrinsisch sind (dem Verfahren zugehörig) und erwünscht.

Neben dem Flughafenbetrieb sind im Untersuchungsgebiet weitere Luftschadstoffquellen für die PAK und ausgewählten Spuren- und Schwermetalle vorhanden, die in die Betrachtungen einbezogen werden müssen:

- Straßenverkehr fließend, z. B. auf der Autobahn A113 und Straßenverkehr mit Stop-and-go-Verkehr, z. B. innerorts, inklusive dem Anteil des Zubringerverkehrs
- saisonal Hausbrand (= Betrieb häuslicher Kleinf Feuerungsanlagen)
- saisonale und temporäre landwirtschaftliche Aktivitäten
- temporärer Baustellenverkehr
- Baustellentätigkeit

Ein relevanter Einfluss von Industrieanlagen wurde im Vorfeld geprüft und ausgeschlossen.

Eine „Nullbelastung“ existiert nicht: Auch ohne Einfluss von Emittenten ist stets ein regional typischer Immissionshintergrund gegenwärtig.

### 2.2.3 Anforderungen an die Messpunkteauswahl

„Die Beweiskraft einer Untersuchung hängt von der Anordnung und Zahl der Messpunkte“ ab (AK B/W 1999). Die geeignete Messpunkteauswahl ist also Grundvoraussetzung für die Bewertung der Ergebnisse. Die Messpunkteauswahl orientierte sich daher – soweit möglich und verfügbar – an:

- der möglichst flächenhaften Berechnung der Verteilung der Immissionen, z. B. von Feinstaub,
- aktuellen Empfehlungen zum emittentenbezogenen Biomonitoring (VDI 3957/10 2004 in Überarbeitung und VDI3957/15 2014)
- den Informationen aus der Festlegung des Untersuchungsgebiets (vgl. Kapitel 2.2.1),
- einschließlich der Einflussfaktoren auf die Messpunkte (vgl. Kapitel 2.2.2) und
- bisherigen Erfahrungen bei der Konzeption derartiger Untersuchungen im Flughafenumfeld (Wäber 2008a).

Die Auswahl der Messpunkte soll eine repräsentative und aussagekräftige Bewertung ermöglichen. Ein Flughafen stellt eine Kombination aus unterschiedlich hohen, sich bewegenden Quellen – Flugzeugstarts und bodennaher Überflug – sowie Flächenquellen – Bodenbetrieb und Zubringerverkehr – dar. Entsprechend kombiniert dieses flughafenbezogene Biomonitoring die Anforderungen an die Untersuchung von erhöhten Quellen und von Flächenquellen. Bei einer Flächenquelle<sup>1</sup> sind Messpunkte an Orten mit erwarteten hohen, mittleren und niedrigen Immissionswirkungen zu errichten (VDI 3957/10 2004 in Überarbeitung). Entsprechend aktueller Anforderungen an ein emittentenbezogenes Biomonitoring (VDI 3957/10 2004 in Überarbeitung) sind für eine abgehobene Punktquelle mindestens sieben emittentenbezogene Messpunkte einschließlich Kontrollmesspunkten erforderlich und mindestens zwei lokale Referenzmesspunkte:

- Drei der emittentenbezogenen Messpunkte sollen einen Gradienten in Hauptwindrichtung und
- zwei der emittentenbezogenen Messpunkte sollen einen Gradienten in der zweithäufigsten Windrichtung vom Emittenten bilden. Sie sollen im Nahbereich des Emittenten die maximale Immissionsbelastung und in zunehmender Entfernung die Reichweite der Immissionswirkungen bestimmen lassen.
- Zwei Kontrollmesspunkte sollen idealerweise möglichst nicht weiter vom Emittenten entfernt sein, als der Punkt mit höchsten erwarteten Immissionsbelastung in Hauptwindrichtung. Sie sollen aber senkrecht zu Haupt- und sekundärer Windrichtung liegen. Hier wird keine Immissionsbelastung durch den Emittenten erwartet- Die Kontrollmesspunkte repräsentieren die typischen Immissionsverhältnisse im näheren Untersuchungsgebiet und dienen dazu, die tatsächliche Reichweite der Immissionswirkungen zu überprüfen.

---

<sup>1</sup> Zubringerverkehr ist eine Flächenquelle. Die Reichweite des Kfz-Verkehrs kann durch einen einfachen Gradienten zunehmenden Abstands von der Fahrbahn abgebildet werden. Mehr als 50 m von der Fahrbahn entfernt sind keine signifikant erhöhten Immissionswirkungen zu erwarten (Öhlinger 1995, Peichl et al. 1996).

- Die mindestens zwei Referenzmesspunkte, außerhalb des Einwirkungsbereichs des Emittenten und ohne unmittelbaren Einfluss aus weiteren relevanten Quellen, sollen die typische Hintergrundsituation fern von Luftschadstoffquellen charakterisieren.

Die Messpunkteauswahl für das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Schönefeld entspricht den aufgeführten Anforderungen. Die Messpunkte wurden so ausgewählt, dass in den Folgejahren keine relevanten Änderungen ihrer Exposition gegenüber Luftschadstoffeinträgen zu erwarten sind – mit Ausnahme der zu untersuchenden Änderungen nach Inbetriebnahme des Flughafens Berlin Brandenburg BER.

Bezüglich ihrer Anströmbarkeit sollten die Messpunkte bestmöglich vergleichbar sein (AK B/W 1999; VDI 3957/10 2004 in Überarbeitung). Entsprechend wurden bei der Auswahl der Messpunkte z. B. Abschattungen von den zu untersuchenden Quellen, etwa durch Gebäude und Bäume, weitestmöglich vermieden. Ebenso sollten Störeinflüsse vermieden werden. Störeinflüsse sind z. B. Staubaufwirbelung von unversiegelten Flächen oder Stoffeinträge durch landwirtschaftliche Aktivitäten, also temporäre Einflüsse – sofern diese nicht in die Betrachtungen einbezogen werden sollen. Die in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (Entwurf 2013) definierten Anforderungen an den einzelnen Messpunkt wurden bei deren Auswahl entsprechend berücksichtigt und begründete Abweichungen hiervon dokumentiert.

## 2.3 Messpunktebeschreibung

Das Untersuchungsgebiet und die zehn Messpunkte - MP1 bis MP11 - im Umfeld des Flughafens sind nachfolgend in Bild 2.3-1 dargestellt, in Tabelle 2.3-1 bezeichnet und in Tabelle 2.3-2 lokalisiert. Anschließend sind die Messpunkte detailliert beschrieben:

- Messpunkte unmittelbar und im Gradienten am Flughafen Berlin Schönefeld (MP1-MP3, MP5-MP6; als Kontrollmesspunkte MP8 und MP10),
- an der Autobahn (MP2, 2012 aufgelöst<sup>2</sup>),
- in Siedlungen (MP9-MP11, letzterer seit 2012) und
- landwirtschaftlichen Bereichen (MP1-MP8) – sowie
- zwei Referenzmesspunkte abseits von Quellen (MP4, MP7).

Jeweils auf Schulgelände befindliche Messpunkte in Schönefeld (MP9) und Schulzendorf (MP11) informieren die Bürger über die Auswirkungen in ihrem Wohnumfeld (Wäber et al. 2015). Der Messpunkt bei Waltersdorf (MP3) wurde 2012 um einige Hundert Meter versetzt, um die Luftsituation repräsentativer abzubilden<sup>3</sup>. Am Referenzmesspunkt MP4 wurden fünf statt drei Graskulturen exponiert:

<sup>2</sup> MP2 direkt an der Autobahn A113 wurde aufgelöst, da er nur Aussagen über Kfz-Verkehr mit entsprechend immissionsbedingten, aber nicht kritisch erhöhten Antimon- und PAK-Werten erbrachte.

<sup>3</sup> MP3 wurde vom dortigen Tennisplatz wegversetzt, um dessen etwaigen Einfluss auszuschließen (Staub des Bodenbelags).

Sie dienen als echte Parallelproben MP4p, um die Variabilität innerhalb eines Messpunktes zu erfassen (siehe Tab. 2.2-3; VDI 3957/2, 2013 Gründruck).

Tabelle 2.3-1: Messpunkte - Bezeichnung und Kurzbeschreibung

<b>MP</b>	<b>Messpunkt Kurzname</b>	<b>Messpunktbeschreibung</b> (Parallelmesspunkte: 1/1p und 4/4p)
<b>1/1p</b>	<b>Flughafen Südost</b>	Flughafen-Zaun Osten der Süd-Start/Landebahn (Überflug Mai-Okt.2015 und ab Eröffnung BER; 1p nicht 2013)
<b>2</b>	<b>Flughafen Autobahn</b>	Flughafen-Gradient Ost Süd-Start/Landebahn Autobahn A113 (bis 2012)
<b>3</b>	<b>Flughafen Waltersdorf</b>	Flughafen-Gradient Ost Süd-Start-/L.bahn Waltersdorf (Überflug Mai-Okt. 2015 und ab BER bei Landungen)
<b>4/4p</b>	<b>Referenz Zülowniederung</b>	Referenz Naturschutzgebiet Zülowniederung Groß-Machnow (kein Überflug)
<b>5</b>	<b>Flughafen Südwest</b>	Flughafen-Zaun Westen der Süd-Start/Landebahn (Überflug Mai-Okt. 2015 und ab Eröffnung BER)
<b>6</b>	<b>Flughafen Mahlow</b>	Flughafen-Gradient Westen Südstart-/L.bahn Mahlow-Blankenfelde (Überflug Mai-Okt. 2015 und ab BER)
<b>7</b>	<b>Referenz Genshagen</b>	Referenz Genshagen (Überflug Mai-Okt. 2015 und ab BER bei Landungen)
<b>8</b>	<b>Kontrolle Südbahn Rotberg</b>	Kontrollmesspunkt Süd-Start/Landebahn Rotberg (ohne Überflug)
<b>9</b>	<b>Siedlung Schönefeld</b>	Siedlungsmesspunkt Schönefeld Grundschule (ohne Überflug)
<b>10</b>	<b>Kontrolle Waßmannsdorf</b>	Kontrollmesspunkt Nord-Start/Landebahn Waßmannsdorf (ohne Überflug)
<b>11</b>	<b>Siedlung Schulzendorf</b>	Siedlungsmesspunkt Schulzendorf Grundschule (Überflug in Höhe ca.1000 m bei Starts ab BER)

Tabelle 2.3-2: Lokalisierung der Biomonitoring-Messpunkte (via GPS und WGS84)

Messpunkte-Koordinaten			WGS84		Höhe üNN
MP	Abkürz.	Kurzname	Breite N (Nord)	Länge O (Ost)	m
1	FOS	Flughafen Südost	52°21'36"	13°32'8"	43
2	FOA	Flughafen Autobahn	52°21'36"	13°32'52"	41
3	FOW	Flughafen Waltersdorf	52°22'5"	13°34'1"	41
3	FOW	Flughafen Waltersdorf ab 2012	52°22'10"	13°34'17"	42
4/4p	RZN/RZ1	Referenz Zülowniederung	52°15'53"	13°25'55"	34
5	FWS	Flughafen Südwest	52°20'31"	13°27'22"	48
6	FWM	Flughafen Mahlow	52°19'55"	13°25'27"	39
7	RGÜ	Referenz Genshagen	52°18'48"	13°20'34"	35
8	KSR	Kontrolle Rotberg	52°20'49"	13°29'37"	39
9	SSN	Siedlung Schönefeld	52°23'36"	13°29'58"	47
10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	52°22'13"	13°27'37"	38
11	SSS	Siedlung Schule Schulzendorf	52°21'32"	13°35'27"	39
WGS84		aus ETRS89 ermittelt (Europäisches Terrestrische Referenzsystem 1989), dreidimensionales geodätisches Bezugssystem			
Höhe üNN		Höhe über dem Meeresspiegel in m			

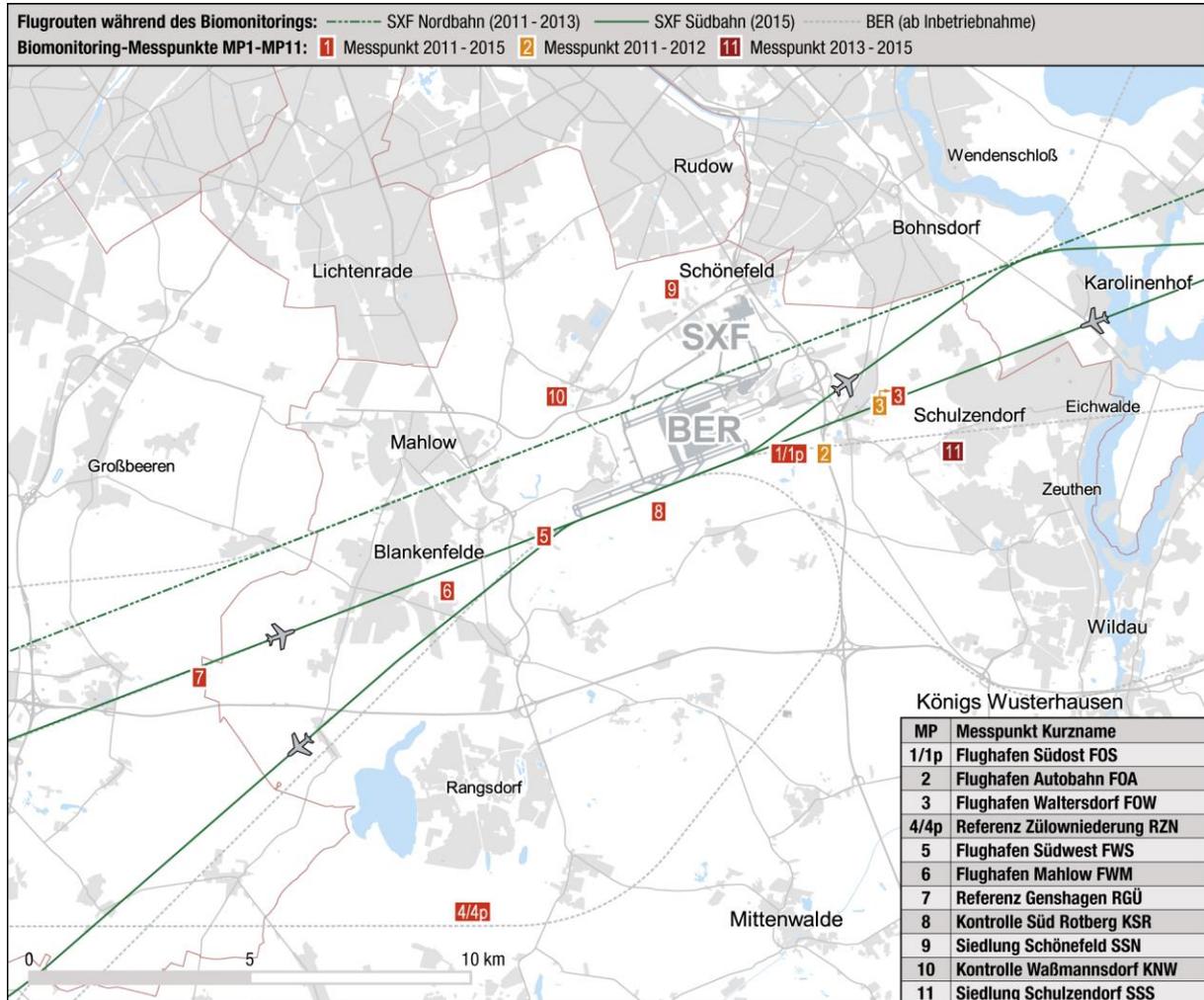


Bild 2.3-1: Lage der Biomonitoring-Messpunkte

Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP1 / MP1p Parallelexposition</b> FOS Flughafen Südost	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°21'36" 13°32'8" 43 m
<b>Lage und Nutzung</b>	Wiesenstreifen nahe Flughafenzaun an der Süd-Start-/Landebahn, Abstand zum Kopf der Südbahn ca. 500 m; an Ackerland (2013: Gemüse, 2015: Getreide) angrenzend; ca. 800 m von nächster Straße (A113) und ca. 1 km von Haus/Gehöft und Siedlung (Waltersdorf, östlich) entfernt		
<b>Beschreibung</b>	Mai bis Okt. 2015 Hauptaufschlagspunkt (Punkt mit höchsten erwarteten Immissionen) für Landungen in Richtung West und Aufschlagspunkt für Bodenverkehr im Flughafenbetrieb; ab Eröffnung des BER Aufschlagspunkt für Start-Überflug in Richtung Ost, so auch Mai bis Okt. 2015 aufgrund temporär betriebener Süd-Start-/Landebahn während Sanierung der Nordbahn; 2011 bis 2013 aufgrund Betriebs der Nordbahn ohne unmittelbaren Überflug; wegen dann gesteigerter Flugzahlen deutlicher Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme BER erwartet; temporäre landwirtschaftliche Aktivitäten auf Acker neben Wiesenrandstreifen		



Bild 2.3-2: Messpunkt MP1 / MP1p Flughafen Südost (FOS) (Foto: G. Wicker LIGATUR)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP2</b> FOA Flughafen Autobahn (bis 2012)	<b>geografische Breite N geografische Länge O Höhe üNN</b>	52°21'36" 13°32'52" 41 m
<b>Lage und Nutzung</b>	unmittelbar an Autobahn A113: Abstand zur Fahrbahn ca. 10 m; ca. 1 km östlich Süd-Start-/ Landebahnende; auf Brachwiese, an Acker angrenzend; ca. 300 m von Siedlung entfernt (Waltersdorf, östlich)		
<b>Beschreibung</b>	Höchste erwartete Immissionen für Straßenverkehr: Abstand zur Autobahn A113 ca. 10 m, im Gradienten des Flugverkehrseinflusses: ab Eröffnung des BER Überflug; geringer Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme BER erwartet: durch mehr Straßenverkehr bedingt		



Bild 2.3-3: Messpunkt MP2 Flughafen Autobahn (FOA, bis 2012)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP3</b> FOW Flughafen Waltersdorf	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°22'10" 13°34'17" 43 m
<b>Lage und Nutzung</b>	Süd-Start-Landebahn BER ca. 3 km entfernt in westlicher Richtung; MP3 östlich von Gewerbegebiet und Siedlung Waltersdorf im Abstand von mindestens 500 m dazu, südwestlich von Siedlung Vorwerk; auf Brachwiese mit geringer Hangneigung (Naturschutzgebiet) an Ackerland (südlich) angrenzend (2011: neben Tennishalle, 300 m südwestlich gelegen)		
<b>Beschreibung</b>	Mai bis Okt. 2015 und ab Eröffnung des BER Verlängerung des Gradienten zu MP1/MP1p; Mai bis Okt. 2015 Überflug bei Landungen, nicht aber von startenden Flugzeugen aus Hauptwindrichtung West in Richtung Ost		



Bild 2.3-4: Messpunkt MP3 Flughafen Waltersdorf (FOW)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP4 / MP4p Parallelexposition</b> RZN Referenz Zülniederung	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°15'53" 13°25'55" 34 m
<b>Lage und Nutzung</b>	in der Zülniederung westlich Groß-Machnow auf Brachwiese, umgeben von Wiesen und Äckern; regionaler, straßen-, flugverkehrs- und siedlungsferner Hintergrund; ca. 9 km südlich der Süd-Start-/Landebahn; bis Juni 2013 ca. 30 m von Plattenweg (kaum befahren) entfernt, ab Juli zum Schutz vor Vandalismus ca. 200 m östlich versetzt; ca. 300 m von Bahngleisen und ca. 1 km von Siedlung/Gewerbe entfernt		
<b>Beschreibung</b>	Referenzmesspunkt außerhalb des Aufschlagsbereichs, auch ab Eröffnung des BER kein Überflug (Überflug in ca. 2000 m Höhe, aber laut Immissionsprognose erreichen Emissionen in >900 m den Boden nicht mehr); in landschaftlich wertvollen Ausgleichsflächen (Brachwiesen)		



Bild 2.3-5: Messpunkt MP4 und MP4P Referenz Zülniederung (RZN)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP5</b> FWS Flughafen Südwest	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°20'31" 13°27'22" 48 m
<b>Lage und Nutzung</b>	Wiese nahe am Flughafenzaun neben Funkfeuer, Abstand zum Ende Der Süd-Start-/Landebahn ca. 1 km; Kleingartensiedlung (z. T. aufgegeben) mit Baumbestand in ca. 100 m angrenzend; ca. 80 m von öffentlich genutzter Straße um Flughafen, nächste Siedlungen in ca. 1 km (Selchow, Mahlow, westlich)		
<b>Beschreibung</b>	Mai bis Okt. 2015 und ab Eröffnung des BER Hauptaufschlagpunkt für Start-Überflug in Richtung West und für Landungen in Richtung Ost, Aufschlagpunkt (erwartete Immissionen) für Bodenverkehr im Flughafenbetrieb; deutlicher Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme des BER erwartet		



Bild 2.3-6: Messpunkt MP5 Flughafen Südwest (FWS)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP6</b> FWM Flughafen Mahlow	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°19'55" 13°25'27" 39 m
<b>Lage und Nutzung</b>	ca. 3 km westlich des Endes der Süd-Start-/Landebahn; in Acker (2011/2012: Winterweizen, 2013: Raps, 2013: Roggen), nahe Bäumen (Abstand entspricht Baumhöhe); ca. 400 m von nächster Hauptstraße und Häusern entfernt; Ortsrandlage		
<b>Beschreibung</b>	Mai bis Okt. 2015 und ab Eröffnung des BER im Gradienten des Flugverkehrseinflusses: Überflug bei Landungen in Richtung Ost; kaum Unterschied zwischen vor und nach Inbetriebnahme des BER erwartet; nördlich und östlich Blankenfelde-Mahlow; um die Kulturen nicht zu beschädigen oder kontaminieren, war die Agrargesellschaft Groß-Machnow informiert worden, die Kulturen während Aktivitäten (z. B. Düngen, Ernten) zu entfernen bzw. luftdicht abzuschließen.		



Bild 2.3-7: Messpunkt MP6 Flughafen Mahlow (FWM)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP7</b> FGÜ Referenz Genshagen	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°18'48" 13°20'34" 35 m
<b>Lage und Nutzung</b>	östlich Genshagen-Ludwigsfelde im Flächenpool Seggewiese gelegen, umgeben von Wiesen und Ackerland; regionaler, straßen-, flugverkehrs- und siedlungsferner Hintergrund; ca. 9 km west-südwestlich der Süd-Start/Landebahn; unmittelbar neben Plattenweg (kaum befahren), ca. 500 m von nächstem Acker, ca. 600 m von Autobahn A10 und mehr als 1 km von Siedlung/Gewerbe entfernt		
<b>Beschreibung</b>	Referenzmesspunkt außerhalb des Bereichs prognostiziertem Aufschlagsbereich flugbedingter Immissionen, Mai bis Okt. 2015 Überflug durch landende, nicht aber startende Flugzeuge; auf Brachwiesenstreifen an Bachrand		



Bild 2.3-8: Referenzmesspunkt MP7 Referenz Genshagen (RGÜ)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP8</b> KSR Kontrolle Südbahn Rotberg	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°20'49" 13°29'37" 39 m
<b>Lage und Nutzung</b>	Kontrollmesspunkt südlich des Flughafenzauns Richtung Rotberg, auf Wiese in Anpflanzung (Ausgleichsmaßnahme); ca. 500 m von Rollbahn und ca. 500 m von Hofgut entfernt (nördlich, durch Wald abgeschirmt); ca. 150 m von öffentlich genutzter Straße um Flughafen entfernt; ca. 1 km west-nordwestlich Rotberg; landwirtschaftliche Fläche ca. 200m nordöstlich		
<b>Beschreibung</b>	Kontrollmesspunkt südlich der Süd-Start-/Landebahn (senkrecht zur Hauptwindrichtung), Mai bis Okt. 2015 und ab Eröffnung des BER ohne Überflug, am Rand des prognostizierten Einflussbereichs des BER; Verdriftung aus Bodenverkehr möglich; auf Brachwiese, siedlungsfern		



Bild 2.3-9: Messpunkt MP8 Kontrolle Südbahn Rotberg (KSR)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP9</b> SSN Siedlung Schönefeld	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°23'36" 13°29'58" 47 m
<b>Lage und Nutzung</b>	in der Siedlung Alt-Schönefeld; Nebenstraße ca. 50 m, Schulgebäude und Lehrerparkplatz jeweils ca. 25 m, nächste Häuser ca. 200 m sowie ein Erdlager und Gewerbegebiet ca. 1 km entfernt; Abstand zur Nord-Start-/Landebahn ca. 2,3 km, die 2015 saniert wurde; an Brachwiese angrenzend auf Wiese neben Fahrradparkplatz auf Schulgelände, 2013 ab Mitte Mai bis Juli wegen Bauarbeiten 20 m versetzt in Richtung Lehrerparkplatz		
<b>Beschreibung</b>	Siedlungsmesspunkt nördlich der Start-/Landebahnen (senkrecht zu Hauptwindrichtung), in ca. 2,5 km Entfernung zur beim Biomonitoring 2011-2013 betriebenen Nord-Start-/Landebahn und in ca. 4 km Entfernung zur Südbahn; ohne Überflug, außerhalb des prognostizierten Einflussbereichs des BER; bei der Gras-Exposition im Mai 2013 sowie im August 2015 Bauarbeiten auf dem Schulgelände		



Bild 2.3-10: Messpunkt MP9 Siedlung Schönefeld (SSN) (Copyright: G. Wicker LIGATUR)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP10</b> KNW Kontrolle Waßmannsdorf	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°22'13" 13°27'37" 38 m
<b>Lage und Nutzung</b>	am westlichen Ortsrand von Waßmannsdorf, ca. 1,4 km west-nordwestlich der Nord-Start-/Landebahn, die 2015 saniert wurde; ca. 200 m vom nächsten Gehöft und ca. 250 m von der Siedlung entfernt; 150 m von Bahngleisen und ca. 400 m von Bundesstraße B96 entfernt; nahe bewachsenem Wall (Bauschutt); in Brachwiese (Ausgleichsmaßnahme); 2015 Straßenbauarbeiten ca. 400 m nördlich in Waßmannsdorf		
<b>Beschreibung</b>	Kontrollmesspunkt west-nordwestlich der beim Biomonitoring 2011-2013 betriebenen Nord-Start-/Landebahn, ohne Überflug, außerhalb des prognostizierten Einflussbereichs des BER; auf Brachweise in Siedlungsrandbereich		



Bild 2.3-11: Messpunkt MP10 Kontrolle Waßmannsdorf (KNW)

<b>Messpunkt Abkürzung Name</b>	<b>MP11</b> SSS Siedlung Schulzendorf	<b>geografische Breite N</b> <b>geografische Länge O</b> <b>Höhe üNN</b>	52°21'32" 13°35'27" 39 m
<b>Lage und Nutzung</b>	Brachwiese auf dem Gelände der Grundschule in der Siedlung Schulzendorf; Nebenstraße in ca. 80 m, Schulsportplatz und Feuerwehrgelände und Baumbestand jeweils in ca. 20 m, nächste Wohnhäuser in ca. 50 m Entfernung; Abstand zum östlichen Ende der Süd-Start-/Landebahn rund 4,7 km		
<b>Beschreibung</b>	Siedlungsmesspunkt westlich der Start-/Landebahnen, in ca. 5,5 km Entfernung zur beim Biomonitoring 2011 bis 2013 betriebenen Nordbahn und im Mai bis Okt. 2015 ohne Überflug; ab BER Überflüge von Starts in Richtung Ost (Überflughöhe ca. 1000 m); Wiese auf Grundschulgelände, durch Baumbestand im Westen teilweise beschattet (Abstand entspricht knapp der Baumhöhe; größerer Abstand war nicht möglich)		



Bild 2.3-12: Messpunkt MP11 Siedlung Schulzendorf (SSS) (Copyright: G. Wicker LIGATUR)



## 3 Stoffe und Methoden

### 3.1 Untersuchte Stoffe

Die Proben aus dem Biomonitoring wurden auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und eine Auswahl von sieben bzw. neun Schwermetallen und anorganischen Spurenstoffen (kurz: Metalle) untersucht: Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer (2015), Nickel, Quecksilber (2015) und Zink.

#### **Antimon:**

Der Kfz-Verkehr, vor allem Stop-and-go-Verkehr mit Abrieb aus Bremsbelägen und Reifenabrieb, ist als Antimonquelle für Einträge in die Umwelt seit langem bekannt (Dietl et al. 1998, Wäber et al. 1998, Krapp und Peichl 2015). Antimon wird als krebserregend eingestuft (Savory und Wills 1984; Dietl et al. 1998).

#### **Arsen:**

Arsen wird z. B. für elektronische Bauteile verwendet. Es ist Bestandteil von Flugasche aus der Kohleverbrennung, ebenso wie etwa Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel, 1998). Regional sind in bestimmten Bodenarten hohe Arsengehalte eine Besonderheit. Geogenes (aus der Erde stammendes) Arsen kann durch Erdbewegungen bei landwirtschaftlicher Aktivität und Bautätigkeit in die Luft gelangen. Wie Antimon hat es ökotoxikologische Bedeutung. Daher hat die EU als Höchstgehalt für Tierfuttermittel 2 mg/kg Arsen bezogen auf 88 % Trockenmasse (TM) festgelegt (FuttMV 2013; vgl. Tabelle 1.3-1).

#### **Blei:**

Der Kfz-Verkehr (Verbrennung bleihaltigen Kraftstoffs) war bis etwa 1995 eine wichtige Quelle für Blei. Heute wird Blei u. a. für die Herstellung von Akkumulatoren gebraucht. Es gelangt, neben der Kohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998) vornehmlich aus früheren Einträgen wieder in die Umwelt. 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 Anreicherung von Blei über die Nahrungskette versucht man den Bleigehalt in der Umwelt zu reduzieren (Umweltatlas Hessen 2005). Aufgrund seiner ökotoxikologischen Bedeutung definiert die EU als Futtermittel-Höchstgehalt 30 mg/kg Blei bezogen auf 88 % TM (FuttMV 2013) und als Höchstgehalt für Lebensmittel des Menschen 0,3 mg/kg Blei in der Frischmasse (FM) für Kohlgemüse (VO (EG) Nr. 1881/2006 mit Nr. 629/2008; vgl. Tabelle 1.3-1 und Tabelle 1.3-2).

#### **Cadmium:**

Cadmium (Cd) kann, neben der Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998), vornehmlich durch den Kfz-Verkehr, die Zinkverhüttung und den Kunstdüngereinsatz in die Umwelt gelangen (z. B. Merian 1984). Aufgrund der ökotoxikologischen Bedeutung – Cadmium ist als krebserregend eingestuft – definiert die EU als Höchstgehalt für Tierfuttermittel 1 mg/kg Cadmium bezogen auf 88 % TM (FuttMV 2013) und 0,2 mg/kg FM als Lebensmittel-Höchstgehalt in Blattkohl (VO (EG) Nr. 1881/2006 mit Nr. 488/2014; vgl. Tabelle 1.3-1 und Tabelle 1.3-2).

#### **Chrom:**

Chrom gelangt u. a. durch den Kfz-Verkehr (z. B. aus Bremsbelägen) und industrielle Anwendungen (Stahlherstellung) in die Umwelt (Merian 1984, Peichl et al. 1994). Als Spurenelement ist Chrom lebensnotwendig. „Für die toxischen Eigenschaften sind die sechswertigen Chromverbindungen verantwortlich. Sie wirken ätzend auf Haut und Schleimhaut, können u. a. Leber- und Nierenschäden verursachen und haben karzinogene [Anm.: krebserregende] Wirkung“ (Umweltatlas Hessen 2005). Aufgrund der ökotoxischen Eigenschaften ist eine Maximale Immissionsdosis (MID) nach VDI-Richtlinienreihe 2310 für Schaf- und Rinder-Futtermittel von 50 mg/kg Chrom-gesamt bezogen auf 88 % TM definiert (vgl. Tabelle 1.3-1).

#### **Kupfer (2015 untersucht):**

Anthropogene (von menschlicher Aktivität herrührende) Quelle von Kupfer (Cu) ist, neben industriellen Prozessen, vornehmlich der Kfz-Verkehr: Bremsbelag- und Reifenabrieb. (Peichl et al. 1994, Dietl et al. 1998). Einerseits ist Kupfer als Spurenelement lebensnotwendig, andererseits hat es ökotoxische Eigenschaften. Die MID-Werte liegen zwischen 10 bis 50 mg/kg Kupfer bezogen auf 88 % TM für Schaf- und Rinder-Futtermittel nach VDI-Richtlinienreihe 2310 (vgl. Tabelle 1.3-1).

#### **Nickel:**

Industrielle Prozesse, Bergbau und Kfz-Verkehr (Abrieb aus Bremsbelägen) sind, neben Steinkohleverbrennung (Rentz und Martel, 1998), relevante Quellen für Nickel (Merian 1984, Schinner 1989). Im menschlichen Organismus kommt Nickel als Spurenelement vor. In höheren Konzentrationen kann es allergische Hautreaktionen und die Reizung der Atemwege bewirken. Nickel sowie manche seiner Verbindungen sind als karzinogen eingestuft. Aufgrund dieser Eigenschaften ist ein MID-Werte von 50 mg/kg Nickel bezogen auf 88 % TM nach VDI-Richtlinienreihe 2310 für Schaf- und Rinder-Futtermittel definiert (vgl. Tabelle 1.3-1).

#### **Quecksilber (2015 untersucht):**

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

Martel, 1998, Jensen und Ruzickova, 2007, UBA 2014). Es besitzt ökotoxische Bedeutung, weshalb MID-Werte von 0,05 bis 0,1 mg/kg Quecksilber bezogen auf 88 % TM nach VDI-Richtlinienreihe 2310 für Schaf- und Rinder-Futtermittel definiert (vgl. Tabelle 1.3-1) und VO (EU) Nr. 1881/2006 ff. für andere Lebensmittel – nicht für Blattkohl – Höchstgehalte von 0,1 bis 1 mg/kg FM nennt.

#### Zink:

Zink (Zn) gilt als Indikator für den geogenen wie anthropogenen Staubeintrag. Anthropogene Quellen für den Eintrag von Zink in die Umwelt können Korrosionsschutz, Reifen und Bremsen, Straßenbelag und Düngemittel in der Landwirtschaft sein; Zink ist für den Menschen einerseits ein wichtiges Spurenelement. In hohen Konzentrationen kann es negativ auf Gewässer und Ökosysteme wirken (Hüffmeyer 2007). Die MID-Werte für Zink betragen 300 bis 500 mg/kg Zink bezogen auf 88 % TM nach VDI-Richtlinienreihe 2310 für Schaf- und Rinder-Futtermittel (vgl. Tabelle 1.3-1).

#### PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe):

Die 16 untersuchten PAK-Verbindungen sind aufgrund ihrer Häufigkeit und Umweltrelevanz als „Priority Pollutants“ definiert. Diese Auswahl der 16 EPA-PAK aus den mehreren 100 organischen 2- bis 7-Ringverbindungen wird entsprechend nach US Environmental Protection Agency (EPA610) berücksichtigt und nach VDI-Richtlinien 3957 Blatt 2 und 3 (Entwurf 2013 und 2008). PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Materialien. Wichtige Quellen sind Kraftstoffverbrennung im Verkehr, Kokerzeugung, Verbrennung in Kraftwerken und häuslichen Kleinf Feuerungsanlagen (sog. genannter Hausbrand) (z. B. Levsen et al. 1990). 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).

Tabelle 3.1-1: Untersuchte 16 EPA-PAK

leichter flüchtige PAK	schwerer flüchtige PAK	davon PAK4 (nach VO (EU) Nr. 835/2011)
Naphthalin (NAP)	Phenanthren (PHE)	Benzo[a]pyren (BaP)
Acenaphthylen (ACY)	Pyren (PYR)	Benzo[a]anthracen (BaA)
Acenaphthen (ACE)	Anthracen (ANT)	Benzo[b]fluoranthren mit Benzo[j]- (BbjF)
Fluoren (FLE)	Dibenzo(a,h)anthracen (DBahA)	Chrysen mit Triphenylen (CHR)
	Fluoranthren (FLU)	
	Benzo[k]fluoranthren (BkF)	
	Indeno[1,2,3,-cd]pyren (INP)	
	Benzo[g,h,i]perylen (BghiP)	

Die EU hat für Futtermittel und für Gemüselebensmittel keine Höchstgehalte festgelegt. Höchstgehalte für die Leitsubstanzen Benzo[a]pyren (BaP) und die Summe der vier PAK BaP, Benzo[a]anthracen,

Benzo[b]fluoranthen und Chrysen (PAK4) sind in VO (EU) Nr. 835/2011 für im Wesentlichen fetthaltige Nahrungsmittel definiert:

- 1 µg/kg bis 6 µg/kg BaP als strengster Wert z. B. für Säuglingsnahrung bis zum höchsten Wert für geräucherte Muscheln (µg/kg: 1 Milliardstel Gramm pro Kilogramm) und analog
- 1 µg/kg bis 35 µg/kg PAK4.

### 3.2 Parallelexposition zur Ermittlung der Verfahrensstreuung

Beim emittentenbezogenen Biomonitoring gemäß VDI-Richtlinie 3957 Blatt 10 (2004, in Überarbeitung) soll unter anderem die Frage geklärt werden, ob die gemessenen Stoffgehalte im Hintergrundbereich liegen oder **immissionsbedingt** erhöht sind (vgl. Kapitel 1.3.1). Für die Bestimmung von immissionsbedingten Gehalten – **Immissionswirkungen** – sind die Kenntnisse darüber grundlegend, wie hoch der **Hintergrund**gehalt eines zu untersuchenden Stoffes in den Bioindikatoren ist und wie stark er streut. Die Variabilität der Stoffgehalte wird als wichtiger Aspekt der **Gesamtunsicherheit** (= Verfahrensstreuung) betrachtet. Dazu wurden 2015 am Hintergrundmesspunkt MP4 mit Parallele MP4p und am Messpunkt MP1 mit erwarteter höherer Belastung mit Parallele MP1p parallele Expositionen untersucht. Folgende Ereignisse schränkten dies ein:

- Im Jahr 2015 fiel die 3. Graskulturexposition an MP4 / MP4p wegen Vandalismus aus.
- Ersatzweise wurde der zweite Hintergrundmesspunkt MP7 in der 3. Exposition parallel beprobt und analysiert.
- Im Jahr 2013 waren die Graskulturen an MP4 / MP4p der 1. und der 2. Expositionen durch Vandalismus zerstört, so dass nur das Wertepaar aus der 3. Exposition betrachtet werden konnte;
- eine Parallelexposition war am MP1 / MP1p im Jahr 2013 nicht vorgesehen.

Gemäß VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (2013 Entwurf) wird die relative Differenz der Parallelprobenbefunde ermittelt: aus den Stoffgehalten der Parallelproben je Wertepaar wird die Differenz gebildet und durch den Mittelwert der Parallelproben dividiert. Die relative Differenz wird als Maß für die Variabilität verwendet. Bei deutlichen Abweichungen von Erfahrungswerten (z.B. in VDI 3957/2 2013 Entwurf) sind Nachbestimmungen ratsam. Wird die Abweichung bestätigt, ist die erhöhte Streuung bei der Ergebnisbewertung zu beachten.

### 3.3 Biomonitoring-Verfahren

Die hier angewendeten Gras- und Grünkohlkultur-Normverfahren – Gras als Vertreter von Vegetation und Futtermitteln und Grünkohl als Lebensmittel des Menschen – sind seit vielen Jahren erprobt und die in der EU die am häufigsten eingesetzten. Die Bioindikator-Kulturen werden ohne Vorbelastungen standardisiert angezogen und im Untersuchungsgebiet bestimmte Zeit aufgestellt. Während der Exposition reichern die Bioindikatoren die Schadstoffe aus der Luft an, danach werden sie geerntet und

ungewaschen analysiert. Grundvoraussetzungen, um mit Biomonitoring unterschiedliche Messpunkte im Untersuchungsgebiet zu vergleichen (vgl. Kapitel 2), sind homogene Anzuchtbedingungen sowie Entwicklungsstadien der Bioindikatoren. Der standardisierten Durchführung liegen VDI-Richtlinien zugrunde (VDI 3957/2, 3 und 10, Entwurf 2013, 2008 und 2004 in Überarbeitung).

### 3.3.1 Verfahren der standardisierten Graskultur

Standardisierte Graskulturen (VDI 3957/2 Entwurf 2013) wurden zur Untersuchung von Metall- und PAK-Immissionswirkungen im Zeitraum Juni bis August 2015 in jeweils vierwöchigen Abschnitten im Untersuchungsgebiet exponiert (siehe Titelbild), davor im Zeitraum Mai bis Juli 2013, außerdem für PAK-Untersuchungen an drei ausgewählten Messpunkten im Mai 2012.



Bild 3.3-1: Standardisierte Graskultur bei Exposition (Copyright G. Wicker LIGATUR)

Diese Wechselkultur von Welschem Weidelgras (*Lolium multiflorum italicum* Sorte Lema), einer der wichtigsten Nutzasarten, wächst in Pflanztöpfen (hier: Durchmesser von 20 cm) mit automatischer Wasserversorgung. Das Gras fungiert als eine Art Bürste, an dessen großer Oberfläche Staub und

Schadstoffe anhaften und teilweise aufgenommen werden (Peichl et al. 1994). An den Messpunkten waren jeweils drei Kulturen exponiert, an den Parallelmesspunkten MP1p und MP4p zwei Kulturen, im Jahr 2012 je zwei Kulturen an den Messpunkten MP1, MP4 und MP5. Zu Beginn der Exposition wurden die Kulturen mit einer Keramikscherre abgeschnitten und vor Ort in Übertöpfe mit Überlauföffnung gehängt, die die Wasserversorgung während der Exposition sicherstellten (vgl. Bild 3.3-1). Nach 14 Tagen (+/-1 Tag) wurden die Graskulturen gedüngt, kontrolliert und Wasser nachgefüllt. Nach 28 Tagen wurde der Zuwachs geerntet und unverzüglich ins Labor transportiert.

Alle relevanten Informationen wurden richtliniengemäß dokumentiert (wie auch beim Grünkohlverfahren, siehe Kapitel 3.3.2). Am Referenzmesspunkt MP4/MP4p kam es wiederholt zu Vandalismus:

- Im Jahr 2015 entfiel der 3. Expositionsabschnitt standardisierter Graskulturen, nachdem Unbekannte die Expositionsgeräte während der Exposition entwendet hatten.
- Gleiches war 2012 und 2013 während der ersten beiden Expositionsabschnitte vorgefallen.

### 3.3.2 Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl

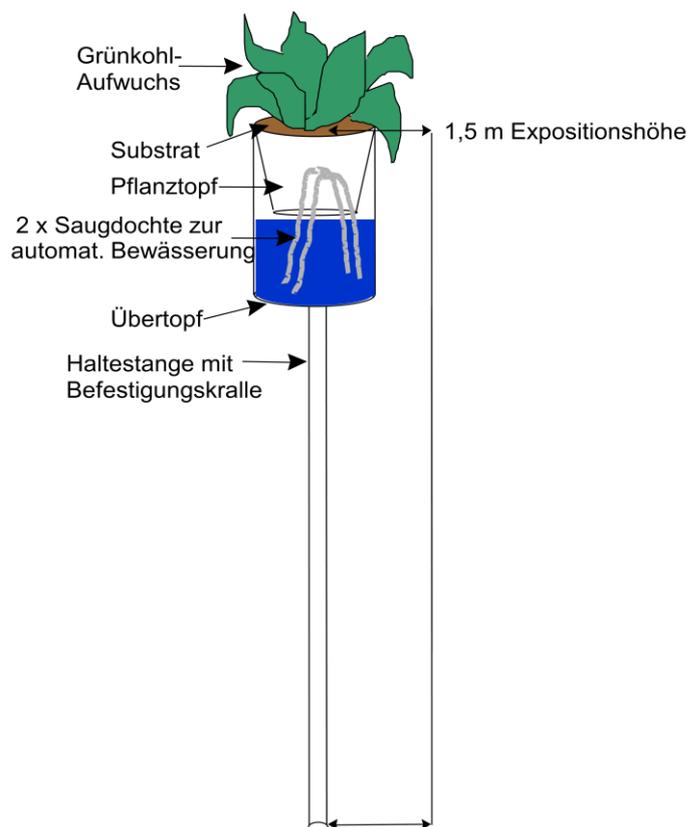


Bild 3.3-2: Standardisierter Grünkohl - vereinfachte schematische Skizze (nach Wäber 1999)

Die standardisierte Exposition von Grünkohl wurde zur Untersuchung von Metall- und PAK-Immissionswirkungen im Zeitraum Oktober und November 2011 und 2012 verwendet. Seine hohe Frostresistenz macht den Grünkohl besonders geeignet zur Untersuchung von Immissionswirkungen im Herbst bis Winter (z. B. Radermacher und Rudolph 1994).

Grünkohl *Brassica oleracea acephala* der Sorten „Hammer/Grüsa“ und „Halbhoher Grüner Krauser“ wurde entsprechend VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3 (2008 und ihrer Fortentwicklung) verwendet. Die Grünkohlkulturen wurden jeweils während eines 8-wöchigen Expositionszeitraums von Ende September bis Ende November in Töpfen mit 20 cm Durchmesser im expositionsreifen Stadium ausgebracht (vgl. Bild 3.3-2): je drei Grünkohlkulturen pro Messpunkt und an den Parallelmesspunkten MP1p und MP4p je zwei. Der Transport zu den Messpunkten erfolgte zum Schutz vor Kontaminationen einzeln in verschlossener Plastikhülle. Nach zwei, vier und sechs Wochen (+/- 1 Tag) wurden die Grünkohlkulturen kontrolliert, Wasser nachgefüllt sowie nach vier Wochen gedüngt und vor Frostbruch geschützt. Nach 8-wöchiger Exposition wurde der Grünkohl geerntet (siehe Bild 3.3-3) und verzögerungsfrei ins Labor transportiert.



Bild 3.3-3: Probenahme von Grünkohl (Copyright G. Wicker LIGATUR)

Folgende Besonderheiten wurden dokumentiert:

- Im Jahr 2011 wurde das Winterweizenfeld am Messpunkt MP6 in Kalenderwoche (KW) 44 mit einem Pestizid gespritzt. Um die Grünkohlkulturen dabei nicht zu beschädigen oder zu kontaminieren, wurden sie während dieser Aktion entfernt und luftdicht abgeschlossen.
- Am Messpunkt MP7 lag 2011 eine der drei Grünkohlkulturen mit Übertopf am Boden, da die Expositionsstangen und Haltekralen (vgl. Bild 3.3-2) entwendet worden waren. Die Probenmenge einer verbleibenden Grünkohlkultur reichte wegen guten Wuchses für die PAK-Analyse.
- Im Jahr 2012 waren am Referenzmesspunkt MP4/MP4p nach KW 43 alle Stangen und Haltekreuze entwendet worden, so dass die Grünkohlexponate dort bis KW 47 zwar unbeschadet aber in ca. 0,5 m statt in 1,5 m Höhe über dem Boden exponiert waren.

### 3.4 Analysenverfahren

Die Analysen auf die Spuren- und Schwermetalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer (2015), Nickel, Quecksilber (2015) und Zink sowie auf die 16 EPA-PAK wurden von den langjährigen, erfahrenen Partnerlaboren von UMW durchgeführt.

#### Spuren- und Schwermetall-Bestimmung:

Die Pflanzenproben wurden ungewaschen bei 30°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und der Trockenrückstand entsprechend DIN 38414-S2 bestimmt. Nach Homogenisierung der jeweils gesamten Probe wurde diese unter Hockdruck mit Salpetersäure aufgeschlossen. Die Metallbestimmungen erfolgten nach DIN EN 15763 Norm mit Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS), gegen externe Kalibrierung mit Matrix angepassten zertifizierten Standards. Folgende analytische Bestimmungsgrenzen in mg/kg Trockenmasse (TM) konnten eingehalten werden:

As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb <sub>2015</sub>	Sb <sub>davor</sub>	Zn
0,025	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05	0,05	0,05	0,025-0,04	0,25

#### PAK-Bestimmung:

Die jeweils gesamte angelieferte Mischprobe pro Messpunkt wurde gefriergetrocknet und anschließend homogenisiert. Die PAK-Bestimmung erfolgte in Anlehnung an DIN ISO 12884 (2000) mittels hochauflösender Gaschromatographie (HRGC), massenselektiver Detektion (MSD, niederauflösende Massenspektrometrie) sowie unter Verwendung der Isotopenverdünnungsmethode. Als Extraktionsstandards wurden sechs deuterierte (mit Deuterium-Isotop markierte) PAK eingesetzt: d8-Naphthalin, d10-Acenaphthen, d10-Phenanthren, d10-Fluoranthren, d12-Benzo[a]pyren, d14-Dibenzo[a,h+ac]anthracen. Die Kontrolle der Wiederfindungen erfolgte gegen d10-Pyren als Surrogat-Standard. Dabei wurde eine Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg TM je PAK erreicht.

## 4 Ergebnisse

Die Biomonitoringverfahren werden standardisiert angewendet. Die verfahrensbeeinflussenden, internen Faktoren wie z. B. Anzuchtsubstrat, Wasserversorgung, Pflanzenzustand und -alter werden gleich gehalten, damit die Ergebnisse untereinander vergleichbar werden. Äußere Einflüsse wie die der Witterung, die auch auf die Vegetation einwirken, zeigen die Verfahren hingegen mit an. Daher ist es für die Bewertung der Untersuchungsergebnisse wichtig, die Witterungseinflüsse im Untersuchungszeitraum zu kennen (siehe Kapitel 4.1).

Die Variabilität der Stoffgehalte wird als wichtiger Aspekt der Verfahrensstreuung berücksichtigt (siehe Kapitel 4.2). Dazu wurden an einem Messpunkt mit geringen erwarteten Stoffeinträgen und einem mit vermuteten höheren Immissionswirkungen Parallelproben exponiert und analysiert (vgl. Kapitel 3.2). Darüber hinaus wurden ausgewählte Proben auch jeweils doppelt aufgeschlossen und analysiert, um die analytische Messunsicherheit<sup>4</sup> zu prüfen. Aus diesen Doppelbestimmungen wurden, sofern die Ergebnisse nicht auffällig voneinander abwichen, jeweils Mittelwerte gebildet. Sie werden mit den Messwerten aus Einfachbestimmungen verglichen.

Ab Kapitel 4.4 sind die Ergebnisse des Graskultur-Biomonitorings 2015 im Vergleich zu 2013 nach untersuchten Stoffen dargestellt. Eine zusammenfassende Bewertung des Biomonitorings auf Metalle und PAK, einschließlich des Grünkohl-Biomonitorings 2011 und 2012 findet sich in Kapitel 4.13.

Die nachfolgenden Ergebnisse des Graskultur-Biomonitorings 2015 und 2013 sind im Messpunktevergleich tabellarisch und grafisch dargestellt, um zu untersuchen:

- ob die Stoffe in den Bioindikatoren nachweisbar sind und
- an unterschiedlichen Messpunkten unterschiedlich hoch sind;
- falls Unterschiede auftreten: in welcher räumlichen Ausdehnung sie feststellbar sind;
- ob sie im **Hintergrund**bereich liegen, vereinzelt immissionsbeeinflusst, oder systematisch **immissionsbedingt** erhöht sind;
- ob **Immissionswirkungen** auf **Emittente**inflüsse zurückgeführt werden können;
- wie hoch sie im Vergleich mit anderen Untersuchungsgebieten sind;
- ob eine Beeinflussung oder Gefährdung von Mensch und Tier vorliegen könnte;
- wie Stoffgehalte und Immissionswirkungen 2015 sich im Vergleich zu vorangegangenen Messungen entwickelt haben.

Die lokalen **Referenzmesspunkte** MP4 mit Parallele MP4p und MP7 repräsentieren, als Hintergrundmesspunkte abseits von Quelleneinflüssen, die typische Hintergrundsituation im weiteren Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld. Die dortigen Stoffgehalte und die in den Bioindikatoren an den übrigen Messpunkten im Untersuchungsgebiet werden direkt miteinander verglichen und mit dem **Orientierungswert** für den maximalen Hintergrundgehalt (**OmH**). Sie werden indirekt mit aktuellen

---

<sup>4</sup> Die analytische Messunsicherheit repräsentiert einen Aspekt der Gesamtunsicherheit, d. h. der Verfahrensstreuung.

Ergebnissen anderer Untersuchungen verglichen. Teilweise liegen neben Orientierungswerten Richtwerte und Höchstgehalte für Futtermittel als Prüfwerte vor (vgl. Tabelle 1.3-1). Durch den Vergleich mit dem Gehalt im Bioindikator wird eine indirekte Gefährdungsbeurteilung vorgenommen.

## 4.1 Witterungseinflüsse

Windrichtung mit Windgeschwindigkeit (siehe Kapitel 4.1.1) und Niederschlagsverhältnisse (siehe Kapitel 4.1.2) sind jeweils in den vierwöchigen Expositionszeiträumen der Graskulturen dargestellt. Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten wurden an der Luftgütemessstelle der FBB am Flughafen Schönefeld gemessen. Die Windrosen-Darstellungen, vormals vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV) übernommen, wurden aktuell von der FBB Umwelt<sup>5</sup> erstellt. Die Niederschlagsdaten stammen von der LUGV-Messstation Blankenfelde-Mahlow.

### 4.1.1 Windrichtung und Windgeschwindigkeit

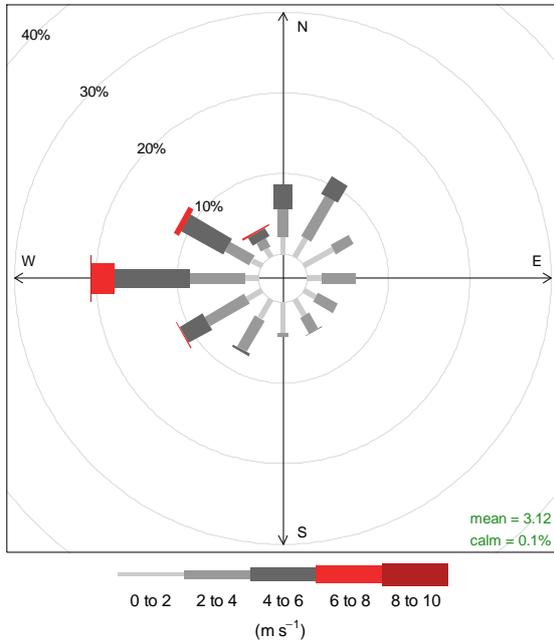
Während der 1. vierwöchigen Graskulturexposition im Juni 2015, vom 4.6. bis 1.7.2015, wehte der Wind im Untersuchungsgebiet ganz vorwiegend aus westlichen Richtungen mit geringen Windgeschwindigkeiten (siehe Bild 4.1-1), hauptsächlich genau aus West mit bis zu mäßigen Geschwindigkeiten. Während der 2. Graskulturexposition im Juni 2015, vom 2.7. bis 29.7.2015, wehte der Wind wieder vorwiegend aus west-südwestlichen Richtungen, ein noch geringerer Anteil schwach aus östlichen Richtungen (siehe Bild 4.1-2). Westwinde und Winde aus West-Südwest erreichten dabei mäßige bis starke Windgeschwindigkeiten, bis 13 m/s (Meter pro Sekunde). Die Windsituation während der 3. Graskulturexposition 2015, vom 30.7. bis 26.8.2015, war dazu unterschiedlich: die Winde wehten zu etwa gleichen Anteilen aus östlichen und aus westlichen Richtungen (siehe Bild 4.1-3). Ostwinde traten allerdings mit geringen Windgeschwindigkeiten auf, Westwinde mit mäßigen Windgeschwindigkeiten, Winde aus West-Südwest mit den stärksten Winden und Windgeschwindigkeiten bis 10 m/s. Insgesamt waren während der 1. und 2. Expositionen von **Juni bis Juli 2015 die Windverhältnisse relativ ähnlich, vorwiegend von westlichen Winden geprägt.**

Während der 1. Graskulturexposition im Mai 2013, vom 8.5. bis 4.6.2013, wehte der Wind zu etwa zwei Dritteln aus westlichen bis südwestlichen Richtungen, mit geringen bis mäßigen Windgeschwindigkeiten (siehe Bild 4.1-4) und zu etwa einem Drittel wehten Winde aus östlichen Richtungen mit geringeren Windgeschwindigkeiten. Während der 2. Graskulturexposition im Juni 2013, vom 5.6. bis 4.7.2013, wehte der Wind wieder vorwiegend aus westlichen Richtungen, ein geringerer Anteil aus östlichen (siehe Bild 4.1-5). Westliche Winde erreichten dabei geringe bis mäßige Windgeschwindigkeiten, östliche Winde nur geringe bis schwache Windgeschwindigkeiten. Während der 3. Graskulturexposition im Juli 2013, vom 5.7. bis 4.8.2013, wehten die Winde vorwiegend aus West und aus West-Nordwest mit geringen bis mäßigen Windgeschwindigkeiten. Ostwinde traten deutlich weniger auf und waren gering bis schwach (siehe Bild 4.1-6). Insgesamt waren die drei Expositionsabschnitte von **Mai bis Juli 2013 vorwiegend von westlichen Winden geprägt.**

---

<sup>5</sup> mittels Statistiksoftware „R“, Zusatzpaket „openair“ (Carslaw 2015)

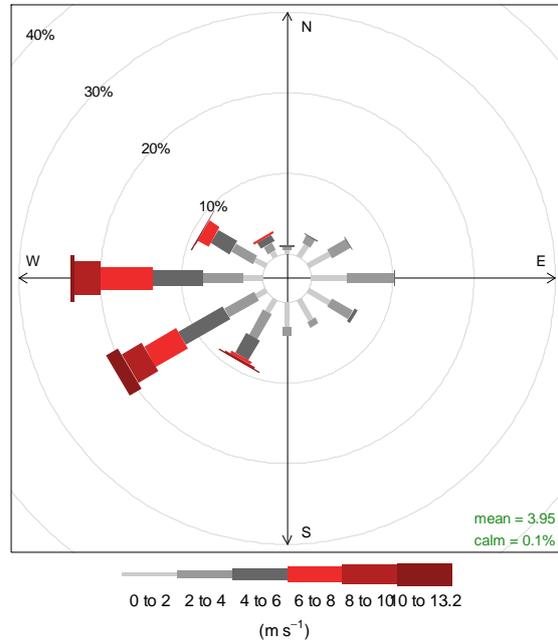
Windverteilung 4.6.-1.7.2015 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-1: Windverteilung 4.6.-1.7.2015

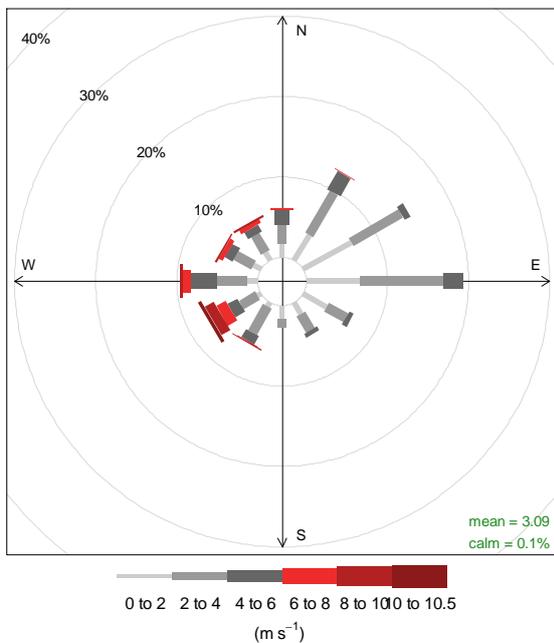
Windverteilung 2.7.-29.7.2015 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-2: Windverteilung 2.7.-29.7.2015

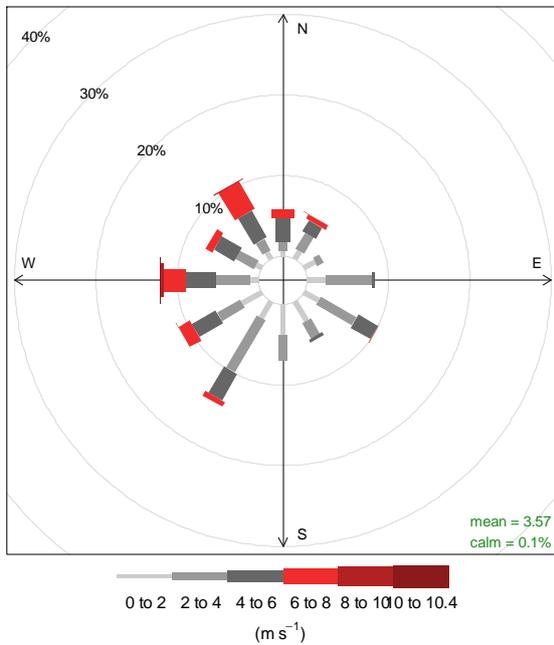
Windverteilung 30.7.-26.8.2015 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-3: Windverteilung 30.7.-26.8.2015

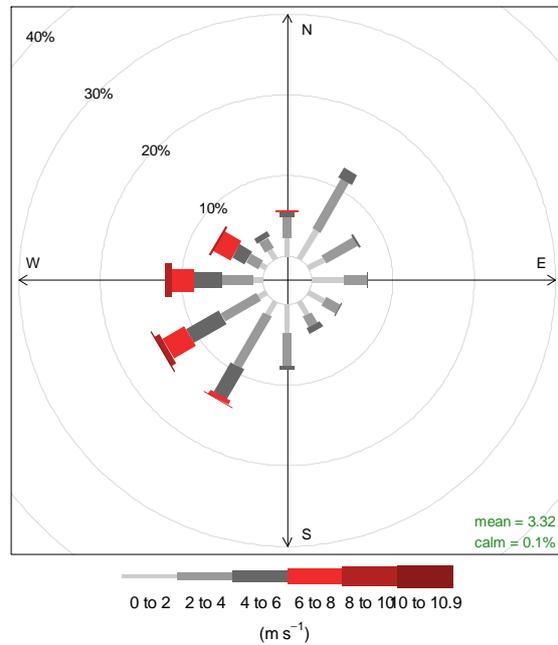
Windverteilung 8.5.-4.6.2013 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-4: Windverteilung 8.5.-4.6.2013

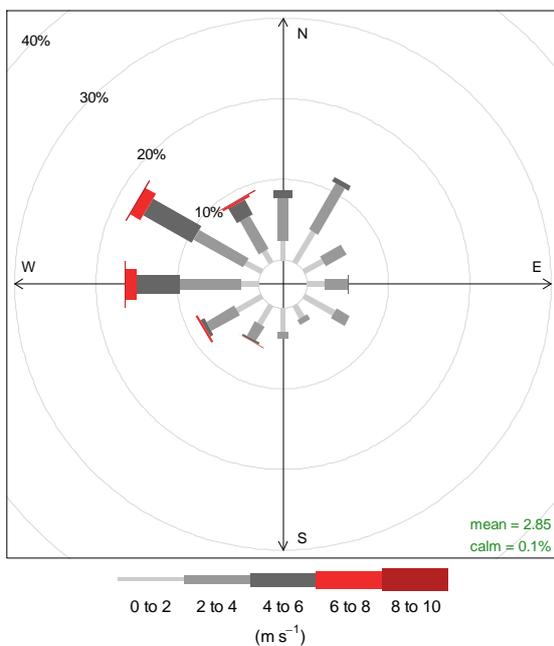
Windverteilung 5.6.-4.7.2013 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-5: Windverteilung 5.6.-4.7.2013

Windverteilung 5.7.-4.8.2013 @ SXF



Frequency of counts by wind direction (%)

Bild 4.1-6: Windverteilung 5.7.-4.8.2013

Zum Vergleich die Windverhältnisse bei den achtwöchigen Grünkohlexpositionen: Im Oktober 2011 herrschten während der 1. vier Wochen der Grünkohlexposition westliche Winde vor, während die Winde in den 2. und eigentlich entscheidenden vier Wochen im November 2011 fast ausschließlich aus Ost kamen – mit geringen bis schwachen Geschwindigkeiten. Im Jahr 2012 hingegen glichen die 1. und 2. vier Wochen der Grünkohlexposition einander: mit vorwiegend west-südwestlichen Winden, mit geringen bis hin zu mäßigen Geschwindigkeiten.

#### 4.1.2 Niederschlagsmengen

Insbesondere Niederschläge in der zweiten Hälfte des Expositionszeitraumes können auf den Bioindikatorkulturen deponierte Schadstoffe abwaschen.

Während der 1. Graskulturexposition im Juni 2015 fielen insgesamt 43 mm Niederschlag, mit 35 mm überwiegend in der zweiten Expositionshälfte (NH, siehe Tabelle 4.1-1). Während der 2. Graskulturexposition im Juli 2015 fielen rund 50 mm Niederschlag, in etwa gleiche Mengen in beiden Expositionshälften. In der 3. Graskulturexposition im August 2015 fiel fast nur während der zweiten Expositionshälfte Niederschlag: mit 16 mm etwas weniger als in der zweiten Expositionshälfte der vorangegangenen Exposition im Juli. **Während der Graskulturexpositionen 2015 regnete es auch (2. Exposition) bzw. vorwiegend in der jeweils zweiten Expositionshälfte (1. und 3. Exposition).**

Tabelle 4.1-1: Niederschlagsmengen während des Graskultur-Biomonitorings 2013 und 2015

Niederschlagshöhe NH während Graskultur-Biomonitoring: LUGV-Station Blankenfelde-Mahlow					
Gras 2015	Exposition	NH in mm	Gras 2013	Exposition	NH in mm
Exposition 1 Juni 2015	04.06.-17.06.2015	8	Exposition 1 Mai 2013	08.05.-21.05.2013	11
	18.06.-01.07.2015	<b>35</b>		21.05.-04.06.2013	<b>78</b>
Exposition 2 Juli 2015	02.07.-15.07.2015	31	Exposition 2 Juni 2013	05.06.-19.06.2013	8
	16.07.-29.07.2015	<b>21</b>		19.06.-04.07.2013	<b>56</b>
Exposition 3 Aug. 2015	30.07.-12.07.2015	1	Exposition 3 Juli 2013	05.07.-19.07.2013	0
	13.07.-26.08.2015	<b>16</b>		19.07.-04.08.2013	<b>46</b>

Die 1. Graskulturexposition 2013 im Mai wurde von sehr hohen Niederschlägen begleitet: mit rund 90 mm siebenmal mehr während der zweiten Expositionshälfte als während der ersten Hälfte (vgl. Tabelle 4.1-1). Im Juni 2013 fielen rund 60 mm Niederschlag, wiederum während der zweiten Expositionshälfte siebenmal mehr. Während der 3. Graskulturexposition im Juli 2013 regnete es nur während der zweiten Expositionshälfte: 46 mm Niederschlag - damit halb so viel wie im Mai. **Das Graskultur-Biomonitoring 2013 war von hohen Niederschlägen jeweils in der zweiten Expositionshälfte geprägt.**

Im Mai 2012 – während der 1. Exposition von Graskulturen im Untersuchungsgebiet – herrschten Westwinde vor und es fiel vorwiegend während der zweiten Hälfte des Expositionszeitraums Regen.

Der Expositionszeitraum von Grünkohlkulturen 2011 war nicht nur hinsichtlich der Ostwindlagen, sondern auch hinsichtlich der Niederschlagsmengen außergewöhnlich. Zwar lagen die Niederschlagsmengen während der ersten vier Expositionswochen bis Mitte Oktober im Durchschnitt vorangegangener Jahre. Ab Mitte Oktober und während der zweiten Expositionshälfte von Grünkohl 2011 regnete es im Gegensatz zu anderen Jahren aber überhaupt nicht. Im Jahr 2012 fielen während der Grünkohl-exposition während der zweiten Expositionshälfte, im November, Niederschläge. Sie lagen mit 18 mm aber unter dem langjährigen Mittel.

## 4.2 Verfahrensstreuung

Die Verfahrensstreuung - **Gesamtunsicherheit** – sollte bei der Interpretation der Ergebnisse soweit möglich berücksichtigt werden. Die Variabilität der Stoffgehalte gilt als wichtiger Aspekt der Gesamtunsicherheit. Wie zur Ermittlung vorgegangen wurde, ist in Kapitel 3.2 beschrieben (gemäß VDI3957/2 2013 Entwurf).

Tabelle 4.2-1: Variabilität der Stoffgehalte aus Graskultur-Parallelexposition

Mittelwert der Variabilität als relative Differenz in % (Min-Max rel. Differenz der Wertepaare)	Variabilität (7-8 Parallelen MP1, MP4)	Erfahrungswert (ca. 30 Parallelen, VDI 3957/2)
Antimon (Sb) (Bestimmungsgrenze 0,04 / 0,05 mg/kg TM)	in allen Parallelen <BG	31% (12-62%)
Arsen (As)	10% (2-23%)	9% (5-22%)
Blei (Pb)	19% (0-46%)	13% (kein akt. Erfahrungswert)
Cadmium (Cd)	16% (2-38%)	14% (10-32%)
Chrom (Cr)	14% (4-33%)	15% (10-19%)
Kupfer (Cu) 2015 (in 4 Parallelen)	9% (2-25%)	10% (6-15%)
Nickel (Ni)	15% (3-33%)	9% (7-12%)
Quecksilber (Hg) 2015 (in 4 Parallelen)	6% (0-9%)	10% (7-16%)
Zink (Zn)	15% (3-31%)	9% (7-16%)
Summe 16 EPA-PAK (inkl. leichter flüchtige PAK)	10% (4-24%)	kein aktueller Erfahrungswert

Die für den jeweiligen Stoff typischen Eintragsformen – z. B. dass Blei bzw. Cadmium vorwiegend als grobe Partikel bzw. als Feinstaub in die Umwelt eingetragen werden – beeinflussen die Gesamtunsicherheit. Dies hatte sich für bereits für Blei und Cadmium in Grünkohl 2011 und 2012 gezeigt. **Im Vergleich zu Erfahrungswerten höhere stoffspezifische Variabilitäten (vgl. Tabelle 4.2-1), wie**

**z. B. der Bleiergebnisse mit 19 %, oder der Nickel- und Zinkergebnisse mit jeweils 15 %, findet bei der Ergebnisbewertung Beachtung (siehe Kapitel 4.5, 4.9 und 4.11).**

Aufgrund auffälliger Spannbreiten bei Blei und Cadmium in den Parallelproben der 3. Graskultur-Exposition an MP4 / MP4p 2013 waren diese Proben und die zeitgleiche vom Messpunkt MP1 doppelt analytisch aufgeschlossen und doppelt auf Blei, Cadmium und Chrom analysiert worden. An MP1 FOS betrug die analytische Abweichung für Blei, Cadmium und Chrom maximal 10%. Im Jahr 2013 wurde jeweils der Mittelwert aus den Doppelanalysen verwendet.

Tabelle 4.2-2: Analytische Messunsicherheit – Metall-Doppelbestimmung MP4 und MP4p

<b>Spannbreite (range) bei Metall-Doppelbestimmung: 3. Graskulturexposition 2013</b>						
Stoff (mg/kg TM)	MP4-Erst	MP4-Doppel	MP4p-Erst	MP4p-Doppel	range MP4	range MP4p
Blei (Pb)	0,13	0,12	0,21	0,18	10%	11%
Cadmium (Cd)	0,029	0,026	0,036	0,035	11%	3%
Chrom (Cr)	0,28	0,24	0,29	0,25	14%	16%
Spannweite range = hier Differenz zwischen je einem Messwertepaar						

### 4.3 Antimongehalte in standardisierter Graskultur

#### Wertebereich:

Antimon war bei einer analytischen Bestimmungsgrenze (BG) von 0,04 mg/kg TM 2013 nur in vier von 31 Graskulturproben auffindbar. Im Jahr 2015 lagen alle Ergebnisse unterhalb der BG von 0,05 mg/kg TM. „Werte“ kleiner Bestimmungsgrenze sind in Bild 4.3-1 und Bild 4.3-2 jeweils mit deren halbem „Wert“ dargestellt.

Die stoffspezifische Variabilität liegt laut Erfahrungswerten anderer Biomonitorings bei rund 30 % (VDI 3957/2 2013 Entwurf; vgl. Kapitel 4.2).

#### Messpunktevergleich:

An den lokalen Referenzmesspunkten MP4 mit Parallele MP4p in der Zülowniederung und MP7 bei Genshagen lagen alle Antimongehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Nur mit der ersten Graskulturexposition 2013 wurden vereinzelt Antimongehalte darüber, aber nahe BG ermittelt: Diese Antimonwerte lagen nah an der BG: 0,045 mg/kg TM am Messpunkt MP9 in Schönefeld, jeweils 0,046 mg/kg TM am Messpunkt MP5 Flughafen Südwest und MP8 Kontrolle Rotberg (beide an der 2013 nicht betriebenen Start- und Landebahn Süd des Flughafens Berlin Schönefeld) und 0,055 mg/kg TM am MP10 Kontrolle Waßmannsdorf. **Diese Antimongehalte lagen deutlich unter der Schwelle für Immissionseinflüsse: unter dem Orientierungswert für den ländlichen Hintergrund OmH von 0,08 mg/kg TM** (siehe Bild 4.3-1 und Bild 4.3-2).

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Der Kfz-Verkehr – mit Abrieb aus Bremsbelägen und Reifenabrieb im Stop-and-go-Verkehr – ist als Quelle von Immissionswirkungen von Antimon gesichert (Peichl et al. 1994, Dietl et al. 1998, Wäber et al. 1998, Wäber 1999). **Typische, signifikant erhöhte Immissionswirkungen von Antimon und Chrom wurden 2011 und 2012 in Grünkohlkulturen am damaligen Messpunkt MP2 unmittelbar an der Autobahn A113 gemessen;** im Standortvergleich etwas höhere, wenn auch nicht deutlich erhöhte am Messpunkt MP9 in der Siedlung Schönefeld und an den Kontrollmesspunkten des Flughafens MP8 bei Rotberg und MP10 bei Waßmannsdorf. **Die Antimonergebnisse im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2015 wie 2013 entsprachen (ohne unmittelbar stark dem Kfz-Verkehr exponierten Messpunkt), unabhängig ob flughafennah oder -fern gemessen, dem niedrigen, emittentenfernen Hintergrundbereich aktueller Vergleichsuntersuchungen (siehe Tabelle 4.3-1).**

Antimon in standardisierten Graskulturen: Messpunktevergleich 2015

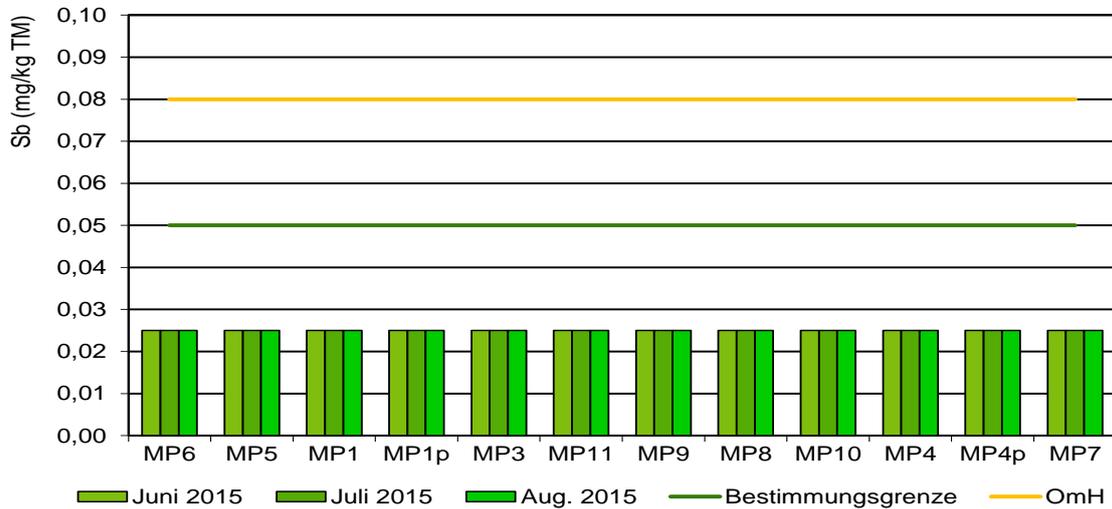


Bild 4.3-1: Antimon in standardisierten Graskulturen 2015

Antimon in standardisierten Graskulturen: Messpunktevergleich 2013  
Prüfwert nach FuttMV: 2,3 mg/kg TM (MID-Wert: 2,3 mg/kg TM)

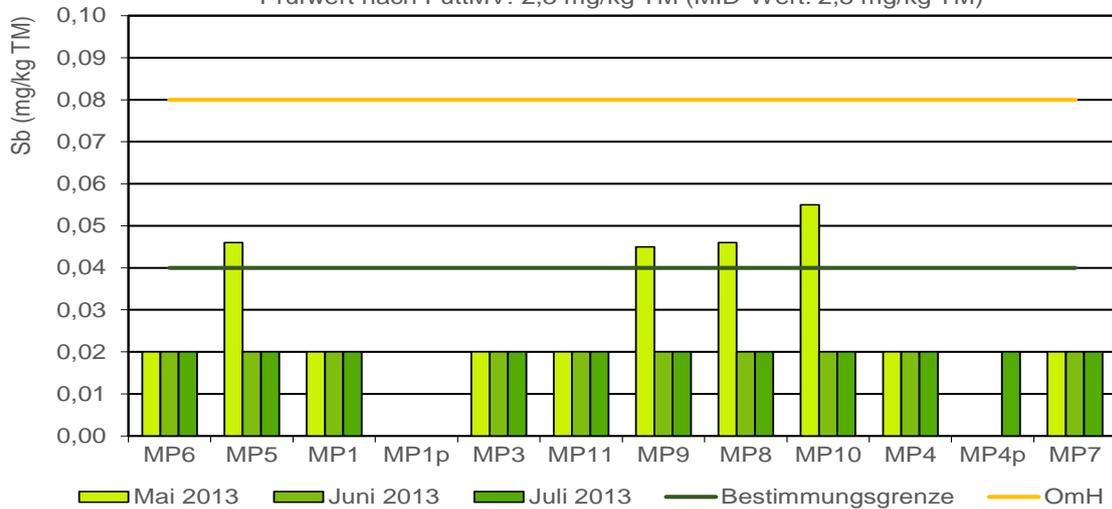


Bild 4.3-2: Antimon in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER		+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+			+	+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Emittenteneinflüsse von Antimon wurden am Flughafen München und unmittelbar an dortigen Emittenten im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt festgestellt: **Immissionswirkungen von Antimon bis 1,2 mg/kg TM traten an Messpunkten am Flughafen München auf, die von Kfz-Verkehr unter anderem beim Bodenbetrieb beeinflusst waren** (TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015; siehe Tabelle 4.3-1). Zum Beispiel an der Autobahn A9 waren 2013 Antimongehalte bis 0,22 mg/kg TM in standardisierten Graskulturen gemessen worden (unveröffentlicht, ohne Darstellung in Tabelle 4.3-1).

Tabelle 4.3-1: Antimon - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Antimon (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	<0,040	<0,040	<0,040	<0,050	<0,050	<0,050	
	Max.	0,055	<0,040	<0,040	<0,050	<0,050	<0,050	
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV'15)	ReferenzMP	<0,040-0,040	<0,040	<0,040-0,040				
	flughafenbez.	0,060-0,120	<0,040-0,060	0,070-0,120				
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040	<0,040		
	quellennah	0,193	0,081	0,080	0,109	0,284		
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	<0,025-0,037	<0,025-0,028	<0,025-0,033	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de			
Orientierungswert lt. VDI		0,080	ländl.BayLfU	0,053	NRW2004-13	<Bestimm. grenze	Prüfwerte MID, FuttMV	-

### Vergleich mit Prüfwerten:

Ein Prüfwert für Antimon als Kontaminant in Futtermitteln ist nicht definiert.

#### 4.4 Arsengehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.4-1: Arsengehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Arsen in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,12	0,19	0,22	<b>0,18</b>	0,05
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,15	0,17	0,20	<b>0,17</b>	0,03
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,19	0,20	0,30	<b>0,23</b>	0,06
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	0,19	0,21	0,24	<b>0,21</b>	0,03
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,18	0,16	0,22	<b>0,19</b>	0,03
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,11	0,16	0,17	<b>0,15</b>	0,03
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,14	0,14	0,23	<b>0,17</b>	0,05
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,16	0,16	0,25	<b>0,19</b>	0,05
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,17	0,21	0,26	<b>0,21</b>	0,04
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,13	0,15		<b>0,14</b>	0,01
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	0,15	0,14	0,24	<b>0,18</b>	0,06
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,14	0,16	0,19	<b>0,16</b>	0,03
<b>Median</b>			<b>0,15</b>	<b>0,16</b>	<b>0,23</b>	<b>0,17</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,04</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,06</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,29	0,29	0,29	2,30	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttmV = MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: 2,3 mg Arsen/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.4-2: Arsengehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Arsen in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,11	0,20	0,24	<b>0,18</b>	0,06
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,15	0,20	0,22	<b>0,19</b>	0,04
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,13	0,26	0,29	<b>0,23</b>	0,09
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,16	0,24	0,29	<b>0,23</b>	0,07
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,10	0,21	0,27	<b>0,19</b>	0,09
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,12	0,24	0,31	<b>0,22</b>	0,10
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,16	0,25	0,26	<b>0,22</b>	0,05
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,14	0,26	0,24	<b>0,21</b>	0,07
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,11	0,22	0,27	<b>0,20</b>	0,08
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			0,27	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,13	0,25	0,34	<b>0,24</b>	0,11
<b>Median</b>			<b>0,13</b>	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	<b>0,24</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,29	0,29	0,29	2,30	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttmV = MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: 2,3 mg Arsen/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

### Wertebereich:

Arsen war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,025 mg/kg TM). Die Arsengehalte lagen 2015 zwischen 0,11 mg/kg TM am Messpunkt MP11 in der Siedlung Schulzendorf und 0,30 mg/kg TM am Messpunkt MP1 am östlichen Ende der Südbahn (vgl. Tabelle 4.4-1). Dieser Wertebereich stimmte mit dem von 2013 überein, der von 0,10 mg/kg TM Arsen an MP11 bis 0,34 mg/kg TM am Referenzmesspunkt MP7 bei Genshagen reichte (vgl. Tabelle 4.4-2). Die stoffspezifische Variabilität lag bei 10 % (vgl. Kapitel 4.2), gut vergleichbar mit der in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 angegebenen und den dortigen Erfahrungswerten (2013 Entwurf). In beiden Untersuchungsjahren traten in der jeweils 3. Exposition, 2013 im Juli und 2015 im August, etwas höhere Arsenwerte auf als in den Vormonaten. Hierbei könnten Witterungseinflüsse (geringere Niederschlagsmengen) und landwirtschaftliche Aktivitäten (Staub) eine Rolle gespielt haben. Bei diesen Unterschieden darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Ergebnisse insgesamt im Bereich ländlicher Hintergrundwerte lagen (s. u.).

### Messpunktevergleich:

In drei Fällen erreichten Arsengehalte den Orientierungswert OmH für den maximalen ländlichen Hintergrund knapp (siehe Bild 4.4-1 bis Bild 4.4-3): 2015 am flughafenbezogenen Messpunkt MP 1 sowie 2013 am Siedlungsmesspunkt MP9 in Schönefeld und am Referenzmesspunkt MP7 bei Genshagen. Aufgrund der „stoff- und konzentrationsbedingt unterschiedlichen Schwankungsbreiten von Einzelanalysen [...], wird dies als unwesentlich betrachtet“, wenn „ein einzelnes zu bewertendes Analyseergebnis den OmH um weniger als 30 %“ überschreitet, so das BayLfU (2009 und 2015). Das ist hier der Fall.

### Quellen und Immissionseinflüsse:

Die Kohlefeuerung gilt als Hauptquelle von Arsenemissionen (Siewers und Herpin 1998, Rentz und Martel 1998), Arsen kann aber auch aus industriellen Produktionsprozessen, Müllverbrennung und Düngerherstellung stammen (BayLfU 2009). An Standorten mit geogen bedingt erhöhten Arsengehalten in Böden sind auch Anreicherungseffekte z. B. durch Aufwirbelungen von Bodenpartikeln bei der Bodenbearbeitung möglich, etwa durch landwirtschaftliche Tätigkeiten. Aus dem Untersuchungsgebiet um den Flughafen Schönefeld sind aber keine auffälligen Arsengehalte in den Böden bekannt; bei einer Bodenanalyse im Rotbergbecken nahe Messpunkt MP8 lag der Arsengehalt unterhalb der Bestimmungsgrenze (mündliche Mitteilung FBB). **Arsengehalte in standardisierten Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld lagen 2015 wie 2013 im ländlichen Hintergrundbereich, unterhalb OmH. Ein Einfluss des Flughafenbetriebs ist nicht ableitbar**, da keine relevanten mehrfachen Überschreitungen der ländlichen Hintergrundbelastung für Arsen vorlagen und auch an den Referenzmesspunkten die gesamte Spanne der Arsengehalte zwischen rund 0,1 und 0,3 mg/kg TM gemessen wurde.

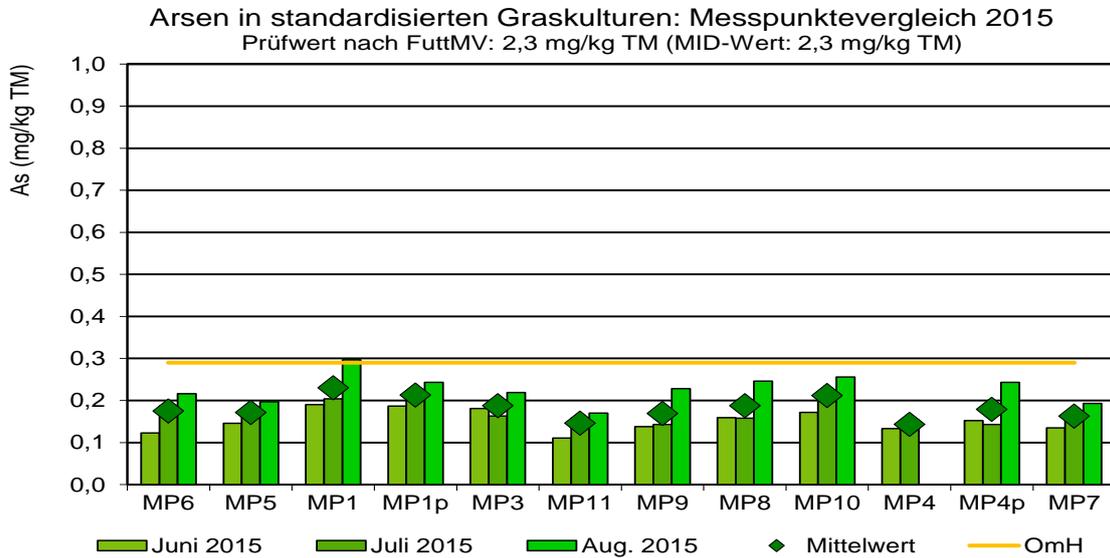


Bild 4.4-1: Arsen in standardisierten Graskulturen 2015

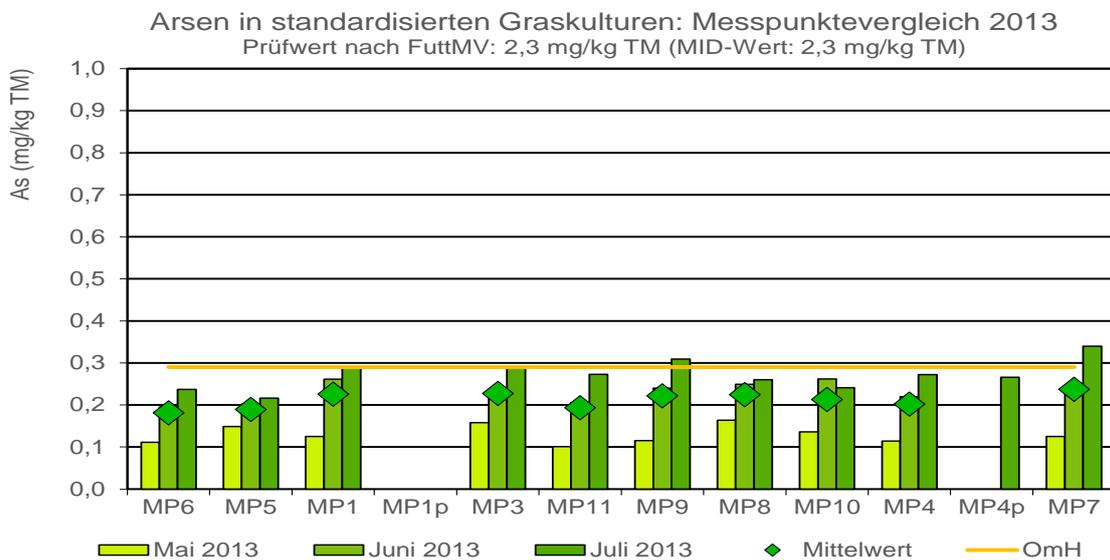


Bild 4.4-2: Arsen in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER		+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+		+		+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

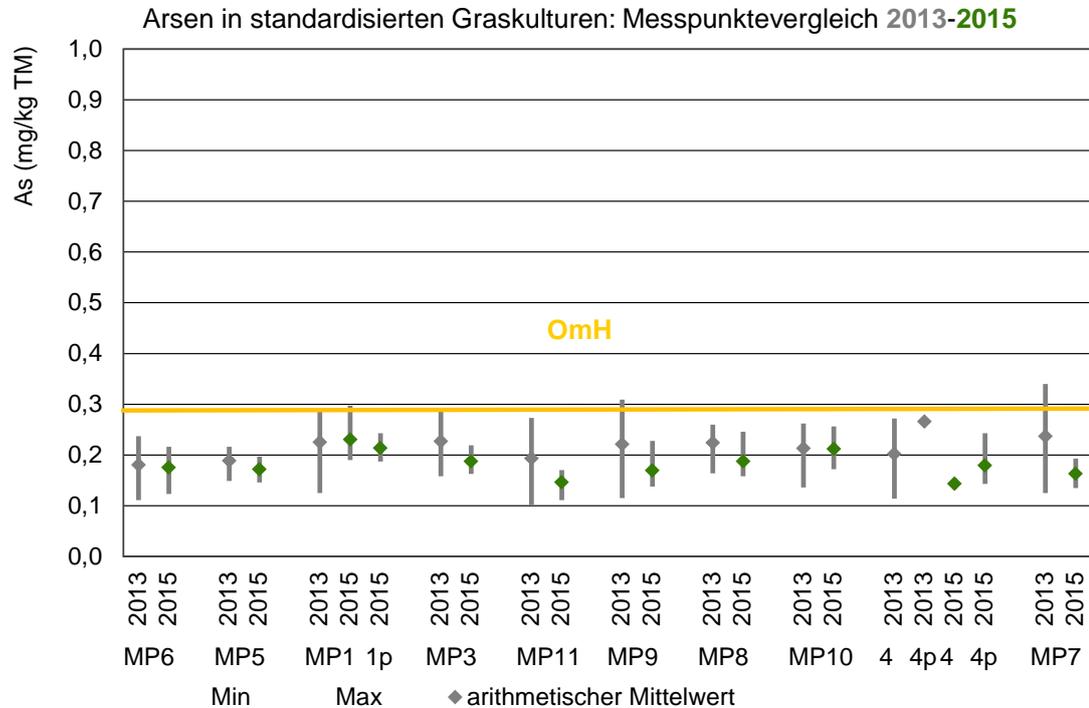


Bild 4.4-3: Arsen in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.4-3: Arsen - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Arsen (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	0,10	0,20	0,22	0,11	0,14	0,17
	Max.	0,16	0,26	0,34	0,19	0,21	0,30
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV'15)	ReferenzMP	0,72-1,20**	0,09	0,25	**: lt.TÜV 2015		
	flughafenbez.	0,33-0,46	0,10-0,13	0,16-0,18			
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	0,07	0,17	0,30	0,09	0,16	
	quellennah	0,15	0,23	0,27	0,13	0,34	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	0,08-0,12	0,13-0,18	0,17-0,26	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>		<b>0,29</b>	<b>0,30</b>	<b>NRW2004-13</b>	<Bestimm. grenze	Prüfwerte MID, FuttMV	<b>2,30</b>

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die Arsenergebnisse im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren im Juli 2013 vergleichbar mit zeitgleich in der Umgebung des Flughafen München gemessenen, hingegen im Mai lagen die Münchner Ergebnisse deutlich höher, oberhalb OmH (orangefarbige Markierung, vgl. Tabelle 4.4-3; dort keine aktuelleren Daten, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015). Die Arsenergebnisse im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren 2015 wie 2013 mit denen eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt vergleichbar, wo sich ebenfalls kein Emittenteneinfluss zeigte und sie waren mit dem ländli-

chen bayerischen Hintergrund 2013 vergleichbar (in Nordrhein-Westfalen lagen Vergleichswerte unter der dortigen analytischen Bestimmungsgrenze für Arsen, Hombrecher et al. 2015; vgl. Tabelle 4.4-3).

**Vergleich mit Prüfwerten:**

Der Höchstwert der Futtermittelverordnung für Arsen (FuttMV 2013) liegt wie der MID-Wert (Maximale Immissionsdosis) zum Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Nutztieren laut VDI-Richtlinienreihe 2310 bei 2,3 mg/kg TM bezogen auf 100 % (vgl. 3.1). **Die Mittelwerte der Arsengehalte in standardisierten Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2015 wie 2013 schöpften an allen Messpunkten den Prüfwert für Arsen nur zu rund 10 % aus (vgl. Tabelle 4.4-3). Von einem vorhandenen Gefährdungspotenzial ist somit nicht auszugehen.**

## 4.5 Bleigehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.5-1: Bleigehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Blei in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,11	0,10	0,35	<b>0,19</b>	0,14
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,16	0,31	0,32	<b>0,26</b>	0,09
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,29	0,30	0,47	<b>0,35</b>	0,10
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	0,31	0,23	0,39	<b>0,31</b>	0,08
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,22	0,25	0,25	<b>0,24</b>	0,02
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,17	0,12	0,16	<b>0,15</b>	0,03
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,19	0,15	0,19	<b>0,18</b>	0,02
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,19	0,15	0,33	<b>0,22</b>	0,09
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,22	0,14	0,27	<b>0,21</b>	0,06
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,16	0,15		<b>0,15</b>	0,01
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	0,17	0,15	0,20	<b>0,17</b>	0,03
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,15	0,13	0,21	<b>0,16</b>	0,04
<b>Median</b>			<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,06</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,90	0,90	0,90	34,00	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttMV; MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310: 4,5-21 mg Blei/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.5-2: Bleigehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Blei in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,17	0,12	0,25	<b>0,18</b>	0,06
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,32	0,20	0,13	<b>0,22</b>	0,10
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,32	0,23	0,30	<b>0,28</b>	0,05
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,45	0,21	0,21	<b>0,29</b>	0,14
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,20	0,15	0,19	<b>0,18</b>	0,03
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,27	0,28	0,22	<b>0,26</b>	0,03
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,33	0,20	0,21	<b>0,25</b>	0,07
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,38	0,25	0,37	<b>0,33</b>	0,07
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,25	0,23	0,12	<b>0,20</b>	0,07
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			0,19	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,22	0,21	0,18	<b>0,20</b>	0,02
<b>Median</b>			<b>0,30</b>	<b>0,21</b>	<b>0,21</b>	<b>0,22</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,10</b>	<b>0,03</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,90	0,90	0,90	34,00	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttMV; MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310: 4,5-21 mg Blei/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

#### Wertebereich:

Blei war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,05 mg/kg TM). Der Wertebereich lag 2015 zwischen 0,10 mg/kg TM am Messpunkt MP6 im Gradienten westlich der Südbahn des Flughafens bei Mahlow und 0,47 mg/kg TM am Messpunkt MP1 am östlichen Ende der Südbahn (vgl. Tabelle 4.5-1). Der Wertebereich 2013 stimmte damit überein (vgl. Tabelle 4.5-2): 0,12 mg/kg TM Blei am Referenzmesspunkt MP4 in der Zülowniederung bis 0,45 mg/kg TM an MP3 nahe Waltersdorf.

Die stoffspezifische Variabilität lag mit 19 % etwas höher als die aktuelle in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 genannte (2013 Entwurf)<sup>6</sup>: dort 13 %. Die durch Doppelbestimmungen 2013 ermittelte *analytische* Unsicherheit war mit rund 10 % gering (vgl. Kapitel 4.2). Im Jahr 2015 fiel die 3. Exposition im August durch höhere Bleiergebnisse an den Messpunkten MP1/MP1p, MP6, MP8 und MP10 auf, als in vorangegangenen Expositionen. Vermehrte Staubeinträge während dieser Periode durch die extrem trockene Witterung kommen als Ursache in Frage. Landwirtschaftliche Aktivitäten (z. B. aus abgeernteten Äckern bei MP1/MP1p und MP6) und die Baumaßnahmen im Rahmen der Nordbahn-Sanierung, die sich über den gesamten Zeitraum des Biomonitorings 2015 erstreckten, kommen hier in Betracht.

#### Messpunktevergleich:

Unter Berücksichtigung der stoffspezifischen Variabilität zeigte sich 2015 an den flughafenbezogenen Messpunkten MP5, MP3 und vor allem an MP1/MP1p ein Unterschied zu den Bleiwerten der Referenzmesspunkte (siehe Bild 4.5-1 bis Bild 4.5-3): Am östlichen Kopf der Südbahn waren die Bleigehalte 2015 stets höher als die der Referenzmesspunkte plus zweifache Variabilität. Für die Messungen 2013 traf dies nicht stets zu. **Ein Einfluss des Flughafenbetriebs ist allerdings nicht ableitbar, da Blei kein Bestandteil von Kerosin ist.** Bei den saisonalen Unterschieden und denen zwischen Messpunkten, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass alle Ergebnisse im niedrigen Hintergrundbereich lagen, unterhalb OmH (s. u.).

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Blei gelangt vornehmlich aus früheren Einträgen wieder zurück in die Umwelt und wird aus der Luft vorwiegend als trockene Partikel und nass in die Umweltmedien eingetragen (Umweltatlas Hessen 2005). Außerdem kann es auch aus der Verbrennung von Kohle in die Umwelt gelangen (Rentz und Martel 1998). **Insgesamt lagen alle Bleigehalte in Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld deutlich im niedrigen ländlichen Hintergrundbereich, unterhalb der Schwellen für Immissionseinflüsse: d. h. unterhalb OmH.**

---

<sup>6</sup> Für Blei können parallel aufgestellte, genormte Graskulturen demnach abweichende Bleigehalte anzeigen. Mögliche Einflussfaktoren sind: durch die individuelle Morphologie bestimmte Anströmbarkeiten, Auflageflächen für Staub- und Schadstoffdepositionen und die Möglichkeiten, dass sie herabgeweht oder abgewaschen werden, sowie spezifisch bei Blei, dass dieses inhomogen in partikulärer Form deponiert wird .

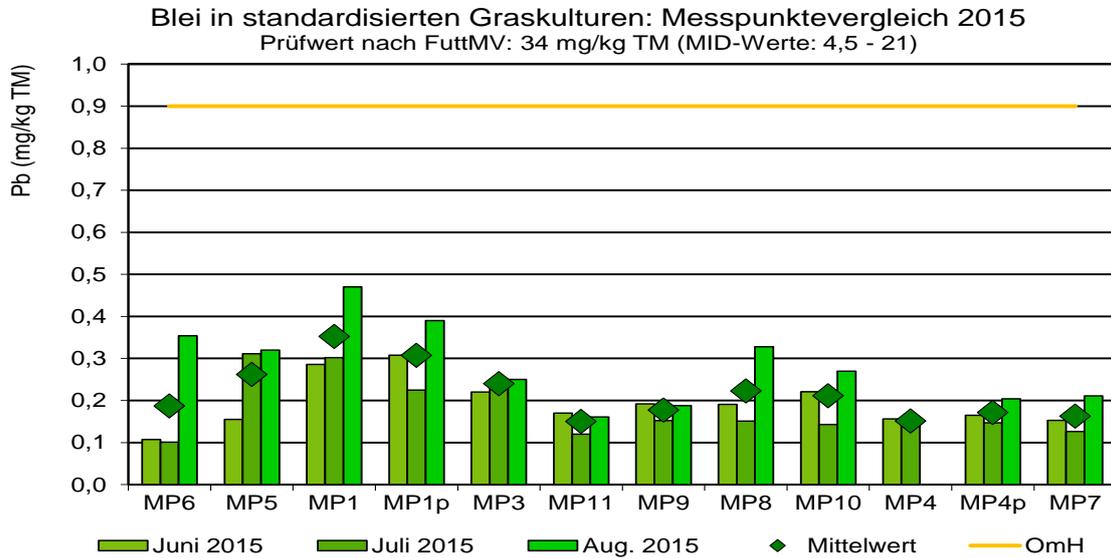


Bild 4.5-1: Blei in standardisierten Graskulturen 2015

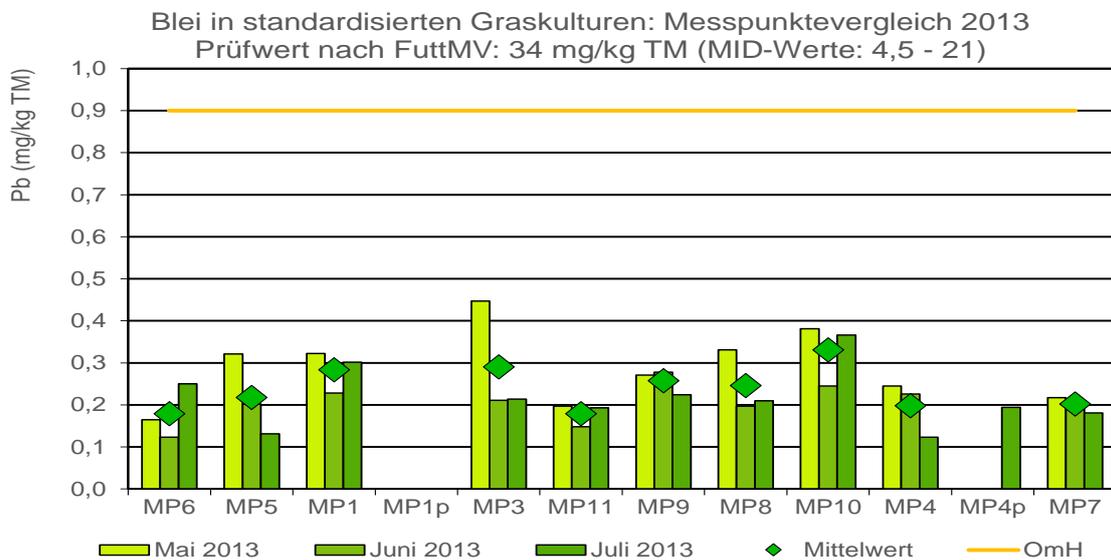


Bild 4.5-2: Blei in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER		+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+			+	+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

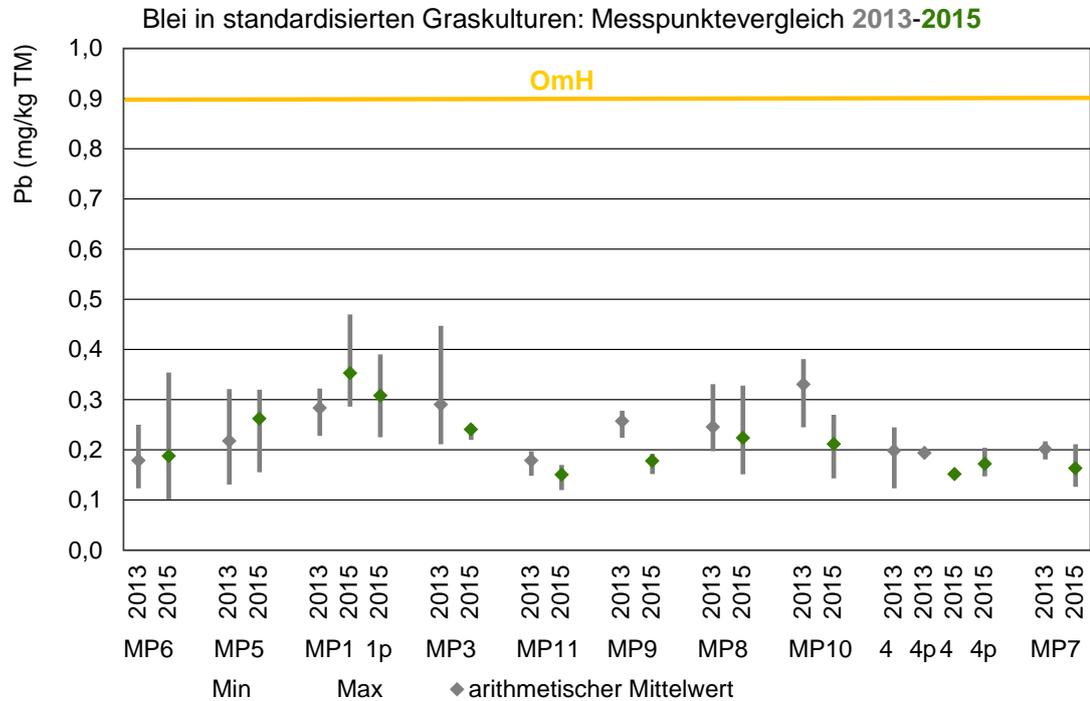


Bild 4.5-3: Blei in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.5-3: Blei - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Blei (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	0,17	0,12	0,12	0,11	0,10	0,16
	Max.	0,45	0,28	0,37	0,31	0,31	0,47
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV 15)	ReferenzMP	0,26-0,29	0,15	0,32			
	flughafenbez.	0,28-0,35	0,16-0,20	0,30-0,49			
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	0,16	0,10	0,12	0,08	0,09	
	quellennah	1,80	2,11	3,90	3,03	14,00	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	<0,25	<0,25	<0,25	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU, www.lfu.bayern.de		
Orientierungswert lt. VDI	0,90	ländl.BayLfU	Spanne 0,26-1,1	NRW2004-13	2,50	Prüfwerte MID, FuttMV	4.50-34,00

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die Bleiergebnisse waren vergleichbar mit zeitgleich 2013 in der Umgebung des Flughafen München gemessenen (dort keine aktuelleren Daten, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015; vgl. Tabelle 4.5-3). Die Hintergrundwerte für Blei aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren auch mit dem Hintergrund eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt 2013 und 2015 vergleichbar, sowie mit dem ländlichen bayerischen Hintergrund 2013. Im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt wurden unmittelbar am dortigen gewerblich-industriellen Emittenten 2013 und 2015 Bleigehalten oberhalb OmH (orangefarbige Markierung in Tabelle 4.5-3) gemessen. In Nordrhein-Westfalen wurden in den

vergangenen 10 Jahren im Mittel hingegen auch fern von Luftschadstoffquellen höhere Bleigehalte in standardisierten Graskulturen ermittelt, so dass der OmH für NRW mit 2,5 mg/kg TM höher ausfällt (Hombrecher et al. 2015; vgl. Tabelle 4.5-3).

#### **Vergleich mit Prüfwerten:**

Die MID-Werte zum Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Nutztieren laut VDI-Richtlinienreihe 2310 unterscheiden sich bei Blei je nach Anwendungsbereich stark: für Rinder beträgt der Prüfwert 21 mg/kg, für Schafe 4,5 mg/kg bezogen auf 100 % TM (vgl. Tabelle 4.5-3). Der Höchstwert der Futtermittelverordnung (FuttMV 2013) liegt bei 34 mg/kg TM bezogen auf 100 %. Die Mittelwerte an allen Messpunkten schöpfen sogar den strengsten **Bleiprüfwert für Schaffuttermittel nach VDI-Richtlinienreihe 2310 nur zu weniger als 10 % aus. Von einem vorhandenen Gefährdungspotenzial ist demzufolge nicht auszugehen.**

## 4.6 Cadmiumgehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.6-1: Cadmiumgehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Cadmium in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,032	0,048	0,037	<b>0,039</b>	0,008
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,031	0,055	0,035	<b>0,040</b>	0,013
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,040	0,044	0,057	<b>0,047</b>	0,009
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	0,039	0,042	0,039	<b>0,040</b>	0,002
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,034	0,053	0,039	<b>0,042</b>	0,010
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,029	0,043	0,032	<b>0,035</b>	0,007
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,037	0,048	0,033	<b>0,039</b>	0,008
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,031	0,048	0,041	<b>0,040</b>	0,009
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,035	0,047	0,046	<b>0,043</b>	0,007
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,035	0,046		<b>0,041</b>	0,008
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	0,038	0,045	0,043	<b>0,042</b>	0,004
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,032	0,036	0,035	<b>0,034</b>	0,002
<b>Median</b>			<b>0,035</b>	<b>0,047</b>	<b>0,039</b>	<b>0,039</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,006</b>	<b>0,004</b>	<b>0,007</b>	<b>0,011</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,100	0,100	0,100	1,100	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttmV; MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: 0,7 mg Cadmium/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.6-2: Cadmiumgehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Cadmium in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,026	0,025	0,040	<b>0,030</b>	0,008
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,029	0,028	0,020	<b>0,026</b>	0,005
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,035	0,030	0,060	<b>0,042</b>	0,016
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,041	0,027	0,043	<b>0,037</b>	0,009
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,029	0,026	0,024	<b>0,026</b>	0,003
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,034	0,032	0,023	<b>0,030</b>	0,006
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,033	0,031	0,036	<b>0,033</b>	0,003
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,037	0,034	0,031	<b>0,034</b>	0,003
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,035	0,034	0,028	<b>0,032</b>	0,004
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			0,036	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,029	0,032	0,034	<b>0,032</b>	0,003
<b>Median</b>			<b>0,034</b>	<b>0,031</b>	<b>0,034</b>	<b>0,032</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,006</b>	<b>0,005</b>	<b>0,012</b>	<b>0,007</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,100	0,100	0,100	1,100	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert nach FuttmV; MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: 0,7 mg Cadmium/kg TM; bezogen auf Mittelwerte  
kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

#### Wertebereich:

Cadmium war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,01 mg/kg TM). Der Wertebereich lag 2015 zwischen 0,029 mg/kg TM am Messpunkt MP11 in der Siedlung Schulzendorf und 0,057 mg/kg TM am Messpunkt MP1 am östlichen Ende der Südbahn (vgl. Tabelle 4.6-1). Die Cadmiumgehalte lagen 2013 damit gut vergleichbar zwischen 0,020 und 0,060 mg/kg TM. Minima wurden am Messpunkt MP5 Flughafen Südwest gemessen, das Maximum am MP1 (vgl. Tabelle 4.6-2).

Die Variabilität entsprach mit 16 % dem für Cadmium typischen Bereich und die durch Doppelbestimmungen 2013 ermittelte, *analytische* Unsicherheit war mit rund 10 % gering (vgl. Kapitel 4.2).

#### Messpunktevergleich:

Unterschiede zwischen den Messpunkten und im Vergleich mit den Referenzmesspunkten zeigten sich in beiden Jahren nicht (siehe Bild 4.6-1 bis Bild 4.6-3). Die Cadmiumgehalte in standardisierten Graskulturen 2015 am Messpunkt MP5 am westlichen Ende der in Betrieb befindlichen Südbahn waren höher als 2013 bei Betrieb der Nordbahn. Tendenziell trifft dies aber auch auf die Siedlungsmesspunkt MP9 und MP11 sowie den Referenzmesspunkt MP4 zu. **Systematisch höhere Cadmiumgehalte an den Messpunkten an der 2015 betriebenen Südbahn traten nicht auf und ein Einfluss des Flughafenbetriebs ist nicht ableitbar.**

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Steinkohleverbrennung, Kfz-Verkehr und Kunstdüngereinsatz sind u. a. als Cadmium-Quellen bekannt (vgl. Kapitel 3.1). **Alle Cadmiumgehalte im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld lagen 2015 wie 2013 im niedrigen ländlichen Hintergrundbereich, unterhalb OmH. Einflüsse von Luftschadstoffquellen sind nicht ableitbar.**

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die Hintergrundwerte für Cadmium aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren auch mit dem Hintergrund eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt 2015 wie 2013 vergleichbar, sowie mit dem ländlichen bayerischen Hintergrund 2013. Der ländliche und städtische Hintergrund, der in Nordrhein-Westfalen in den vergangenen 10 Jahren im Mittel gemessen wurde, lag eher im oberen Bereich dieser Werte: 0,050 mg/kg TM (Hombrecher et al. 2015). Die Cadmiumgehalte in Graskulturen, die 2013 im gleichen Zeitraum am Flughafen München gemessen wurden (TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015), lagen ebenfalls eher im oberen Bereich der insgesamt niedrigen Cadmiumgehalte aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld. Die Hintergrundbereiche aller betrachteten Vergleichsuntersuchungen waren unterhalb OmH angesiedelt (siehe Tabelle 4.6-3). Im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt wurden unmittelbar am dortigen gewerblich-industriellen Emittenten 2013 und 2015 ebenso wie teilweise flughafennah am Münchner Flughafen Cadmiumgehalte oberhalb OmH dokumentiert (orangefarbige Markierung in Tabelle 4.6-3).

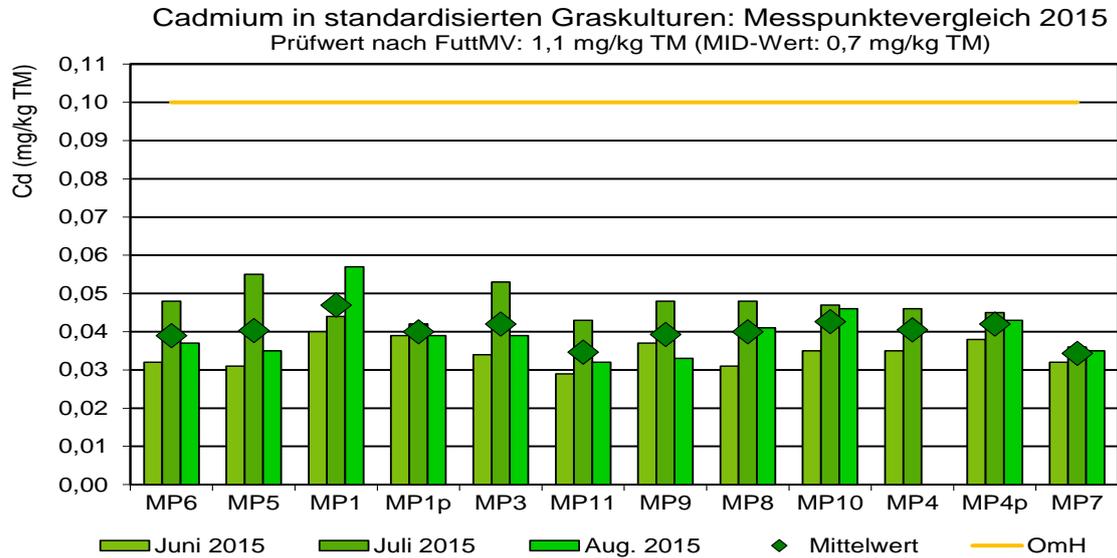


Bild 4.6-1: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2015

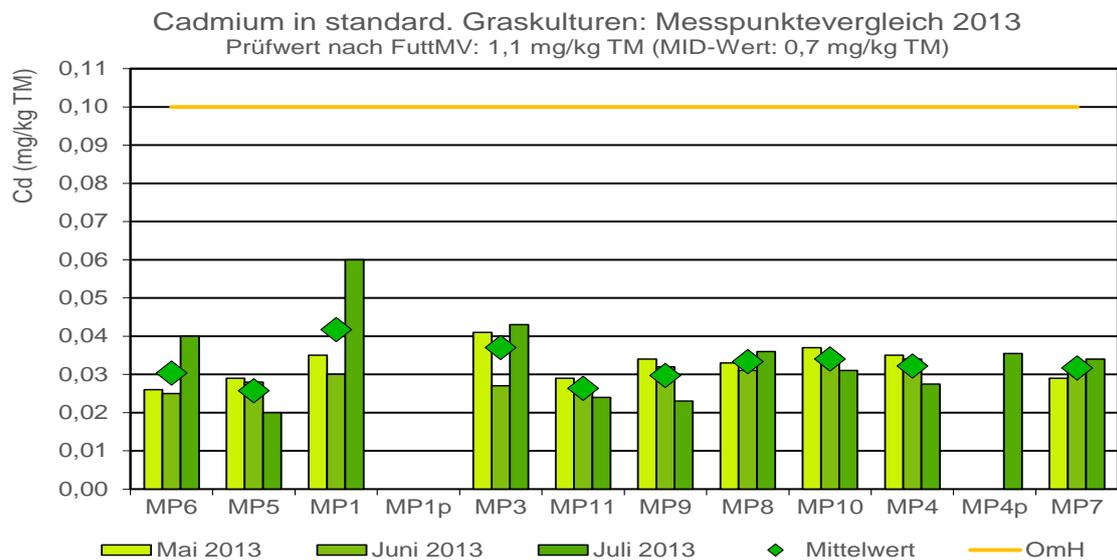


Bild 4.6-2: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER		+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+			+	+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

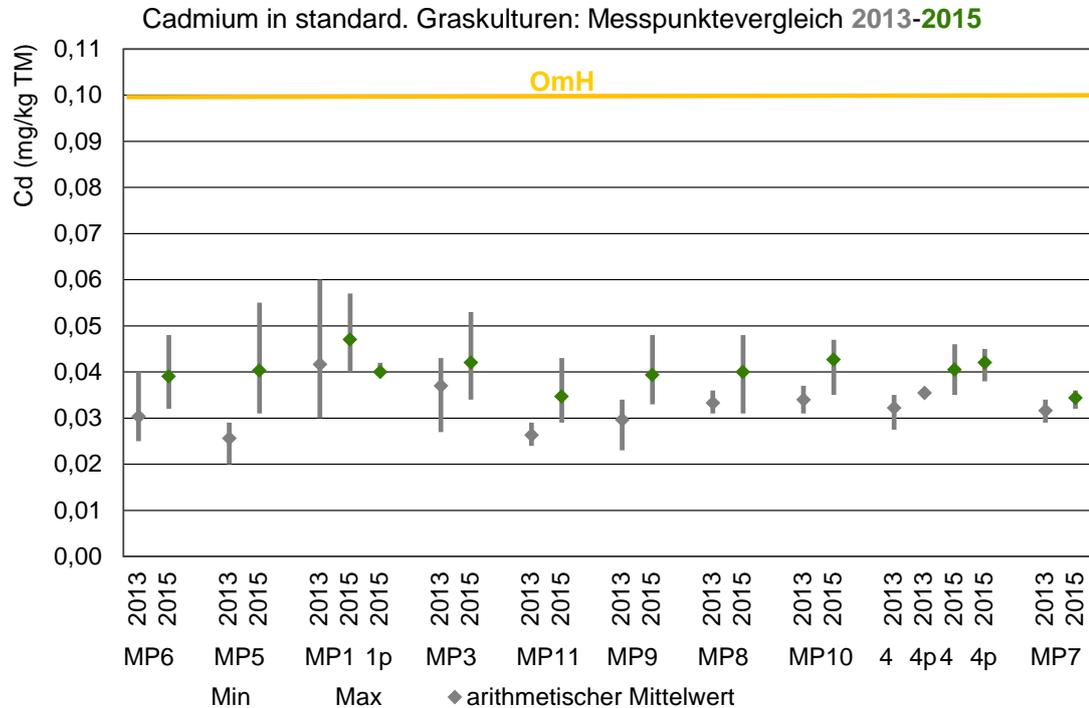


Bild 4.6-3: Cadmium in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.6-3: Cadmium - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Cadmium (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	0,026	0,025	0,020	0,029	0,036	0,032
	Max.	0,041	0,034	0,060	0,040	0,055	0,057
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV'15)	ReferenzMP	0,050-0,120	0,037	0,058			
	flughafenbez.	0,050-0,070	0,037-0,041	0,052-0,061			
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	0,040	0,029	0,036	0,035	0,042	
	Max quellennah	0,207	0,081	0,143	0,180	0,369	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	0,028-0,048	0,024-0,029	0,022-0,039	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	<b>0,100</b>	ländl.BayLfU	<b>0,056</b>	NRW2004-13	<b>0,110</b>	Prüfwerte MID, FuttMV	<b>0,7-1,1</b>

#### Vergleich mit Prüfwerten:

Der MID-Wert zum Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Nutztieren laut VDI-Richtlinienreihe 2310 beträgt für Cadmium 0,7 mg/kg, der Höchstwert der Futtermittelverordnung 1,1 mg/kg (FuttMV 2013), beide bezogen auf 100 % Trockemasse. **Die Mittelwerte an allen Messpunkten schöpften auch den MID-Wert nur zu weniger als 10 % aus. Von einem vorhandenen Gefährdungspotenzial ist demzufolge nicht auszugehen** (vgl. Tabelle 4.6-3).

## 4.7 Chromgehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.7-1: Chromgehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Chrom ges. in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,40	0,14	0,27	<b>0,27</b>	0,13
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,49	0,26	0,24	<b>0,33</b>	0,14
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,27	0,46	0,41	<b>0,38</b>	0,10
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	0,28	0,33	0,32	<b>0,31</b>	0,03
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,64	0,34	0,19	<b>0,39</b>	0,23
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,24	0,16	0,13	<b>0,17</b>	0,06
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,25	0,21	0,18	<b>0,21</b>	0,03
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,22	0,20	0,26	<b>0,22</b>	0,03
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,38	0,18	0,21	<b>0,25</b>	0,11
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,19	0,18		<b>0,18</b>	0,01
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	0,17	0,15	0,18	<b>0,17</b>	0,01
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,40	0,15	0,21	<b>0,25</b>	0,13
<b>Median</b>			<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	<b>0,24</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,16</b>	<b>0,12</b>	<b>0,08</b>	<b>0,15</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,90	0,90	0,90	57,00	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.7-2: Chromgehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Chrom ges. in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,20	0,16	0,36	<b>0,24</b>	0,11
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,28	0,23	0,26	<b>0,25</b>	0,02
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,47	0,32	0,63	<b>0,47</b>	0,16
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,55	0,23	0,39	<b>0,39</b>	0,16
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,25	0,20	0,20	<b>0,21</b>	0,03
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,31	0,29	0,27	<b>0,29</b>	0,02
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,32	0,19	0,26	<b>0,26</b>	0,07
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,35	0,22	0,36	<b>0,31</b>	0,08
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,23	0,23	0,26	<b>0,24</b>	0,02
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			0,27	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,25	0,20	0,27	<b>0,24</b>	0,04
<b>Median</b>			<b>0,29</b>	<b>0,22</b>	<b>0,27</b>	<b>0,26</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,09</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,09</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,90	0,90	0,90	57,00	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte;

Werte > Prüfwert MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

#### Wertebereich:

Chrom war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,05 mg/kg TM). Der Wertebereich lag 2015 zwischen 0,13 mg/kg TM am Messpunkt MP11 Siedlung Schulzendorf und 0,64 mg/kg TM am Messpunkt MP3 Waltersdorf im Gradienten vom östlichen Ende der Südbahn (vgl. Tabelle 4.7-1). Der Wertebereich 2013 unterschied sich davon nicht: 0,16 mg/kg TM Chrom am Messpunkt MP6 Mahlow im Gradienten vom westlichen Ende der Südbahn bis 0,45 mg/kg TM an MP1 vom östlichen Ende der Südbahn (Tabelle 4.7-2).

Die stoffspezifische Variabilität entsprach mit 14 % der von VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (2013 Entwurf): dort 15 %. Die durch Doppelbestimmungen 2013 ermittelte *analytische* Unsicherheit war mit rund 15 % normal (vgl. Kapitel 4.2). Im Jahr 2015 waren höhere Chromgehalte in standardisierten Graskulturen der 1. Exposition im Juni an den Messpunkten MP5, MP6, MP3, MP10 und Referenzmesspunkt MP7 zu beobachten, verglichen mit den nachfolgenden Expositionen. Eine einheitliche Ursache z. B. ein Quelleneinfluss erschließt sich nicht. Vielmehr muss berücksichtigt werden, dass alle Werte unterhalb der Schwelle für Immissionseinflüsse, unterhalb OmH, im niedrigen Hintergrundbereich lagen (s. u.).

#### Messpunktevergleich:

Im Jahr 2015 zeigten sich an den Messpunkten MP5 am westlichen Ende der in Betrieb befindlichen Südbahn des Flughafens Berlin Schönefeld und im Gradienten nach Westen an MP6 sowie an MP1/MP1p am östlichen Ende der Südbahn und im Gradienten nach Osten an MP3 tendenziell etwas höhere Chromwerte als an den Referenzmesspunkten (siehe Bild 4.7-3; Chromgehalte mehrheitlich höher als die der Referenzmesspunkte plus 2fache Variabilität). Für die Messungen 2013 zeigte sich diese Tendenz ebenfalls für die Messpunkte MP1 und MP3 sowie für MP10 Kontrolle Waßmannsdorf. Dieser Messpunkt ist vergleichsweise am nächsten zur Nordbahn gelegen, die vor 2015 in Betrieb war. Es muss bei den Messpunktstufungen wie auch bei saisonalen Unterschieden allerdings berücksichtigt werden, dass alle Werte unterhalb der Schwelle für Immissionseinflüsse, unterhalb OmH, im niedrigen Hintergrundbereich lagen (s. u.).

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Chrom gelangt unter anderem durch den Kfz-Verkehr in die Umwelt (Merian 1984, Peichl et al. 1994; vgl. Kapitel 3.1). Signifikant erhöhte Chromgehalte, analog Antimon (vgl. Kapitel 4.3), traten 2011 und 2012 in standardisiertem Grünkohl am damaligen Autobahn-Messpunkt MP2 auf und waren durch den Quelleneinfluss des Kfz-Verkehrs unmittelbar an der A113 hervorgerufen. **Die Graskulturergebnisse zeigten 2015 wie 2013 an den Messpunkten MP1 bis MP11 ohne MP2 keine immissionsbedingten Chromgehalte in Graskulturen. Diese lagen vielmehr sämtlich unterhalb OmH als Schwelle für Immissionseinflüsse (siehe Bild 4.7-3).**

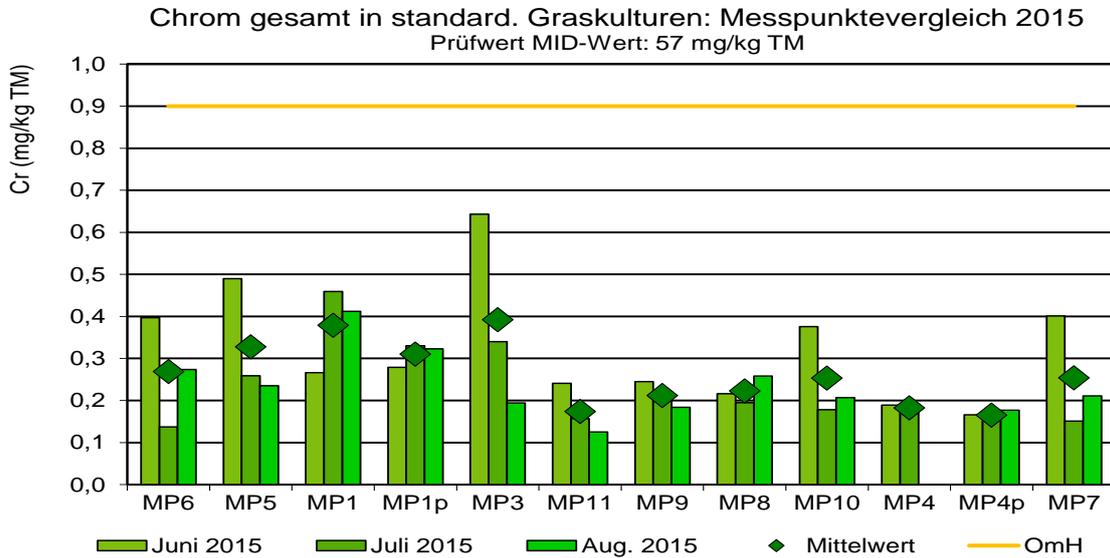


Bild 4.7-1: Chrom in standardisierten Graskulturen 2015

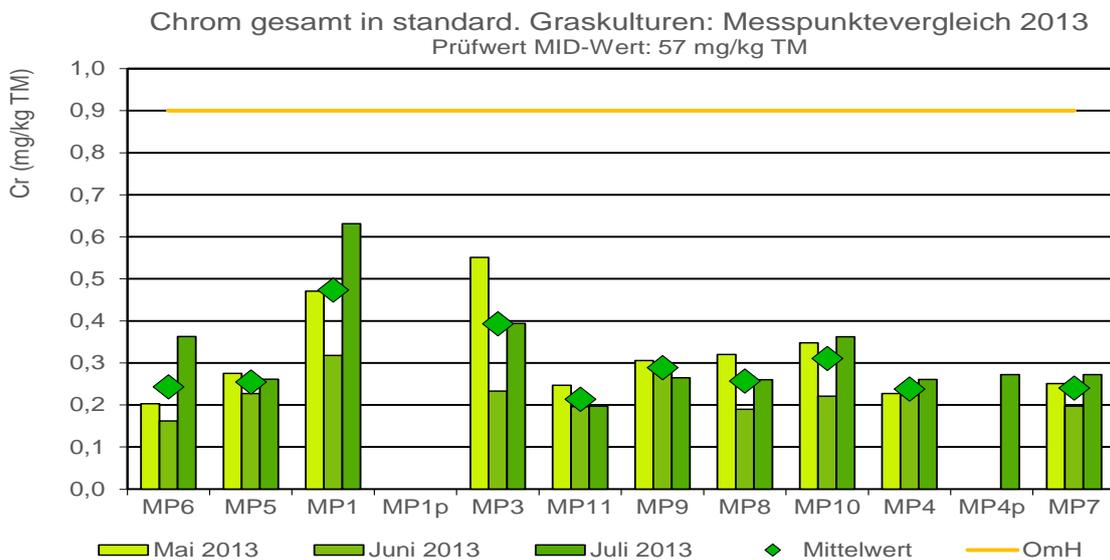


Bild 4.7-2: Chrom in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER		+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+			+	+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

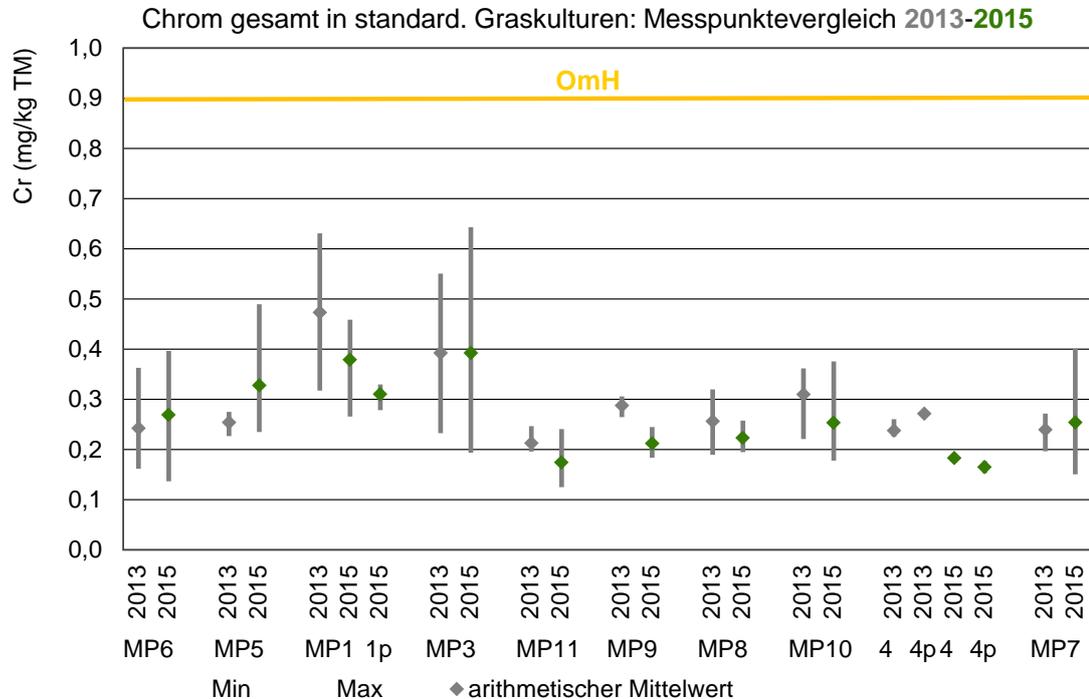


Bild 4.7-3: Chrom in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.7-3: Chrom - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Chrom (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld	Min.	0,20	0,16	0,20	0,17	0,14	0,13
Flughafen BerlinSchönefeld	Max.	0,55	0,32	0,63	0,64	0,46	0,41
Biomonitoring in Umgebung	ReferenzMP	0,35-0,63	0,29	0,50			
Flughafen München (TÜV'15)	flughafenbez.	0,35-0,65	0,36-0,43	0,52-0,72			
Graskult. Raum Ingolstadt	ReferenzMP	0,17	0,17	0,21	0,16	0,19	
(um Anlage, UMW-eigen)	Max quellennah	1,46	1,05	1,90	1,14	4,00	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	<0,20	<0,20	<0,20	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	<b>0,90</b>	ländl.BayLfU	Spanne 0,2-0,48	NRW2004-13	<b>3,60</b>	Prüfwert MID-Wert	<b>57,00</b>

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Bei früheren Biomonitorings im Umfeld des Flughafen München (Wäber 2008 und TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015) wurden vergleichsweise höhere Chromgehalte in standardisierten Graskulturen, neben Staubverwehungen durch landwirtschaftliche Aktivitäten, auch auf solche von versiegelten Flächen zurückgeführt.

Die Chromergebnisse aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren mit anderen aktuellen Graskultur-Biomonitorings gut vergleichbar (vgl. Tabelle 4.7-3):

- mit 2013 am Flughafen München gemessenen Chromergebnissen (dort keine aktuelleren Daten TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015; vgl. Tabelle 4.7-3), wo sich flughafennahe Messpunkte und Referenzmesspunkte hinsichtlich der Chromgehalte nicht unterschieden und unterhalb OmH lagen;
- mit dem zeitgleich gemessenen Hintergrund eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt;
- mit dem ländlichen bayerischen Hintergrund 2013, mit Chrom <0,2 mg/kg TM im unteren Wertebereich.

Der ländliche und städtische Hintergrund von Chromgehalten in standardisierten Graskulturen lag in Nordrhein-Westfalen in den vergangenen 10 Jahren im Mittel deutlich höher: dort 1,4 mg/kg TM als Median (Hombrecher et al. 2015). Im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt wurden zeitgleiche 2015 wie 2013 unmittelbar am dortigen gewerblich-industriellen Emittenten Chromgehalte sämtlich oberhalb OmH gemessen (orangefarbige Markierung in Tabelle 4.7-3).

#### **Vergleich mit Prüfwerten:**

Da die Futtermittelverordnung keine Höchstgehalte für Chrom definiert, wird hier der MID-Wert nach VDI-Richtlinienreihe 2310 herangezogen: 57 mg/kg bezogen auf 100 % TM. Dieser Prüfwert wurde nur zu rund 1 % ausgeschöpft. **Ein aktuelles Gefährdungspotenzial für die Landnutzung kann wie für Arsen und Cadmium auch für Chrom ausgeschlossen werden.**

## 4.8 Kupfergehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.8-1: Kupfergehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Kupfer in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	5,0	5,4	4,7	<b>5,0</b>	0,3
MP5	FWS	Flughafen Südwest	5,6	5,1	4,9	<b>5,2</b>	0,3
MP1	FOS	Flughafen Südost	6,0	6,3	3,7	<b>5,3</b>	1,4
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	4,6	6,5	4,8	<b>5,3</b>	1,1
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	4,8	6,8	3,8	<b>5,1</b>	1,5
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	4,1	4,6	4,0	<b>4,2</b>	0,3
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	4,2	4,8	4,0	<b>4,3</b>	0,4
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	5,9	4,8	4,2	<b>5,0</b>	0,9
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	4,7	6,5	4,7	<b>5,3</b>	1,0
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	4,6	4,5		<b>4,5</b>	0,0
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	4,5	4,3	4,8	<b>4,5</b>	0,2
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	5,8	4,9	4,1	<b>4,9</b>	0,8
<b>Median</b>			<b>4,8</b>	<b>5,0</b>	<b>4,2</b>	<b>4,8</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			12,0	12,0	12,0	11,4 - 57	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-12) bez. auf Einzelwerte

Werte > Prüfwerte MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

### Wertebereich:

Kupfer wurde erstmals 2015 beim Biomonitoring untersucht und war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,05 mg/kg TM): zwischen 3,7 mg/kg TM am Messpunkt MP1 am östlichen Ende der Südbahn des Flughafens und 6,8 mg/kg TM am Messpunkt MP3 Waltersdorf im Gradienten davon Richtung Osten (vgl. Tabelle 4.8-1).

Die Variabilität bei Kupfer entsprach mit 9 % der in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (2013 Entwurf): 10 %.

### Messpunktevergleich:

**Die Kupfergehalte in standardisierten Graskulturen lagen im Umfeld um den Flughafen Berlin Schönefeld 2015 einheitlich im niedrigen Hintergrundbereich (s. u.).**

### Quellen und Immissionseinflüsse:

Kupfer stammt, neben industriellen Prozessen, vornehmlich aus dem Verkehr: Bremsbelag- und Reifenabrieb (Peichl et al. 1994, Dietl et al. 1998). **Immissionsbedingte Kupfergehalte traten 2015 im Untersuchungsgebiet nicht auf: Alle Kupferergebnisse lagen unterhalb OmH (siehe Bild 4.8-1).**

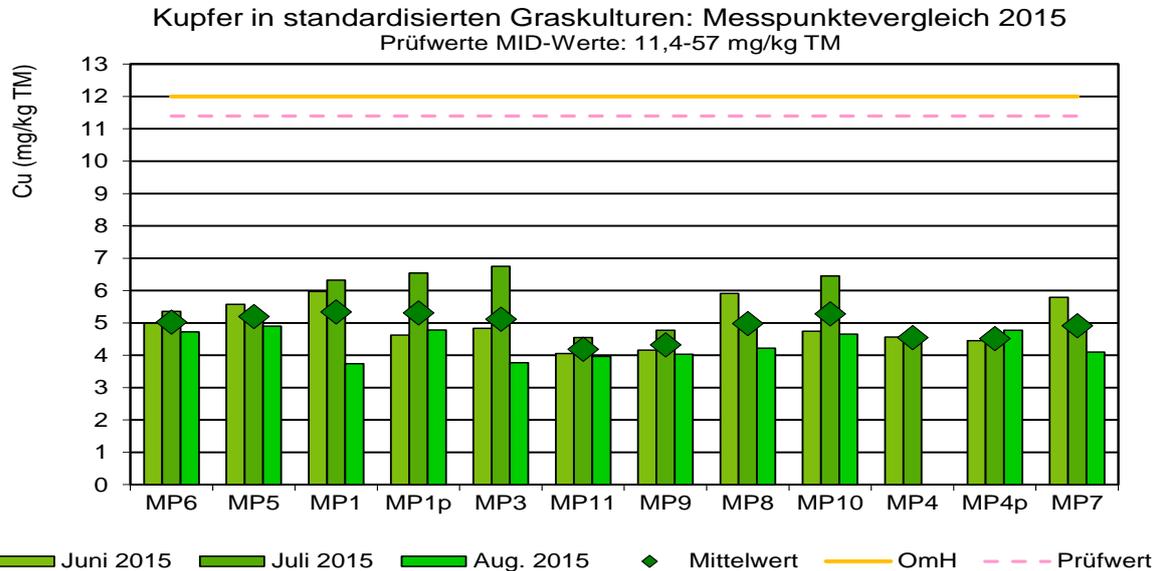


Bild 4.8-1: Kupfer in standardisierten Graskulturen 2015

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER	+2015*	+2015							+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+		+	+				+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund										+		+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

Tabelle 4.8-2: Kupfer - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Kupfer (mg/kg TM)	Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld						
Flughafen BerlinSchönefeld						
Min.				4,1	4,3	3,7
Max.				6,0	6,8	4,9
Biomonitoring in Umgebung						
Flughafen München (TÜV15)						
ReferenzMP	5,9	3,1	2,8			
flughafenbez.	6,1-10,4	3,3-4,3	4,2-4,3			
Graskult. Raum Ingolstadt						
(um Anlage, UMW-eigen)						
ReferenzMP	-	4,7	5,7	3,6	3,8	
Max quellennah	-	5,5	7,3	7,1	12,7	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>						
ländl.Hintergr.	4,1-6,1	2,9-3,9	3,0-4,2	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	<b>12,0</b>	ländl.BayLfU	<b>7,4</b>	NRW2004-13	<b>17,0</b>	Prüfwert MID-Wert
						<b>11,4 - 57</b>

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die Kupferergebnisse aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren mit dem zeitgleich gemessenen Hintergrund eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt ebenso vergleichbar sowie mit

den Kupferergebnissen am Münchner Flughafen und mit dem ländlichen bayerischen Hintergrund 2013 (vgl. Tabelle 4.8-2). Die im ländlichen und städtischen Hintergrund in den letzten 10 Jahren in Nordrhein-Westfalen gemessenen Kupfergehalte in Graskulturen (Median) lagen mit 9,2 mg/kg TM im oberen Bereich (Hombrecher et al. 2015). Im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt wurde 2015 unmittelbar am dortigen Emittenten nur einmal ein Kupfergehalt oberhalb OmH dokumentiert, der gleichzeitig oberhalb des strengsten Prüfwerts angesiedelt ist (blassrote Markierung in Tabelle 4.8-2; s. u.).

#### **Vergleich mit Prüfwerten:**

Die Futtermittelverordnung hat keine Höchstgehalte für Kupfer festgelegt. Die VDI-Richtlinienreihe 2310 definiert eine Spanne von MID-Werten (vgl. Tabelle 1.3-1 und Tabelle 4.8-2): 11,4 bis 57 mg/kg TM bezogen auf 100 % Trockenmasse. Der strengste Prüfwert – der auf Höhe des überregionalen OmH liegt (vgl. Bild 4.8-1) und unterhalb des OmH für NRW – würde zu 47 % ausgeschöpft. **Ein aktuelles Gefährdungspotenzial für die Landnutzung kann, wie für die anderen bisher betrachteten Metalle, auch für Kupfer ausgeschlossen werden.**

## 4.9 Nickelgehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.9-1: Nickelgehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Nickel in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	5,7	5,4	5,4	<b>5,5</b>	0,2
MP5	FWS	Flughafen Südwest	6,6	5,5	4,5	<b>5,5</b>	1,1
MP1	FOS	Flughafen Südost	<b>7,2</b>	6,5	4,0	<b>5,9</b>	1,7
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	5,2	5,4	4,2	<b>4,9</b>	0,7
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	5,8	<b>7,3</b>	3,8	<b>5,7</b>	1,8
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	4,5	4,9	3,9	<b>4,4</b>	0,5
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	4,5	5,6	4,8	<b>4,9</b>	0,6
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	6,8	5,2	4,8	<b>5,6</b>	1,1
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	5,3	<b>7,3</b>	5,1	<b>5,9</b>	1,2
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	6,1	5,0		<b>5,6</b>	0,7
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	5,1	4,6	5,5	<b>5,1</b>	0,4
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	6,4	5,5	4,5	<b>5,5</b>	0,9
<b>Median</b>			<b>5,8</b>	<b>5,5</b>	<b>4,5</b>	<b>5,3</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>1,3</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,1</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>57,0</b>	<b>Prüfwert</b>

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. BayLfU 2008-2012 bez. auf Einzelwerte (kein OmH lt VDI3857/2)

Werte > Prüfwert MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.9-2: Nickelgehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Nickel in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	5,5	4,7	6,0	<b>5,4</b>	0,7
MP5	FWS	Flughafen Südwest	6,0	5,8	5,9	<b>5,9</b>	0,1
MP1	FOS	Flughafen Südost	6,7	4,9	<b>7,2</b>	<b>6,3</b>	1,2
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	<b>7,4</b>	6,1	5,5	<b>6,3</b>	1,0
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	6,0	4,6	5,6	<b>5,4</b>	0,7
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	5,4	5,9	6,2	<b>5,8</b>	0,4
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	7,1	5,3	6,4	<b>6,3</b>	0,9
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	6,4	6,3	6,1	<b>6,3</b>	0,2
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	6,2	5,8	7,0	<b>6,3</b>	0,6
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			6,3	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	5,9	5,9	5,9	<b>5,9</b>	0,0
<b>Median</b>			<b>6,1</b>	<b>5,8</b>	<b>6,1</b>	<b>6,0</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	<b>57,0</b>	<b>Prüfwert</b>

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. BayLfU 2008-2012 bez. auf Einzelwerte (kein OmH lt VDI3857/2)

Werte > Prüfwert MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

#### Wertebereich:

Nickel war in allen Graskulturproben auffindbar (analytische Bestimmungsgrenze: 0,05 mg/kg TM) und lag wie Kupfer (vgl. Kapitel 4.8) in einheitlichem Bereich:

- 2015 zwischen 3,8 mg/kg TM und 7,3 mg/kg TM, beides am Messpunkt MP3 Waltersdorf im Gradienten vom östlichen Ende der Südbahn gemessen (vgl. Tabelle 4.9-1);
- 2013 zwischen 4,6 mg/kg TM am Messpunkt MP11 in Schulzendorf und 7,4 mg/kg TM am MP3 (vgl. Tabelle 4.9-2).

Die stoffspezifische Variabilität war mit 15 % normal, aber etwas höher als der in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (2013 Entwurf) genannte Wert von 9 % (vgl. Kapitel 4.2). Dies war durch die vergleichsweise höhere relative Differenz von 33 % der Parallelbeprobungen an MP1 / MP1p 2015 bedingt.

#### Messpunktevergleich:

In fünf Fällen erreichten Nickelgehalte in standardisierten Graskulturen knapp den Orientierungswert OmH für den maximalen ländlichen Hintergrund (vgl. Bild 4.9-1 bis Bild 4.9-3): 2013 und 2015 je einmal an Messpunkt MP1 vom östlichen Ende der Südbahn und an Messpunkt MP3 Waltersdorf im Gradienten davon, sowie einmal 2015 an MP10 Kontrolle Waßmannsdorf. Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass alle Werte recht einheitlich waren und dass „als unwesentlich betrachtet“ werden sollte, wenn „ein einzelnes zu bewertendes Analyseergebnis den OmH um weniger als 30 %“ überschreitet (BayLfU 2009 und 2015). **Da keine mehrheitlichen OmH-Überschreitungen vorkamen und auch an den Referenzmesspunkten Nickelgehalte bis 7,0 mg/kg TM gemessen wurden (siehe Bild 4.9-3), ist ein Einfluss des Flughafenbetriebs nicht ableitbar.**

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

**Die Nickelergebnisse aus dem Untersuchungsgebiet waren einheitlich unauffällig und können keinen speziellen Quellen zugeordnet werden.**

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

**Zeit- und verfahrensgleich im Raum Ingolstadt gemessene Nickelgehalte lagen im gleichen Wertebereich wie im Untersuchungsgebiet, zeigten keine Unterschiede zwischen den Messpunkten und nur in Ausnahmefällen wurde der OmH knapp erreicht. Der Bayerische Hintergrund überschneidet sich mit diesen Wertebereichen (Datenquelle BayLfU, www.lfu.bayern.de unveröffentlicht, siehe Tabelle 4.9-3).**

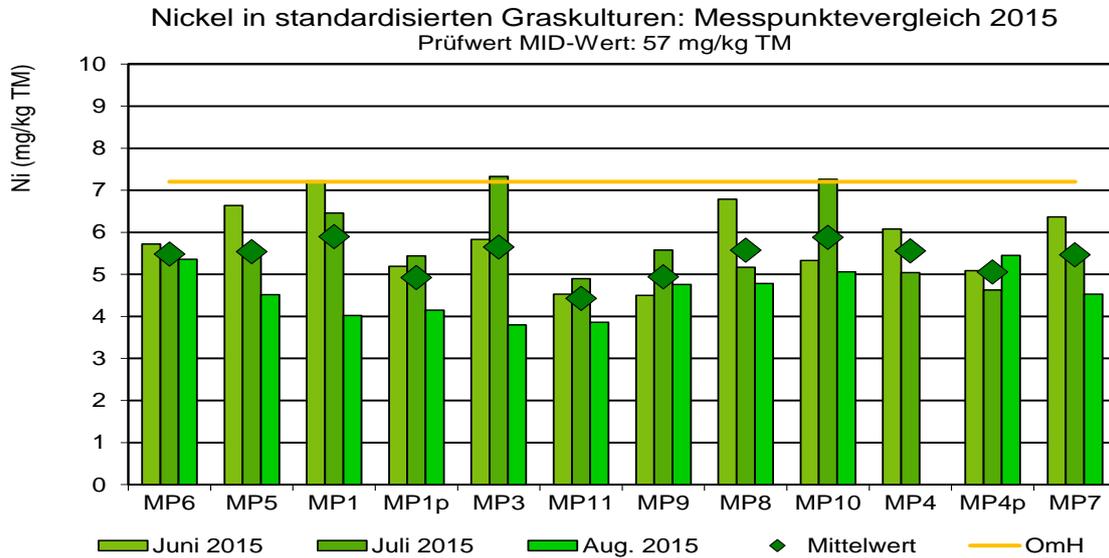


Bild 4.9-1: Nickel in standardisierten Graskulturen 2015

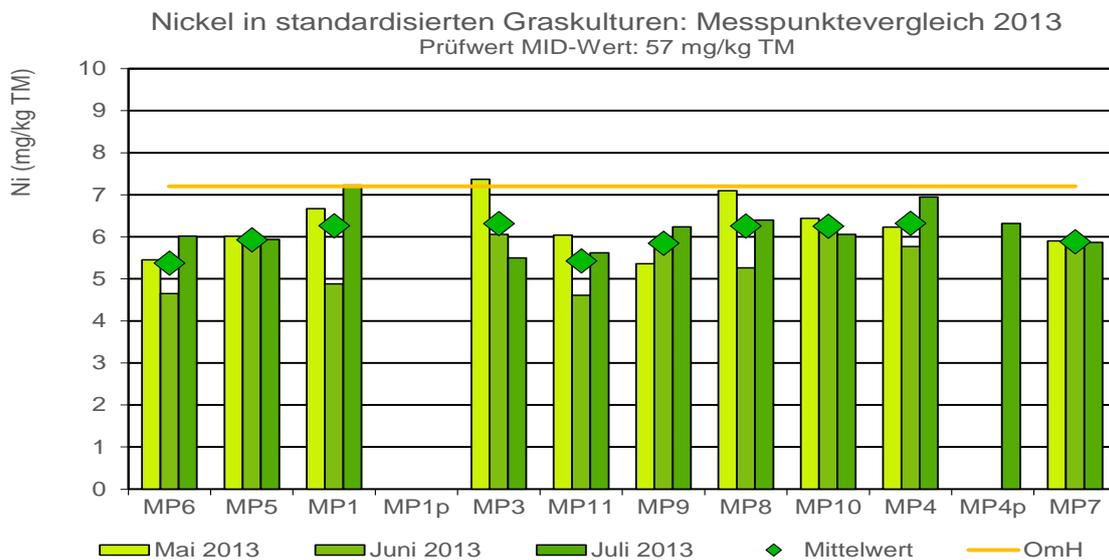


Bild 4.9-2: Nickel in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug/Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER	+2015*	+2015							+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+		+		+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

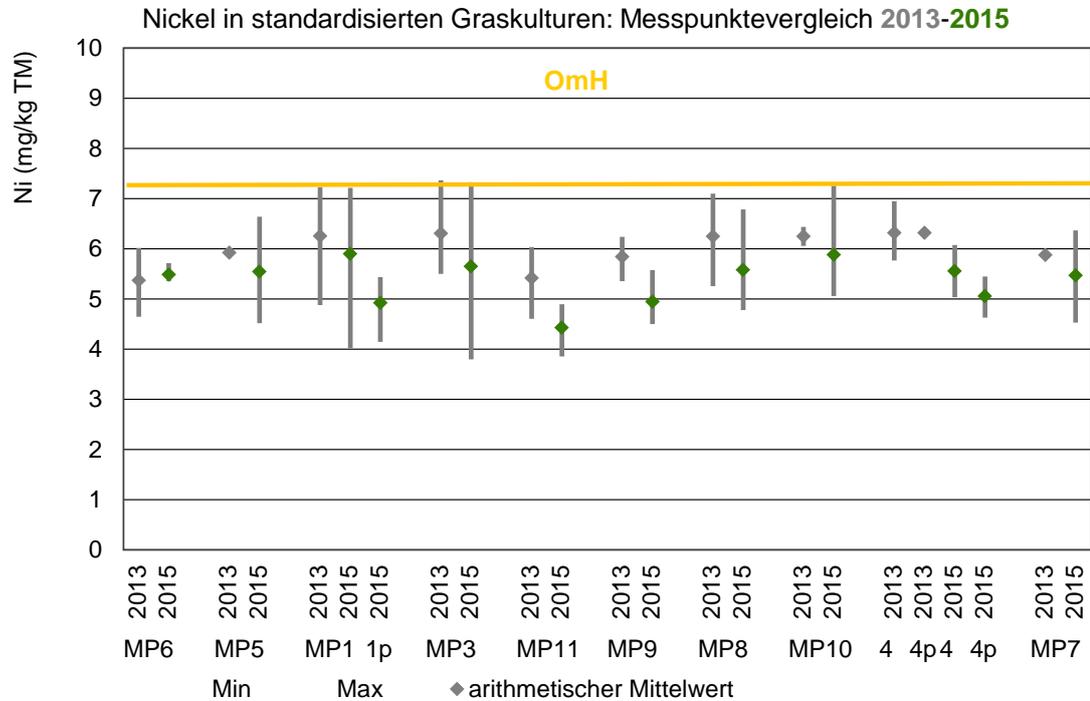


Bild 4.9-3: Nickel in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.9-3: Nickel - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Nickel (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld	Min.	5,4	4,6	5,5	4,5	4,6	3,8
Flughafen BerlinSchönefeld	Max.	7,4	6,3	7,2	7,2	7,3	5,5
Biomonitoring in Umgebung	ReferenzMP	2,9-3,4	3,1	2,7			
Flughafen München (TÜV'15)	flughafenbez.	3,7-5,0	3,8-4,1	3,1-3,7			
Graskult. Raum Ingolstadt	ReferenzMP	6,7	5,2	6,4	3,7	3,9	
(um Anlage, UMW-eigen)	Max quellennah	8,8	5,4	6,5	5,2	7,4	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	2,8-5,6	2,6-4,0	3,7-4,8	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	-	ländl.BayLfU	<b>7,2</b>	NRW2004-13	<b>3,7</b>	Prüfwert MID-Wert	<b>57,0</b>

Die folgenden, nicht verfahrensgleich durchgeführten Biomonitorings – insbesondere die Graskulturanzucht betreffend – können hinsichtlich Nickelergbnissen nicht uneingeschränkt verglichen werden: Am Flughafen München wurden 2013 tendenziell niedrigere Nickelgehalte dokumentiert, als im Untersuchungsgebiet im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld (TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015) und in NRW wurden an ländlichen und städtischen Hintergrundstandorten 2004 bis 2013 mit im Mittel 1,9 mg/kg TM (Median; Hombrecher et al. 2015) ebenfalls niedrigere Nickelwerte dokumentiert.

**Vergleich mit Prüfwerten:**

Da die Futtermittelverordnung keinen Höchstgehalt für Nickel definiert, wird hier der MID-Wert nach VDI-Richtlinienreihe 2310 herangezogen (vgl. Tabelle 1.3-1): 57 mg/kg bezogen auf 100 % Trockenmasse. Dieser Prüfwert wurde nur zu rund 10 % ausgeschöpft. **Von einem Gefährdungspotenzial für die Landnutzung ist somit, wie für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom und Kupfer auch für Nickel nicht auszugehen** (vgl. Tabelle 4.9-3).

## 4.10 Quecksilbergehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.10-1: Quecksilbergehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Quecksilber in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	0,011	0,011	0,010	<b>0,011</b>	0,001
MP5	FWS	Flughafen Südwest	0,012	0,012	0,010	<b>0,011</b>	0,001
MP1	FOS	Flughafen Südost	0,016	0,012	0,011	<b>0,013</b>	0,003
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	0,015	0,011	0,005	<b>0,010</b>	0,005
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	0,013	0,011	0,010	<b>0,011</b>	0,002
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	0,010	0,005	0,005	-	-
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	0,012	0,005	0,005	-	-
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	0,013	0,010	0,011	<b>0,011</b>	0,002
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	0,013	0,012	0,011	<b>0,012</b>	0,001
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	0,012	0,012		<b>0,012</b>	0,000
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	0,012	0,011	0,005	<b>0,009</b>	0,004
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	0,011	0,010	0,005	<b>0,009</b>	0,003
<b>Median</b>			<b>0,012</b>	<b>0,011</b>	<b>0,010</b>	<b>0,011</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>0,001</b>	<b>0,002</b>	<b>0,006</b>	<b>0,002</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			0,020	0,020	0,020	0,057 - 0,114	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-12) bez. auf Einzelwerte; Kleinschrift: Wert halber Bestimmungsgrenze

Werte > Prüfwerte MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

- : kein Mittelwert und keine Standardabweichung möglich, da Werte mehrheitlich kleiner Bestimmungsgrenze

### Wertebereich:

Quecksilber wurde im Jahr 2015 erstmals beim Biomonitoring untersucht. Bei einer Bestimmungsgrenze (BG) von 0,01 mg/kg TM war es in rund 10 % der Graskulturproben analytisch nicht bestimmbar. „Werte“ kleiner Bestimmungsgrenze sind in Tabelle 4.10-1 und Bild 4.10-1 jeweils mit deren halbem „Wert“ dargestellt (in Tabelle 4.10-1 in Kleinschrift). Der höchste Quecksilbergehalt wurde nahe der Bestimmungsgrenze am Messpunkt MP1 am östlichen Ende der Südbahn des Flughafens gemessen: 0,016 mg/kg TM (vgl. Tabelle 4.10-1).

Die stoffspezifische Variabilität war mit 6 % sehr gering und noch niedriger als der für Quecksilber in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 genannte Erfahrungswert (2013 Entwurf): dort 10 % (vgl. Kapitel 4.2).

### Messpunktevergleich:

**Die Quecksilbergehalte in standardisierten Graskulturen lagen im Umfeld um den Flughafen Berlin Schönefeld 2015 einheitlich im niedrigen Hintergrundbereich** (siehe Bild 4.10-1, s. u.: an MP9 und MP11 ist kein Mittelwert möglich, da die Werte mehrheitlich kleiner Bestimmungsgrenze liegen).

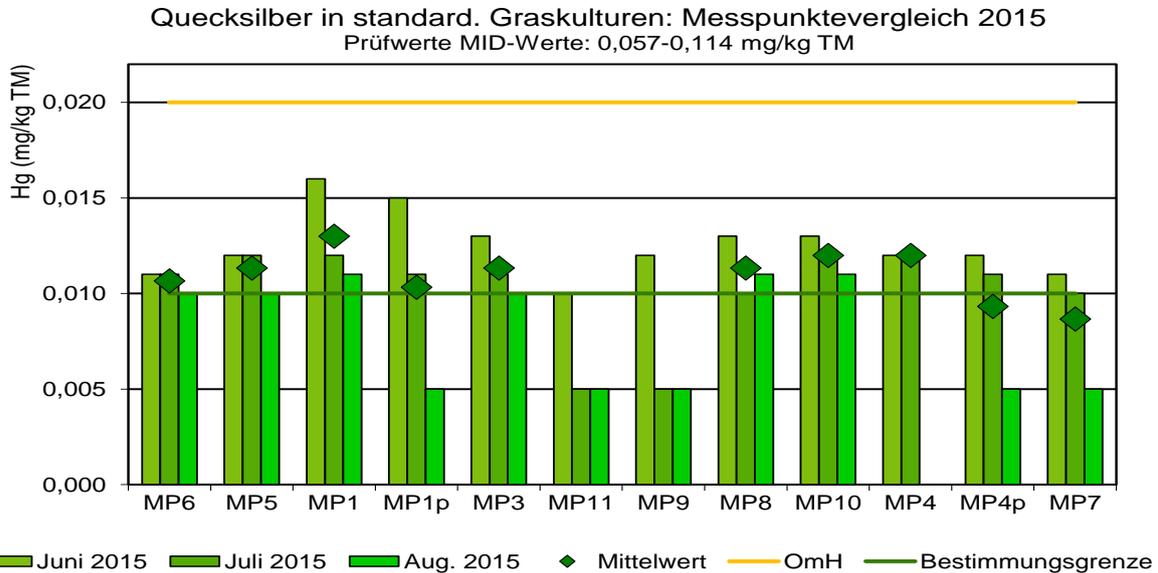


Bild 4.10-1: Quecksilber in standardisierten Graskulturen 2015

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER	+2015*	+2015							+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+		+	+				+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund										+		+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

Tabelle 4.10-2: Quecksilber - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Quecksilber (mg/kg TM)	Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.			0,010	<0,010	<0,010
	Max.			0,016	0,012	0,011
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV15)	ReferenzMP	0,010	0,017	<0,010		
	flughafenbez.	<0,010-0,020	0,019-0,021	<0,010		
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	
	Max quellennah	0,015	0,018	0,021	0,017	0,042
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	0,005-0,008	0,004-0,006	0,005-0,007	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de	
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	<b>0,020</b>	ländl.BayLfU	<b>0,013</b>	NRW2004-13	-	Prüfwert MID-Wert <b>0,057 - 0,114</b>

#### **Quellen und Immissionseinflüsse:**

Die Verbrennung fossiler Brennstoffe, Zementproduktion und Abfallverbrennung gelten als Hauptquellen für Quecksilber (z. B. UBA 2014). **Immissionsbedingte Quecksilbergehalte traten 2015 im Untersuchungsgebiet nicht auf: Alle Ergebnisse lagen niedrig, unterhalb OmH** (vgl. Bild 4.10-1).

#### **Vergleich mit anderen Untersuchungen:**

Die Quecksilbergehalte aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld lagen im vergleichbaren Bereich wie aktuelle Biomonitoring-Ergebnisse im quellenfernen Hintergrund (vgl. Tabelle 4.10-2):

- zeitgleich gemessene Quecksilbergehalte standardisierter Graskulturen eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt (eigene Daten, unveröffentlicht);
- Quecksilberergebnisse an Referenzmesspunkten am Münchner Flughafen 2013 (TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015);
- der ländliche bayerische Hintergrund 2013 (Datenquelle BayLfU: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)).

Die 2013 am Münchner Flughafen flughafennah gemessenen Quecksilbergehalte in Graskulturen übertrafen teilweise OmH, ebenso wie emittentennah gemessene im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt (orangefarbige Markierung in Tabelle 4.10-2).

#### **Vergleich mit Prüfwerten:**

Aufgrund der ökotoxischen Bedeutung sind MID-Werte für Quecksilber festgelegt (wenn auch keine Höchstgehalte gemäß FuttMV; vgl. Tabelle 4.10-2): 0,054 bis 0,114 mg/kg Quecksilber bezogen auf 100 % TM.

Die VDI-Richtlinienreihe 2310 definiert eine Spanne von MID-Werten (vgl. Tabelle 1.3-1 und Tabelle 4.10-2): 11,4 bis 57 mg/kg bezogen auf 100 % Trockenmasse. **Der strengste Prüfwert würde zu rund 20 % ausgeschöpft, weshalb für Quecksilber nicht von einem aktuellen Gefährdungspotenzial für die Landnutzung auszugehen ist.**

## 4.11 Zinkgehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.11-1: Zinkgehalte in standardisierten Graskulturen 2015

Zink in Graskulturen 2015 (mg/kg TM)			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.2015	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	26	26	24	25	0,8
MP5	FWS	Flughafen Südwest	31	33	25	30	4,1
MP1	FOS	Flughafen Südost	33	29	22	28	5,7
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	26	30	29	28	2,4
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	27	31	27	28	2,3
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	20	30	22	24	5,4
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	20	24	24	23	2,4
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	30	28	23	27	3,7
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	24	32	24	27	4,9
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	25	25		25	0,4
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	22	22	23	22	0,8
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	32	35	26	31	4,5
<b>Median</b>			<b>26</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>26</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>7,4</b>	<b>6,0</b>	<b>2,5</b>	<b>6,2</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			50	50	50	341 - 568	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte

Werte > Prüfwerte MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.11-2: Zinkgehalte in standardisierten Graskulturen 2013

Zink in Graskulturen 2013 (mg/kg TM)			Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittelwert	STABW
MP	Abkürz.	Messpunkt-Name	8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli 2013	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	25	17	23	22	3,9
MP5	FWS	Flughafen Südwest	24	20	22	22	1,7
MP1	FOS	Flughafen Südost	25	17	26	23	5,5
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	28	18	24	23	4,9
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	24	17	23	21	3,5
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	21	23	25	23	1,9
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	28	18	24	24	5,1
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	25	21	23	23	2,1
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	27	22	24	24	2,6
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel			23	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	24	20	23	22	2,2
<b>Median</b>			<b>25</b>	<b>19</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>2,7</b>	<b>3,2</b>	<b>1,6</b>	<b>3,5</b>	
Orientierungswert OmH (VDI 3857/2)			50,0	50,0	50,0	341 - 568	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert lt. VDI 3957/2 (od. BayLfU 2008-2012) bez. auf Einzelwerte

Werte > Prüfwerte MID-Werte nach VDI-Richtliniereihe 2310; bezogen auf Mittelwerte

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

#### Wertebereich:

Die Gehalte des Spurenelements Zink in standardisierten Graskulturen lagen 2015 wie schon 2013 deutlich über der analytischen Bestimmungsgrenze (0,25 mg/kg TM) in einem sehr engen Bereich:

- 2015 zwischen 20 und 35 mg/kg TM - letzterer am Referenzmesspunkt MP7 bei Genshagen gemessen (vgl. Tabelle 4.11-1);
- 2013, mit 2015 gut übereinstimmend, zwischen 17 und 28 mg/kg TM - letzterer am Kontrollmesspunkt MP8 bei Rotberg gemessen (vgl. Tabelle 4.11-2).

Die stoffspezifische Variabilität betrug 15 %, ein für dieses Verfahren normaler Wert, aber wie bei Nickel höher als der in VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 genannte Wert (2013 Entwurf): dort 9 % (vgl. Kapitel 4.2). Dies war bedingt durch die höhere relative Differenz von 31 % der Parallelbeprobungen an MP1 / MP1p im Jahr 2015.

#### Messpunktevergleich:

Die Zinkwerte 2015 (siehe Bild 4.11-1) waren teilweise geringfügig höher als 2013 (siehe Bild 4.11-2), am deutlichsten am Referenzmesspunkt MP7 bei Genshagen. Deutliche Unterschiede zwischen den Messjahren oder den Messpunkten bestanden nicht. (siehe Bild 4.11-3). **Insgesamt wurden niedrige Zinkwerte, deutlich unterhalb des Orientierungswertes für den maximalen ländlichen Hintergrund (OmH) gemessen.**

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Quellen für den Eintrag von Zink in die Umwelt können, neben dem Verkehr, z. B. der Einsatz von Düngemitteln in der Landwirtschaft sein (Hüffmeyer 2007), oder wie Staubaufwirbelung durch landwirtschaftliche Aktivitäten (geogener und anthropogener Staubeintrag). Effekte durch landwirtschaftliche Aktivitäten wurden aber beim Graskultur-Biomonitoring im Untersuchungsgebiet nicht deutlich, obwohl beispielsweise im August 2015 die Graskulturen an den Messpunkten MP1 /MP1p und MP6 an bzw. in abgeernteten Feldern standen – bei gleichzeitig großer Trockenheit. **Die Zinkergebnisse aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren einheitlich unauffällig und können keinen speziellen Quellen zugeordnet werden.**

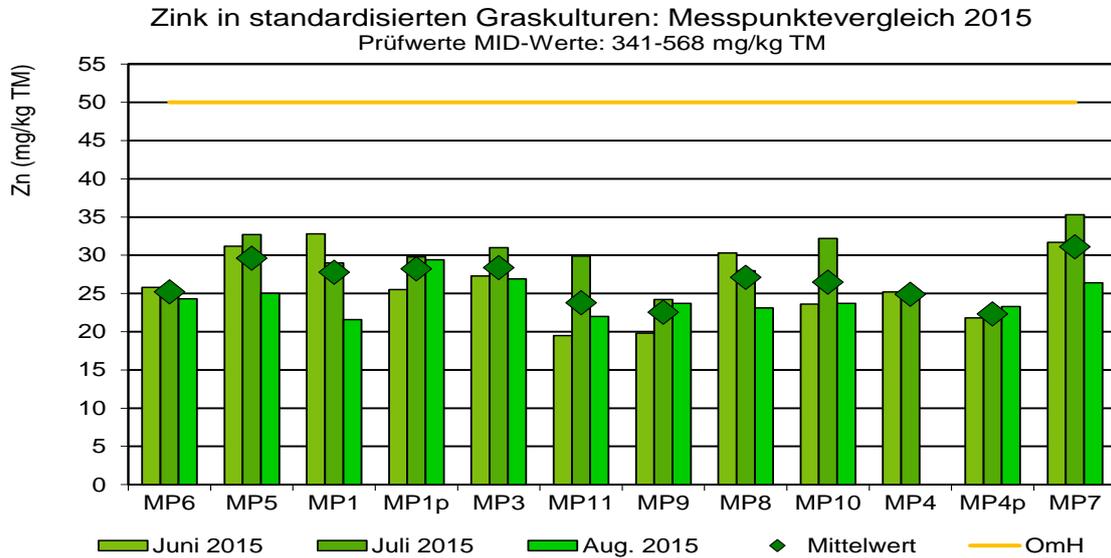


Bild 4.11-1: Zink in standardisierten Graskulturen 2015

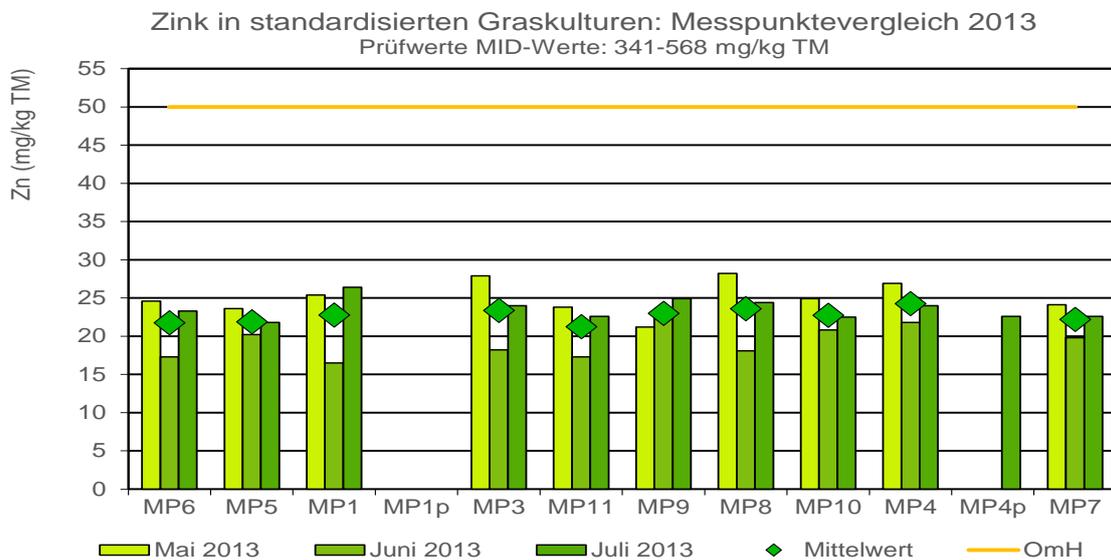


Bild 4.11-2: Zink in standardisierten Graskulturen 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER	+2015/BER					?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER	+2015*/BER	+2015*	+2015							+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+		+		+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

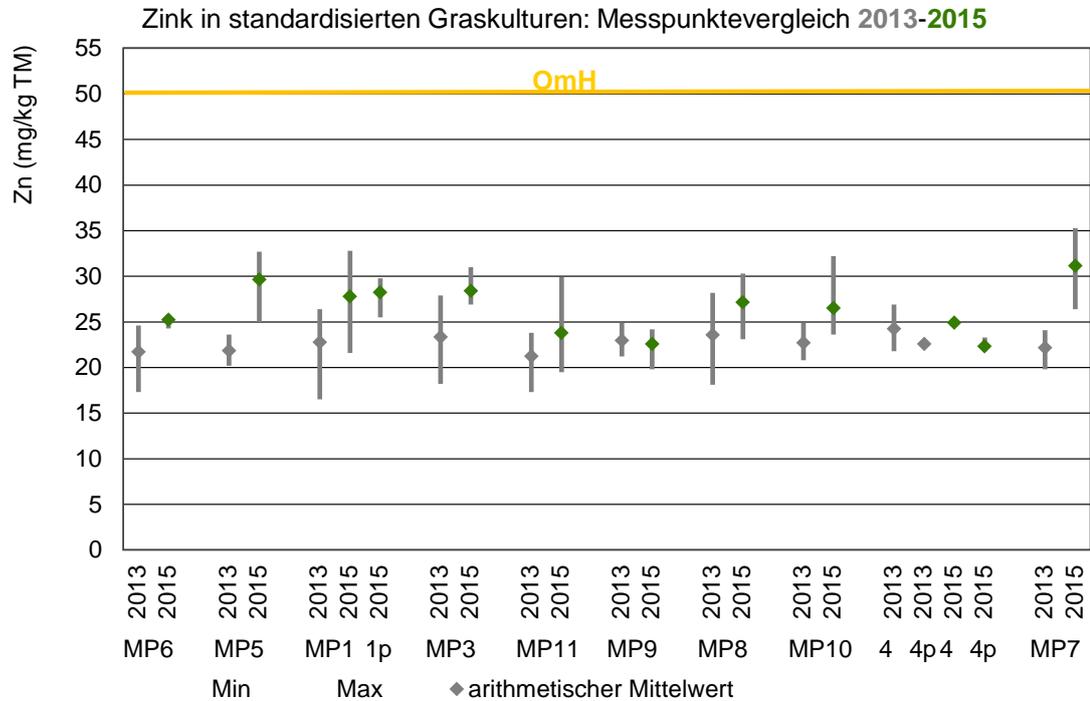


Bild 4.11-3: Zink in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.11-3: Zink - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte für Zink (mg/kg TM)		Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	21	17	22	20	22	22
	Max.	28	23	26	33	35	29
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV'15)	ReferenzMP	20-21	19	20			
	flughafenbez.	22-28	21-23	21-24			
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	30	20	24	18	18	
	Max quellennah	73	38	50	56	144	
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.	18-34	11-15	12-21	<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert lt. VDI</b>	<b>50</b>	ländl.BayLfU	<b>46</b>	NRW2004-13	<b>51</b>	Prüfwert MID-Wert	<b>341 - 568</b>

**Vergleich mit anderen Untersuchungen:**

Die Zinkergebnisse aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren mit anderen aktuellen Graskultur-Biomonitorings gut vergleichbar (siehe Tabelle 4.11-3):

- mit Zinkgehalten in Graskulturen an flughafennahen Messpunkten und an Referenzmesspunkten 2013 am Flughafen München (dort keine aktuelleren Daten; TÜV Süd Industrie Service GmbH);

- mit dem zeitgleich gemessenen Hintergrund eines Untersuchungsgebiets bei Ingolstadt (unveröffentlichte eigene Daten);
- mit dem oberen Wertebereich des niedrigen ländlichen Hintergrunds in Bayern 2013 (Datenquelle BayLfU: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)).

#### **Vergleich mit Prüfwerten:**

Die Futtermittelverordnung hat keinen Höchstgehalt für Zink in Tierfuttermitteln definiert. Für die maximale Immissionsdosis in der Tierernährung hat aber die VDI-Richtlinie 2310 Blatt 3 MID-Werte für Zink festgelegt: für Rinder 341 mg/kg und für Schafe 568 mg/kg bezogen auf 100 % Trockenmasse. Die Untergrenze dieser Prüfwerte würde nur zu weniger als 10 % ausgeschöpft. **Von einem Gefährdungspotenzial für die Landnutzung ist somit, wie auch für alle anderen Metalle, nicht auszugehen** (vgl. Tabelle 4.11-3).

## 4.12 PAK-Gehalte in standardisierter Graskultur

Tabelle 4.12-1: Summe der 16 EPA-PAK - Gehalte in standardisierten Graskulturen 2015

16 EPA-PAK (µg/kg TM) in Graskultur			Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015	Mittel 2015	STABW
Nr.	Abkürz.	Messpunkt-Name	4.6.-2.7.15	2.7.-30.7.15	30.7.-26.8.15	Juni-Aug.'15	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	34	36	45	39	6,1
MP5	FWS	Flughafen Südwest	33	35	47	38	7,6
MP1	FOS	Flughafen Südost	35	37	43	38	4,4
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	38	33	42	38	4,2
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	41	41	40	41	0,6
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	34	26	35	32	5,1
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	37	38	37	37	1,0
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	36	33	37	35	2,2
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	33	46	47	42	7,6
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	33	26		30	5,0
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	32	29	37	33	3,8
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	28	29	42	33	7,7
<b>Median</b>			<b>34</b>	<b>34</b>	<b>42</b>	<b>37</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>			<b>3,0</b>	<b>6,3</b>	<b>8,0</b>	<b>6,9</b>	
Orientierungswert OmH (BayLfU2007-11)			56	56	52	-	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert nach BayLfU 2007-2011 bezogen auf Einzelwerte: "Da sich die Freisetzung [...] im Jahresverlauf systematisch verändert, werden OmH für [...] Zeiträume angegeben": 56 µg/kg TM für Mai-Juli, 52 µg/kg TM ab August

Werte > Prüfwert nach FuttMV oder MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: nicht definiert

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

Tabelle 4.12-2: Summe der 16 EPA-PAK - Gehalte in standardisierten Graskulturen 2013

16 EPA-PAK (µg/kg TM) in Graskultur			Mai 2012	Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Mittel 2013	STABW
Nr.	Abkürz.	Messpunkt-Name		8.5.-4.6.13	5.6.-4.7.13	5.7.-4.8.13	Mai-Juli'13	Standardabw.
MP6	FWM	Flughafen Mahlow	-	46	42	49	46	3,6
MP5	FWS	Flughafen Südwest	95	57	34	38	43	12,4
MP1	FOS	Flughafen Südost	69	65	33	39	46	16,9
MP1p	FOSp	Flughafen Südost Parallel	-					
MP3	FOW	Flughafen Waltersdorf	-	76	40	40	52	20,8
MP11	SSS	Siedlung Schulzendorf	-	59	35	28	41	16,1
MP9	SSN	Siedlung Schönefeld	-	66	45	38	50	14,8
MP8	KSR	Kontrolle Rotberg	-	64	40	44	49	12,9
MP10	KNW	Kontrolle Waßmannsdorf	-	54	36	43	44	9,4
MP4	RZN	Referenz Zülowniederung	92	53	41	28	40	-
MP4p	RZ1	Ref. Zülownied. Parallel	-			35	-	-
MP7	RGÜ	Referenz Genshagen	-	55	27	30	38	15,5
<b>Median</b>				<b>58</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	
<b>(Q.75-Q.25)</b>				<b>11</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	
Orientierungswert OmH			56	56	56	56	-	Prüfwert

Median und Q75-Q25: Interquartilabstand, bezogen auf jeweilige Exposition im Untersuchungsgebiet

Werte > Orientierungswert nach BayLfU 2007-2011 bezogen auf Einzelwerte: "Da sich die Freisetzung [...] im Jahresverlauf systematisch verändert, werden OmH für [...] Zeiträume angegeben": 56 µg/kg TM für Mai-Juli, 52 µg/kg TM ab August

Werte > Prüfwert nach FuttMV oder MID-Wert nach VDI-Richtliniereihe 2310: nicht definiert

kein Wert: MP1p weil 2013 so geplant, MP4p wg. Vandalismus; Aug. 2015 ersatzweise MP7p parallel untersucht

### Wertebereich:

In Tabelle 4.12-1 und Tabelle 4.12-2 sind die Summen der 16 EPA-PAK dargestellt. Im Anhang, in Kapitel 9, Tabelle 9.1-1 ff. sind die PAK dargestellt nach:

- Einzelkomponenten (16 PAK nach EPA610)
- mit Benzo[a]pyren (BaP) als Leitkomponente,
- die Summe der vier PAK Benz[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b+j+k]fluoranthren und Benzo[a]pyren (BaA, CHR(+TRI), BbJF+BkF, BaP als PAK4: grau unterlegt),
- die Summe der 12 schwerer flüchtigen EPA-PAK (fett) und die Summe aller 16 EPA-PAK.
- Der Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt (OmH) von bayerischen Hintergrundstationen aus den Jahren 2007 bis 2011, spezifisch für die Graskulturexpositionsperiode.
- Treten bei der Summe aller 16 EPA-PAK Überschreitungen dieses OmH auf, so ist ein Immissionseinfluss anzunehmen und die Werte sind wie der OmH orangefarbig hinterlegt.

Die Gehalte der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) lagen in standardisierten Graskulturen 2012, 2013 und 2015 über der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg TM – mit Ausnahme einer Einzelverbindung im Juni 2015 (siehe Anhang :Kapitel 9, Tabelle 9.1-1, dort am Messpunkt MP6 Dibenz[a,h+ac]anthracen mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze in die Summe der PAK einbezogen).

In den Graskulturen, die jeweils im Mai 2012 und 2013 exponiert waren, lagen die Summen der 16 EPA-PAK zwischen 46 µg/kg TM im Mai 2013 am Messpunkt MP6 und 95 µg/kg TM im Mai 2012 am Messpunkt MP5, beide im Gradienten bzw. an der damals nicht betriebenen Südbahn befindlich. Die PAK-Gehalte waren im Mai tendenziell höher als in den nachfolgenden Expositionen 2013 sowie höher als Juni bis August 2015: mit Summen der 16 EPA-PAK zwischen 26 µg/kg TM, 2015 gemessen am Referenzmesspunkt MP4p (siehe Tabelle 4.12-1), und 49 µg/kg TM, 2013 gemessen am MP6 (siehe Tabelle 4.12-2).

Die stoffspezifische Variabilität war mit 10 % für die Summe der leichter flüchtigen und schwerer flüchtigen 16 PAK sehr niedrig<sup>7</sup> (vgl. Kapitel 4.2).

---

<sup>7</sup> Die Variabilität lag bis 2013 mit 24 % für die Summe der 16 EPA-PAK auf durchschnittlichem Niveau, mit 14 % für die Summe der schwerer flüchtigen 12 PAK und mit 8 % für Benzo[a]pyren niedrig.

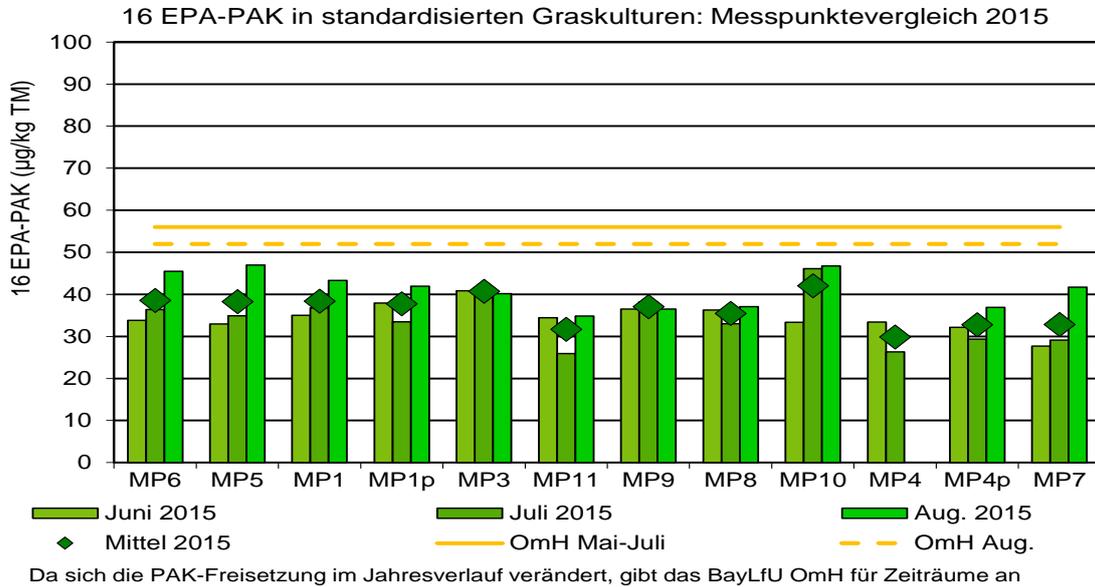


Bild 4.12-1: Summen der 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2015

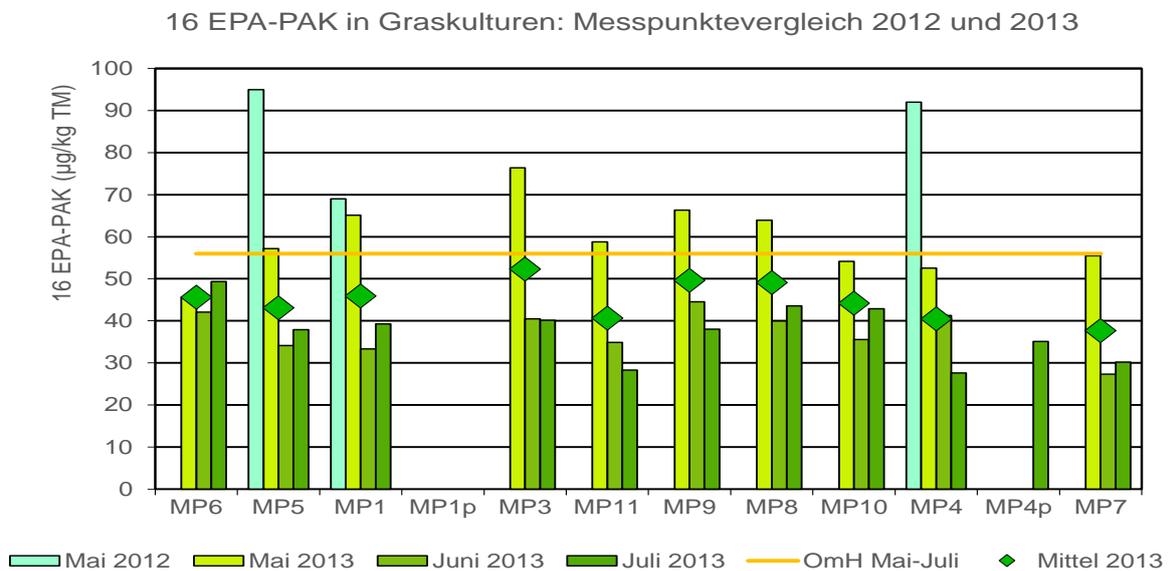


Bild 4.12-2: Summen der 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2012 und 2013

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+2015/BER		+2015/BER				?2015				
Überflug	+2015*	+2015/BER		+2015*/BER	+2015*	+2015						+2015*
Kfz-Verkehr												
Autobahn												
in Siedlung						+	+					
Landwirtschaft	+			+	+			+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+

+: trifft zu; +2015: trifft Mai-Okt. 2015 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

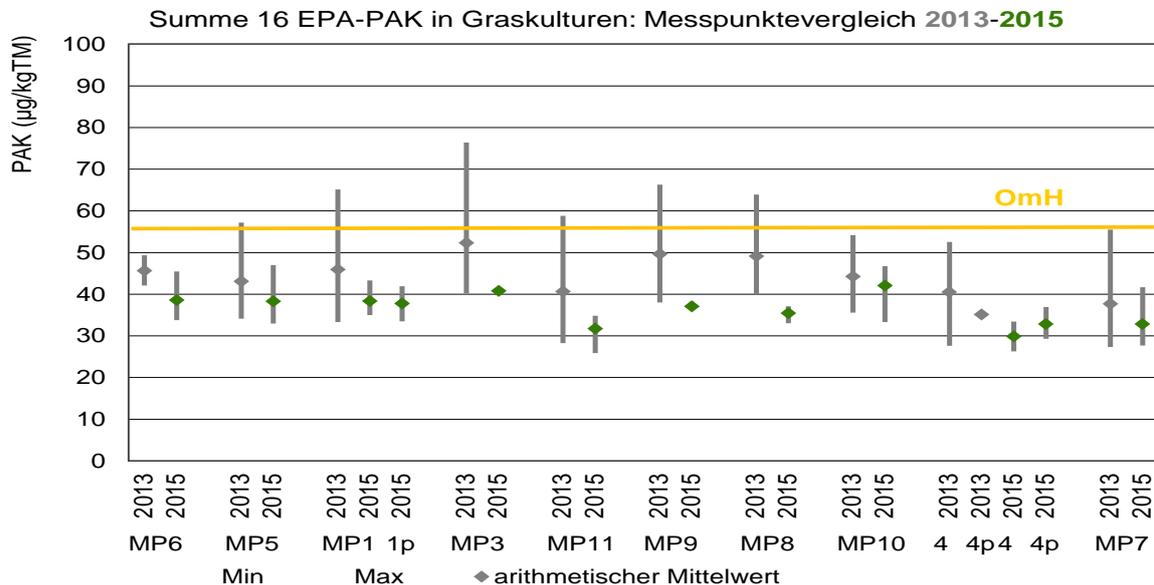


Bild 4.12-3: 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen 2013 und 2015 im Vergleich

Tabelle 4.12-3: 16 EPA-PAK - Vergleich mit anderen Graskultur-Biomonitoring Ergebnissen

Vergleichswerte 16 EPA-PAK (µg/kg TM)		Mai 2012	Mai 2013	Juni 2013	Juli 2013	Juni 2015	Juli 2015	Aug. 2015
Graskulturen im Umfeld Flughafen BerlinSchönefeld	Min.	69	46	33	28	28	26	35
	Max.	95	76	45	49	41	46	47
Biomonitoring in Umgebung Flughafen München (TÜV 15)	ReferenzMP	50-65*	25 (Mischpr. Mai-Juli; *: auch 2012)			Circa-Werte des TÜV: aus Grafiken abgelesen		
	flughafenbez.	70-80*	20-40 (Mischpr. Mai-Juli; *: auch 2012)					
Graskult. Raum Ingolstadt (um Anlage, UMW-eigen)	ReferenzMP	40*	36 (Mischprobe Mai-Juli; *: auch 2012)					
	quellennah	193*	176 (Mischprobe Mai-Juli; *: auch 2012)					
BayLfU ländl. Hintergrund <sup>1)</sup>	ländl.Hintergr.		16-44 (Mischproben Mai-Juli)			<sup>1)</sup> Datenquelle: BayLfU www.lfu.bayern.de		
<b>Orientierungswert (OmH) ländl. BayLfU für Mai-Juni</b>	<b>56</b>	<b>OmH ländl. BayLfU für August</b>		<b>52</b>	NRW2004-13 Benzo[a]pyren	OmH für BaP: 2,1	<b>Prüfwerte MID, FuttMV</b>	-

### Messpunktevergleich:

Am Messpunkt MP3, im Gradienten von der 2015 betriebenen Südbahn des Flughafens Schönefeld nach Osten bei Waltersdorf, wurden im Jahr 2013 die im Messpunktevergleich im Mittel höchsten (vgl. Bild 4.12-2) und 2015 die zweithöchsten PAK-Gehalte ermittelt (vgl. Bild 4.12-1). Die im Jahr 2015 im Messpunktevergleich höchsten PAK-Gehalte wurden an MP10 bei Waßmannsdorf gemessen. Dieser Messpunkt ist vergleichsweise am nächsten zur Nordbahn gelegen und könnte durch Baumaßnahmen zu derer Sanierung 2015 sowie durch innerörtliche Straßenbaumaßnahmen beeinflusst gewesen sein. Bei diesen Messpunktstufungen muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich um tendenziell geringfügig höhere Werte handelt (Gehalte mehrheitlich höher als die der Referenzmesspunkte plus 2fache Variabilität). Ab Juni, d. h. im Sommer 2013 und 2015, lagen alle Summen der 16 EPA-PAK

unterhalb OmH als Schwelle für Immissionseinflüsse und somit im niedrigen Hintergrundbereich.

**Deutliche Unterschiede zwischen den Messpunkten bestanden nicht** (vgl. Bild 4.12-3).

Es fällt auf, dass die saisonalen Unterschiede zwischen immissionsbedingten PAK-Gehalten oberhalb OmH im Mai 2012 und 2013 und niedrigen PAK-Gehalten in den Sommermonaten 2013 und 2015 (Juni bis August) größer sind, als die Unterschiede zwischen den Messpunkten (vgl. Bild 4.12-1 und Bild 4.12-2).

#### Quellen und Immissionseinflüsse:

Die PAK-Gehalte in Graskulturen lagen im Juni und Juli 2013 (Bild 4.12-2) wie im Juni bis August 2015 (vgl. Bild 4.12-1) sämtlich unterhalb OmH (orangefarbige Linien) als Schwellen, die den Hintergrund gegenüber Immissionseinflüssen abgrenzen. **Das Ergebnis weist auf den saisonalen, über-regionalen Immissionseinfluss der häuslichen Kleinfeuerungsanlagen hin (Wäber et al. 2015): Die PAK-Immissionswirkungen in Graskulturen im Mai 2012 und 2013 übertrafen den OmH am Flughafen (MP5, MP1, MP8), in und nahe Siedlungen (MP3, MP9, MP11) und im ländlichen Bereich gleichermaßen** (2012: MP4, vgl. Tabelle 4.12-2, siehe auch Bild 4.13-1 und Bild 4.13-2). Die kalte Witterung im Mai beider Jahre dürfte den Betrieb häuslicher Kleinfeuerungsanlagen nötig gemacht haben. Deren Betrieb stellt, neben Verkehr, eine Hauptquelle (vgl. Kapitel 3.1) für PAK-Immissionen dar.

**Ein Einfluss des Flughafenbetriebs auf die PAK-Gehalte 2012, 2013 und 2015 zeigte sich nicht, ebenso nicht für die Metallgehalte in Graskulturen** (vgl. Kapitel 4.3 bis Kapitel 4.11).

#### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die Summengehalte der 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld waren mit anderen aktuellen Graskultur-Biomonitorings gut vergleichbar:

- Die PAK-Gehalte in Graskultur-Mischproben von Mai bis Juli lagen 2012 am Flughafen München an flughafennahen Messpunkten und Referenzmesspunkten gleichermaßen oberhalb OmH, zwischen rund 50 und 80 µg/kg TM; im Jahr 2013 lagen sie flughafennah und -fern in den Mischproben unterhalb OmH, zwischen rund 20 und 40 µg/kg TM (dort keine aktuelleren Daten; TÜV Süd Industrie Service GmbH; (siehe Tabelle 4.12-3).
- Die Summe der 16 EPA-PAK lag 2012 am Referenzmesspunkt eines Untersuchungsgebietes bei Ingolstadt (unveröffentlichte eigene Daten) bei 40 µg/kg TM. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass im Raum Ingolstadt nicht Graskulturproben vom Mai, sondern Graskultur-Mischproben von Mai bis Juli auf PAK untersucht wurden. Im Jahr 2013 war das Ergebnis vom Ingolstädter Referenzmesspunkt mit 36 µg/kg TM für die Summe der 16 EPA-PAK mit den PAK-Gehalten im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld gut vergleichbar. Quellennah wurden im Untersuchungsgebiet bei Ingolstadt 2012 und 2013 rund fünffach über dem lokalen Hintergrund erhöhte Immissionswirkungen der 16 EPA-PAK gemessen: rund 180-190 µg/kg TM.

- Die aus den ländlichen Hintergrundmessungen in Bayern aus 2013 vorliegenden PAK-Ergebnisse (ebenfalls Graskultur-Mischproben von Mai bis Juli) entsprechen mit Summen der 16 EPA-PAK zwischen rund 20 und 40 µg/kg TM dem Wertebereich von Juni und Juli 2013 aus dem Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld (Datenquelle BayLfU: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)).

**PAK-Gehalte in Graskulturen im Umfeld des Flughafens Schönefeld 2012, 2013 und 2015 lagen, vergleichbar mit anderen quellenfernen Ergebnissen, im niedrigen Bereich und nur in Einzelfällen immissionsbedingt – bei PAK saisonal – über OmH, ebenso wie die Metallgehalte in Graskulturen** (vgl. Kapitel 4.3 bis Kapitel 4.11).

#### **Betrachtung der für Nahrungsmittel relevanten 4 PAK:**

Die Futtermittelverordnung hat keinen Höchstgehalt für PAK in Tierfuttermitteln definiert und die VDI-Richtlinie 2310 gibt für PAK keine maximale Immissionsdosis in der Tierernährung vor (vgl. Tabelle 1.3-1). Der unmittelbare Vergleich mit Prüfwerten ist daher nicht möglich.

Höchstgehalte für die Leitsubstanzen Benzo[a]pyren (BaP) und die Summe der vier PAK BaP, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen (PAK4) sind in VO (EU) Nr. 835/2011 für verzehrfertige, im Wesentlichen fetthaltige Nahrungsmittel<sup>8</sup> definiert: 1 µg/kg bis 35 µg/kg für PAK4 und 1 µg/kg bis 6 µg/kg für BaP, jeweils bezogen auf Originalsubstanz, d. h. Frischmasse.

Die PAK4-Gehalte in standardisierten Graskulturen lagen damit orientierend verglichen im unteren Bereich, die Benz[a]pyren-Gehalte noch niedriger – wobei zudem zu berücksichtigen ist, dass die Gehalte in den Graskulturen auf Trockenmasse bezogen sind:

- Die Summe der vier PAK lag in standardisierten Graskulturen im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2015 zwischen 6 und 16 µg/kg TM, vergleichbar mit den Vorjahresergebnissen: 2013 zwischen 7 und 24 µg/kg TM und 2012 zwischen 13 und 17 µg/kg TM.
- Benz[a]pyren reichte in den Graskulturen flughafennah und -fern gleichermaßen 2015 von 0,6 bis 2,3 µg/kg TM, 2013 von 0,5 bis 2,1 µg/kg TM und 2012 von 1,2 bis 2,0 µg/kg TM (siehe Anhang: Kapitel 9, Tabelle 9.1-1 bis Tabelle 9.1-7).

Deutliche Messpunktunterschiede traten also auch bei dieser Betrachtungsweise nicht zutage. Mit 2,3 µg/kg TM übertraf Benz[a]pyren einmalig knapp den für Nordrhein-Westfalen definierten OmH von 2,1 µg/kg TM für standardisierte Graskulturen (Hombrecher et al. 2015; vgl. Tabelle 4.12-3): im August 2015 am Messpunkt MP6 bei Blankenfelde-Mahlow (siehe Tabelle 9.1-3).

---

<sup>8</sup> jeweils der strengste Wert z. B. für Säuglingsnahrung, der höchste Wert für geräucherte Muscheln

### 4.13 Ergebnisse des Grünkohl-Biomonitoring 2011 und 2012

Die standardisierte Exposition von Grünkohl (VDI 3957/3 2008). wurde jeweils Ende September bis Ende November 2011 und 2012 durchgeführt (vgl. Kapitel 3.3.2). Die Grünkohlkulturen wurden achtwöchig an zehn Messpunkten exponiert, im Unterschied zum Graskultur-Biomonitoring nicht am Messpunkt MP11 in Schulzendorf, dafür am Messpunkt MP2, im Gradienten zu MP1/MP1p am östlichen Ende der 2011 und 2012 nicht betriebenen Südbahn und direkt an der A113 (vgl. Kapitel 2.3: Bild 2.3-1 und Bild 2.3-3). Messpunkt MP2 war somit unmittelbar Kfz-Verkehr exponiert. Für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) als organische Luftschadstoffgruppe ist die standardisierte Exposition von Grünkohl ein etabliertes Verfahren (VDI 3957/3 2008). Für das Biomonitoring 2011 und 2012 wurde Grünkohl neben PAK auch auf sieben Metalle untersucht: auf Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Zink. Metalle wurden in gleichartigem Grünkohl-Biomonitoring bislang selten untersucht (z. B. Wäber 2008a, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015), eher in modifizierten Grünkohlverfahren: mit gewaschenem Grünkohl (Hombrecher et al. 2015). Dieser verzehrfertig aufbereitete Grünkohl ist mit dem VDI-Grünkohlverfahren hier nicht unmittelbar vergleichbar.

Tabelle 4.13-1: Metall- und PAK-Gehalte in Grünkohl bei der Exposition 2011 und 2012

Grünkohl-Biomonitoring 2011 und 2012: Stoffgehalte in mg/kg TM																								
Messpunkt	MP6		MP5		MP1		MP1p		MP2		MP3		MP9		MP8		MP10		MP4		MP4p		MP7	
Beschreibung	Fl.SW Gradient		Flughafen SW		Flughafen Südost, p. Parallele		Autobahn		Fl.SO Gradient		Sied.Schönefeld		Kontrolle Rotberg		Ref. Zülowniederung, p. Parallele		Ref. Genshagen							
Okt.-Nov. Jahr	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Antimon (Sb)	0,09	0,01	0,11	<0,025	0,18	0,08	0,14	0,04	0,58	0,17	0,19	<0,025	0,17	<0,025	0,1	<0,025	0,14	<0,025	0,12	<0,025	0,1	<0,025	0,12	<0,025
Arsen (As)	0,17	0,08	0,32	0,09	0,28	-	0,24	0,12	0,29	0,12	0,36	0,14	0,14	0,08	0,21	0,14	0,22	0,15	0,3	0,09	0,29	0,11	0,18	0,09
Blei (Pb)	0,7	0,23	1,1	0,27	1,3	0,73	0,9	0,53	1,2	0,45	1,7	0,47	0,55	0,21	0,8	0,55	0,8	0,37	1,4	0,42	1,1	0,35	0,8	0,25
Cadmium (Cd)	0,11	0,06	0,09	0,07	0,11	0,09	0,06	0,1	0,05	0,12	0,15	0,08	0,08	0,09	0,12	0,06	0,07	0,08	0,1	0,06	0,12	0,08	0,07	0,06
Chrom (Cr)	0,27	0,09	0,41	0,14	0,56	0,34	0,49	0,31	1,28	0,45	0,54	0,23	0,43	0,12	0,35	0,23	0,59	0,21	0,42	0,18	0,4	0,16	0,32	0,13
Nickel (Ni)	2,4	3,5	2,8	3,9	2,2	3,7	1,7	2,3	2,5	2,2	2,8	2,6	1,8	4,5	2,5	2,4	2,4	3,1	2,3	3	2,3	2,9	2,2	3,3
Zink (Zn)	43	34	34	37	24	41	18	38	28	34	22	29	20	39	33	28	26	36	28	25	27	34	18	34
16 EPA-PAK	0,69	0,37	0,7	0,29	0,97	0,40	0,87	0,53	0,91	0,56	0,77	0,41	0,53	0,3	0,72	0,36	0,6	0,42	0,64	0,32	0,65	0,35	0,61	0,26
Benzo(a)pyren	0,016	0,006	0,018	0,004	0,018	0,009	0,015	0,011	0,021	0,012	0,015	0,008	0,010	0,004	0,015	0,008	0,014	0,008	0,016	0,006	0,016	0,006	0,012	0,004

Werte > OmH: Orientierungswert für die Summe der 16 EPA-PAK lt. BayLüU (2007-2011): 0,33 mg/kg TM; PAK-Gehalte > OmH plus 30 % = 0,43 mg/kg TM sind laut Konvention des BayLüU markiert

Werte > Prüfwert: Stoffgehalte oberhalb Hintergrundgehalten verfahrensgleicher Untersuchungen (Raum Ingolstadt 2011 und 2012 unveröffentlicht; Wäber 2008)

unterstrichen: unterstrichene Gehalte sind im jahresweisen Messpunktevergleich deutlich erhöht (Kriterium: Mittelwert der Referenzmesspunkten plus 2fache stoffspezifische Variabilität)

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP2	MP3	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug.Bodenverkehr		+BER	+BER					+BER?				
Überflug	+BER	+BER	+BER	+BER	+BER*							+BER*
Kfz-Verkehr					+							
Autobahn					+							
in Siedlung		+					+					
Landwirtschaft	+			+	+	+		+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+
BER-Bau 2011		+2011	+2011					+2011	+2011			

+: trifft zu; +2011: trifft 2011 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

### Wertebereich:

Im Jahr 2012 waren die Gehalte der in Grünkohl untersuchten Stoffe (vgl. Tabelle 4.13-1) mit niedrigen Gehalten bisheriger Untersuchungen gut vergleichbar (Wäber 2008a, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015 und Grünkohl-Biomonitoring im Raum Ingolstadt, unveröffentlichte Daten). Im Jahr 2011 lagen die Gehalte von Cadmium, Nickel und Zink in gleichen Bereichen wie die Werte im nachfolgenden Jahr, die Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK-Gehalte hingegen waren deutlich höher als im Messabschnitt 2012 (grau markiert in Tabelle 4.13-1).

Die Höhe der Stoffgehalte in Grünkohl ist nicht mit der in Graskulturen vergleichbar: Beide Bioindikatoren weisen spezifische Wuchsformen und Anreicherungseigenschaften auf, werden unterschiedlich lange vor Ort eingesetzt und unterliegen, aufgrund der unterschiedlichen Expositionszeiten, spezifischen saisonalen Quellen: Grünkohl, achtwöchig im Herbst exponiert unterliegt den Einfluss häuslicher Kleinfeuerungsanlagen (Hausbrand) und Heizkraftwerken, vierwöchig im Frühjahr und Sommer exponierte Graskulturen kaum. Die PAK-Gehalte in Grünkohl waren mit rund 260 bis 970 µg/kg TM erwartungsgemäß deutlich höher als in Graskulturen: dort 26 bis 95 µg/kg TM als Summe der 16 EPA-PAK (vgl. Kapitel 4.12). Die Wertebereiche der in Grünkohl untersuchten Metalle waren hingegen ähnlich zu denen der Graskulturen (vgl. Kapitel 4.3 bis Kapitel 4.11).

### Messpunktevergleich:

Für die Summe der 16 EPA-PAK in VDI-Grünkohl hat das BayLfU einen aktuellen Orientierungswert als Schwelle für Hintergrundgehalte (OmH 2007-2011) abgeleitet und führt dazu aus: „Überschreitet ein einzelnes zu bewertendes Analyseergebnis den OmH um weniger als 30 %, so wird dies auf Grund der stoff- und konzentrationsbedingt unterschiedlichen Schwankungsbreiten von Einzelanalysen als unwesentlich betrachtet. [...] Einzelüberschreitungen um mehr als 30 %“ sind als immissionsbedingte PAK-Anreicherungen zu betrachten. Ergebnisse oberhalb OmH plus 30 % sind in Tabelle 4.13-1 orangefarbig unterlegt. Im Jahr 2011 wurde diese Schwelle an allen Messpunkten übertroffen. Die PAK-Gehalte lagen aber in einem Bereich, der als typisch für innerörtliche Immissionswirkungen gilt (Wäber 2008a, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015 und Grünkohl-Biomonitoring im Raum Ingolstadt, unveröffentlichte Daten). Im Jahr 2012 lagen fast alle PAK-Gehalte unterhalb OmH; Ausnahmen: an den Messpunkten MP1p und MP2.

Für Metalle in – ungewaschenem – VDI-Grünkohl sind bislang keine OmH vorgegeben (VDI3957/3 2008). Für ein modifiziertes Verfahren – mit gewaschenem Grünkohl – wurden aktuelle OmH entwickelt (Hombrecher et al. 2015), allerdings können sie nicht zur Bewertung von VDI-Grünkohl herangezogen werden, da der modifizierte Grünkohl „bei der küchenfertigen Aufarbeitung gründlich gewaschen wird. Anhaftende Staubpartikel werden dadurch entfernt und nicht der Analyse zugeführt.“ Die im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld 2011 und 2012 in VDI-Grünkohl gemessenen Metallgehalte können daher nur unmittelbar mit dem dortigen Hintergrundbereich – an den Referenzmesspunkten MP4 und MP7 – und verfahrensgleichem Grünkohl-Biomonitoring bewertet werden (siehe nachfolgend).

### Quellen und Immissionseinflüsse:

Wie kam es zu deutlich höheren Gehalten von Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK in Grünkohl 2011 im Vergleich zum Messabschnitt 2012? „Wie bei zahlreichen Immissionsuntersuchungen deutschlandweit wurden auch an der Luftgütemessstelle Schönefeld überdurchschnittliche Feinstaub-einträge während der außergewöhnlichen Trockenperiode im November 2011 beobachtet“ (Wäber et al. 2015). Durch Trockenheit bedingte vermehrte Staubablagerungen – auch auf den Grünkohlblättern – sowie Luftschadstoff-Ferntransport aus östlich gelegenen Regionen und vermutlich auch aus dem benachbarten Polen aufgrund von Ostwindlagen, die den Oktober und November 2011 prägten, liefern eine plausible Erklärung für den saisonalen Effekt.

Der Siedlungsmesspunkt MP9 in Schönefeld fiel 2011 und 2012 durch vergleichsweise niedrige PAK-Gehalte auf. Das könnte sich dadurch erklären, dass er sich in einer weitläufigen, erst teilweise bebauten Neubausiedlung befindet, in der lokal der Anteil häuslicher Kleinf Feuerungen geringer sein dürfte, als im Umfeld der südlich und östlich gelegenen brandenburgischen Gemeinden.

Die Cadmium- und Nickelergebnisse waren einheitlich, in ihrer Höhe unauffällig und können keinen Quelleneinflüssen zugeordnet werden (vgl. Tabelle 4.13-1). Die Zinkgehalte waren ebenfalls in ihrer Höhe unauffällig, aber im Jahr 2011 am Messpunkt MP6, auf einem Winterweizenfeld bei Mahlow, über den Hintergrundbereich im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld erhöht. Ein plausibles Ergebnis, da Zink ein Indikator für den Staubeintrag ist. So kann die landwirtschaftliche Aktivität unter den trockenen Bedingungen 2011 als Ursache in Frage kommen. Bei Cadmium, Nickel und Zink fiel lediglich auf, dass, entgegen der Erwartung, die Werte 2012 auf dem Niveau des Vorjahres oder sogar tendenziell darüber lagen. Die Ursache ist bei diesen niedrigen Hintergrundgehalten nicht eindeutig zu klären. Ein Einfluss über den Bodenpfad kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Bild 4.13-1 fasst die spezifisch auf Kfz-Verkehr als Quelle zuzuordnenden Antimon- und Chromergebnisse zusammen und Bild 4.13-2 die PAK-Ergebnisse in Grünkohl 2011 und 2012: An Messpunkt MP2, unmittelbar an der Autobahn A113, und teilweise auch an MP1 mit Parallele MP1p, am Flughafenzaun östlich der Südbahn; waren die PAK-, Chrom- und Antimongehalte in Grünkohl 2011 und 2012 deutlich über den Hintergrundbereich erhöht (vgl. Tabelle 4.13-1: orangefarbig/grau unterlegt bzw. unterstrichen). Nicht nur an Messpunkt MP2, sondern auch an MP1/MP1p lag Kfz-Verkehrseinfluss u. a. durch Baustellenverkehr vor, während die Südbahn des Flughafens noch nicht im Betrieb war. Chrom und PAK sind typisch für Verkehrsquellen, Antimon gelangt aus Abrieb von Bremsbelägen in die Umwelt (vgl. Kapitel 3.1). Als Immissionsquelle konnte somit Kfz-Verkehr identifiziert werden. Ein relevanter Einfluss von Flugverkehr scheidet aus, weil diese Messpunkte 2011 und 2012 nicht überflogen wurden.

Im Jahr 2011 waren auch an MP3 über den Hintergrundbereich erhöhte PAK-, Chrom- und Antimongehalte gemessen worden (vgl. Bild 4.13-1 und Bild 4.13-2). Mutmaßlich war hierfür eine lokal wirksame Quelle verantwortlich, da die Verlagerung des Messpunkts um ein paar hundert Meter weiter von dieser Quelle weg zu einer Reduzierung der Werte an MP3 bis in den Hintergrundbereich im Jahr 2012 führte.

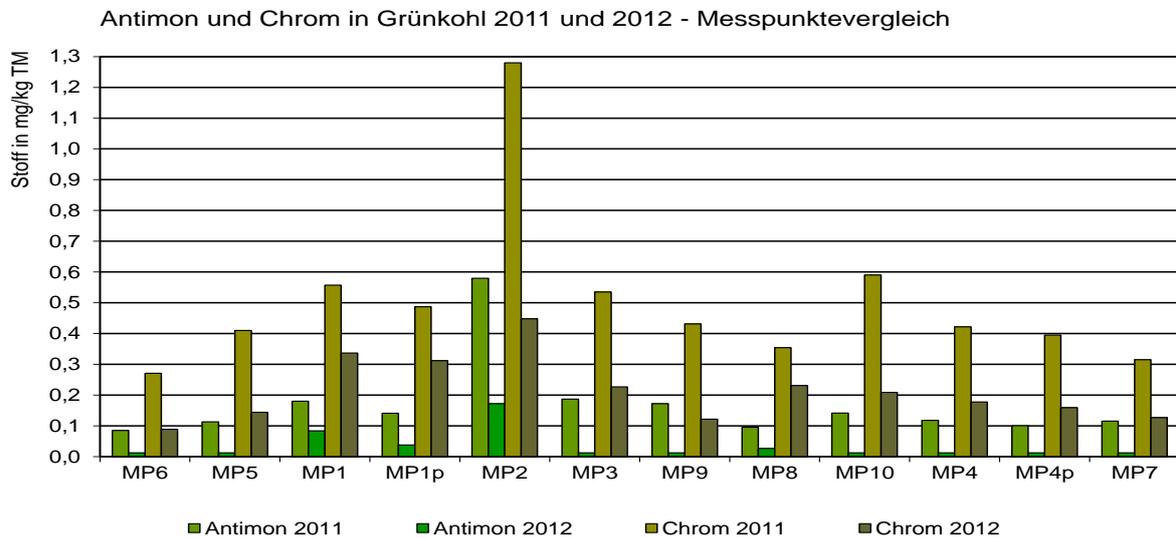


Bild 4.13-1: Antimon und Chrom in Grünkohl 2011 und 2012 - Messpunktevergleich

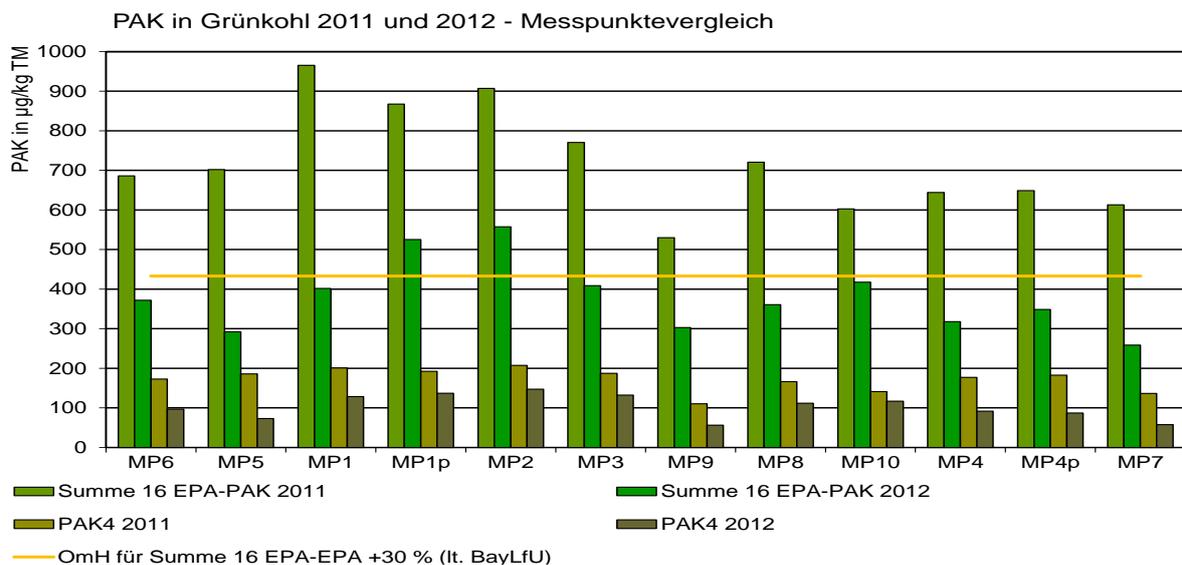


Bild 4.13-2: PAK in Grünkohl 2011 und 2012 - Messpunktevergleich

Messpunkt	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP2	MP3	MP9	MP8	MP10	MP4	M4p	MP7
Flug, Bodenverkehr		+BER		+BER					+BER?			
Überflug	+BER	+BER		+BER	+BER	+BER*						+BER*
Kfz-Verkehr					+							
Autobahn					+							
in Siedlung			+				+					
Landwirtschaft	+			+	+	+		+				
Kontrollmesspunkt								+	+			
Hintergrund											+	+
BER-Bau 2011		+2011		+2011				+2011	+2011			

+: trifft zu; +2011: trifft 2011 zu; +BER: trifft ab Eröffnung des BER zu; \*für Landungen; ?: möglich

### Vergleich mit anderen Untersuchungen:

Die 2011 im Hintergrundbereich gemessenen Werte von Antimon, Cadmium, Chrom, Nickel und Zink waren gut vergleichbar mit anderen aktuellen Untersuchungen (Wäber 2008a, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015 und Grünkohl-Biomonitoring im Raum Ingolstadt, eigene unveröffentlichte Daten). Die Gehalte von Arsen, Blei und PAK lagen 2011 hingegen auch im Hintergrundbereich höher als in anderen Untersuchungsgebieten. Immissionseinflüsse aus der Großstadt Berlin sowie bei Ostwindlagen von antransportierten Luftschadstoffen aus Kohlekraftwerken im Osten dürften damit in Zusammenhang stehen (wie zuvor erwähnt). Bei vergleichbaren Witterungsverhältnissen wurde im Untersuchungsgebiet Ingolstadt (Bayern) keine deutliche Erhöhung der PAK-Hintergrundgehalte festgestellt. Hier lag die Feinstaubbelastung im November 2011 allerdings niedriger als die im weiteren Umfeld um den Flughafen Berlin Schönefeld.

Im Jahr 2012 waren alle Metall- und PAK-Hintergrundwerte gut vergleichbar mit anderen Biomonitoring-Untersuchungen.

### Vergleich mit Prüfwerten:

Prüfwerte und Höchstgehalte für Nahrungsmittel ermöglichen eine Beurteilung etwaiger Beeinträchtigungen der Nahrungsmittelproduktion. Hierbei betrachtet man den Bioindikator standardisierte Grünkohlkultur als Stellvertreter für das Lebensmittel Gemüse (Blattkohl). Dabei muss mit in Betracht gezogen werden, dass Gemüse als Lebensmittel vor dem Verzehr gewaschen wird, während beim Bioindikator Grünkohl der Zuwachs einer genormten Anzahl an Blättern in genormter Größe (älteste Blätter) ungewaschen analysiert wird. Das Grünkohl-Biomonitoringverfahren nach VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3 (2008) ist daher als Frühindikator für die Gefährdung des Schutzgutes Nahrung zu sehen.

Für die Gehalte an Antimon und Zink liegen keine Prüfwerte vor, die Ergebnisse können durch den Vergleich mit anderen Untersuchungen als normal unauffällig eingestuft werden.

Für Blei und Cadmium liegen nach Verordnung (EG) Nr. 1881/2006/EG mit VO (EU) Nr. 420/2011 und Nr. 488/2014 in der Europäischen Union zulässige Höchstgehalte für Blattgemüse und Blattkohl vor:

- Der Höchstgehalt für Blei beträgt 0,3 mg/kg FM (Frischmasse) und umgerechnet auf Grünkohl-Trockenmasse 1,8+/-0,2 mg/kg TM und
- der Höchstgehalt für Cadmium 0,2 mg/kg FM und umgerechnet 1,2+/-0,15 mg/kg bezogen auf Grünkohl-Trockenmasse (vgl. Tabelle 1.3-2).

Beide orientierend heranzuziehenden Höchstgehalte wurden auch im höher belasteten Herbst 2011 nicht erreicht (vgl. Tabelle 4.13-1).

Ebenfalls orientierend heranzuziehende TRD/TDI-Werte<sup>9</sup> – tägliche tolerierbare Aufnahmemengen – für Arsen, Chrom und Nickel in verzehrfertigen Lebensmitteln (gewaschen) wurden im Bioindikator

---

<sup>9</sup> In der EU zulässige Höchstgehalte sind für diese Metalle nicht festgelegt.

Grünkohl (ungewaschen) ebenfalls unterschritten<sup>10</sup>: umgerechnet für Arsen 0,7 mg/kg TM, für Chrom 8,4 mg/kg TM und für Nickel 6,7 mg/kg TM.

Die EU hat für PAK-Höchstgehalte für im Wesentlichen fetthaltige Lebensmittel festgelegt, nicht aber für Gemüse (VO (EU) Nr. 835/2011). Die Höchstgehalte für Benzo[a]pyren reichen von 1 µg/kg z. B. für Säuglingsnahrung bis zu 6 µg/kg für geräucherte Muscheln und die Höchstgehalte für PAK4<sup>11</sup> analog von 1 µg/kg bis 35 µg/kg (vgl. Kapitel 3.1). Wiederum umgerechnet auf Grünkohl-Trockenmasse würde der strengste Höchstgehalt für Benzo[a]pyren und PAK4 – 6 µg/kg TM – 2011 an allen Messpunkten und 2012 an der Hälfte der Messpunkte knapp erreicht. Der jeweils obere Höchstgehalt – 36 µg/kg TM für Benzo[a]pyren und 210 µg/kg TM für PAK4 – würde unterschritten. (vgl. Tabelle 4.13-1). Dies gilt allenfalls orientierend, höchst vorsorglich und steht unter Vorbehalten:

- da Gemüse andere Anreicherungseigenschaften haben als fettreiche Lebensmittel, die in der Verordnung genannt sind und die lipophile PAK gut binden können, und
- dass der Bioindikator Grünkohl als Frühindikator gelten muss, schon weil er nicht wie ein Lebensmittel gewaschen und verzehrfertig aufbereitet wird.

Ein Gefährdungspotential durch den Verzehr für den Menschen würde demnach nicht vorliegen.

---

<sup>10</sup> TRD: tolerable resorbierte Dosis; hier umgerechnete Circa-Werte bei täglichem Verzehr von 250 g Blattkohl bei 70 kg Körpergewicht (LANUV)

<sup>11</sup> PAK4: Summe der vier PAK BaP, Benzo[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren und Chrysen



## 5 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Das Umwelt-Untersuchungsprogramm der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH (FBB) startete 2011, ist angelegt, die Luftqualität und die Umweltwirkungen des Luftverkehrs langfristig zu beobachten und ergänzt die Luftgüteuntersuchungen an der Messstelle Flughafen Schönefeld sinnvoll. Derzeit wird die Immissionswirkungssituation vor Inbetriebnahme des Großflughafens Berlin Brandenburg International BER erfasst. Schwerpunkt dieses Berichts bildet das Biomonitoring 2015, das die Sanierung der Nordbahn und zeitgleiche Nutzung der südlichen Start- und Landebahn begleitete (vgl. Kapitel 1.1).

Das **Biomonitoring** liefert Informationen über **Immissionswirkungen** auf Pflanzen als Vertreter der belebten Umwelt. Untersuchungsgegenstand sind Immissionswirkungen von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und von ausgewählten Spuren- und Schwermetallen. Diese Luftschadstoffe können auf den Menschen gesundheitsschädlich wirken. Sie stammen in erster Linie aus Verbrennungsprozessen, z. B. aus Industrie, häuslicher Kleinf Feuerung (Hausbrand), Bahn-, Kfz- und Flugverkehr, sowie beispielsweise aus Reifenabrieb und Staubverwehungen. Für das Biomonitoring wurden Grünkohl- und Graskultur-Normverfahren eingesetzt (VDI 3957/2 2013 Entwurf und VDI 3957/3 2008): Gras als Vertreter von Vegetation und Futtermitteln und Grünkohl als Lebensmittel des Menschen. Sie tragen direkt zur Klärung der Frage bei, ob das Schutzziel nach Bundesimmissionschutzgesetz, „Menschen, Tiere und Pflanzen, ... vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen“ erreicht wird, was durch technische Immissionsmessungen nicht direkt möglich ist. Die **Bioindikatoren** werden ohne Vorbelastungen standardisiert angezogen und im Untersuchungsgebiet bestimmte Zeit exponiert. Grünkohl war im Oktober bis November 2011 und 2012 jeweils achtwöchig exponiert. Standardisierte Graskulturen waren im Mai 2012, im Mai, Juni und Juli 2013 sowie im Juni, Juli und August 2015 jeweils vierwöchig vor Ort aufgestellt. Während der Exposition reichern die Bioindikatoren die Schadstoffe aus der Luft an. Danach werden sie geerntet und ungewaschen analysiert (DIN EN 12880, DIN EN 15763, DIN ISO 12884). Durch die Standardisierung können Luftschadstoffgehalte in den Bioindikatoren an unterschiedlichen Messpunkten unmittelbar miteinander und mit der regionalen **Hintergrund**situation verglichen werden. Durch den Vergleich mit anderen aktuellen Untersuchungen und Beurteilungswerten können sie indirekt bewertet werden – soweit möglich auch im Hinblick auf Höchstgehalte in Futtermitteln und Nahrungsmitteln.

Das Untersuchungsgebiet mit zehn Messpunkten wurde im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld gemäß Richtlinien-Vorgaben für ein **Emittenten** bezogenes Biomonitoring ausgewählt (VDI 3957/10 2004; vgl. Bild 2.3-1). Es umfasst Messpunkte unmittelbar und im Gradienten am Flughafen (MP1-MP3, MP5-MP6, MP8, MP10), an der Autobahn (MP2), in Siedlungen (MP9-MP11) und landwirtschaftlichen Bereichen (MP1-MP8) sowie zwei Referenzmesspunkte abseits von Quellen (MP4, MP7), die die regionale Hintergrundbelastung repräsentieren (vgl. Kapitel 2):

- MP1 mit Parallelmesspunkt MP1p am östlichen Kopf der 2011 bis 2013 nicht in Betrieb befindlichen Süd-Start-/Landebahn, die während des Graskultur-Biomonitorings 2015 statt der Nordbahn in Betrieb war und einen Belastungsschwerpunkt nach Eröffnung des BER darstellen wird;

- MP2<sup>12</sup> 2011 und 2012, im Gradienten zu MP1/MP1p, unmittelbar an der Autobahn A113 Kfz-Verkehr exponiert;
- MP3 in der Verlängerung des Gradienten zu MP1/MP1p bei Waltersdorf (2012 verschoben);
- MP4 mit Parallelmesspunkt MP4p, als Referenzmesspunkt im Naturschutzgebiet Zülowniederung;
- MP5 am westlichen Kopf der nur im Sommer 2015 betriebenen Süd-Start-/Landebahn;
- MP6 im Gradienten zum künftigen BER-Belastungspunkt MP5, siedlungsnah auf Acker;
- MP7 als zweiter Referenzmesspunkt bei Genshagen, ebenfalls quellenfern;
- MP8 als Kontrollmesspunkt bei Rotberg, an der Südbahn des Flughafens, aber außerhalb des zukünftigen Flughafeneinflusses;
- MP9 in Schönefeld, in locker bebauter Neubausiedlung;
- MP10 als zweiter Kontrollmesspunkt bei Waßmannsdorf, nahe der Nordbahn, die 2011 bis 2013 in Betrieb war, nicht aber während des Biomonitorings 2015;
- MP11 in Schulzendorf, in locker bebauter Siedlung, wie MP9 auf Schulgelände.

Im Herbst 2011 und 2012 wurden Grünkohlkulturen spurenanalytisch auf die 16 PAK (nach EPA610) und die Metalle Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Zink untersucht. Graskulturen wurden im Mai 2012 an ausgewählten Messpunkten auf PAK untersucht, im Mai, Juni und Juli 2013 an allen Messpunkten auf PAK und die zuvor genannten Metalle, sowie im Juni, Juli und August 2015 auch zusätzlich auf Kupfer und Quecksilber (vgl. Kapitel 3.1). Aussagekräftige und reproduzierbare Ergebnisse werden durch normgerechte Standardisierung (VDI 3957/2 2013 Entwurf, VDI 3957/3 2008), versierte Messpunktauswahl (VDI 3957/10 2004), valide Spurenanalytik und nicht zuletzt durch geeignete aktuelle Beurteilungswerte (VDI 3857/2 2014) sichergestellt (Wäber 2010). Immissionswirkungen an unterschiedlichen Messpunkten können unmittelbar miteinander und mit der regionalen Hintergrundsituation verglichen werden. Die Bewertung wird durch Vergleich mit anderen aktuellen Untersuchungen, mit überregional gültigen Orientierungswerten – **OmH** – als Schwelle für Hintergrundgehalte und mit Prüfwerten in Hinblick auf Höchstgehalte in Futtermitteln und Lebensmitteln komplettiert (vgl. Tabelle 1.3-1 und Tabelle 1.3-2).

Die standardisierte Exposition von Grünkohl ist ein etabliertes Verfahren für die Untersuchung organischer Luftschadstoffe wie den PAK. Da allerdings genauso ein Interesse an Metalleanreicherungen in Grünkohl als Lebensmittelvertreter besteht, wird Grünkohl im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld ebenfalls auf Metalle untersucht.

---

<sup>12</sup> Nachdem die Immissionswirkungen unmittelbar an der Autobahn A113 mit Grünkohlkulturen bis 2012 hinreichend charakterisiert wurden und von keinem weitreichenderen Interesse in Hinblick auf den Einfluss des Flughafens und für das Gesamtprojekt waren, wurde der Messpunkt MP2 durch Messpunkt MP11 in Schulzendorf ersetzt.

Die untersuchten Stoffe waren mit Ausnahme von Antimon mit den äußerst empfindlichen Analyseverfahren in allen Bioindikatorproben auffindbar. Antimon wurde nur in Grünkohl 2011 sowie, mit Werten nahe der Bestimmungsgrenze, vereinzelt in Grünkohl 2012 und in der ersten der drei Graskulturexpositionen 2013 gefunden.

Im Jahr 2012 waren alle in Grünkohl untersuchten Stoffgehalte mit Ergebnissen bisheriger Untersuchungen gut vergleichbar (Wäber 2008a, TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015 und aktuelle unveröffentlichte Untersuchungen im Raum Ingolstadt). Im Jahr 2011 waren deutlich höhere Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK-Gehalte in Grünkohl festgestellt worden. Während der außergewöhnlichen Trockenperiode im November 2011 wurden an der Luftgütemessstelle Schönefeld wie bei zahlreichen Immissionsuntersuchungen deutschlandweit überdurchschnittliche Feinstaubeinträge beobachtet. Oktober und November 2011 waren zudem von Ostwindlagen geprägt, verbunden mit Luftschadstoff-Ferntransport aus östlich gelegenen Regionen und vermutlich auch aus dem benachbarten Polen (Wäber et al. 2015). Die Witterungsfaktoren liefern somit eine schlüssige Erklärung für den gebietsweiten saisonalen Effekt höherer Antimon-, Arsen-, Blei-, Chrom- und PAK-Gehalte in Grünkohl 2011. Die Gehalte lagen auch 2011 unter Prüfwerten und Höchstgehalten für Lebensmittel (Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 mit VO (EU) Nr. 420/2011 und Nr. 488/2014; vgl. Kapitel 102), soweit diese für Blattgemüse festgelegt sind. Die PAK-Ergebnisse, für die aktuell keine Höchstgehalten für Gemüse definiert sind, waren ebenfalls als niedrig zu werten. Es traten zwar 2011 immissionsbedingte PAK-Anreicherungen über dem vorgegebenen langfristigen **Orientierungswert** für Hintergrundgehalte auf (vgl. Tabelle 4.13-1: dort orangefarbig unterlegt), aber in einem für innerörtliche PAK-Immissionswirkungen typischen Bereich (Wäber 2008a TÜV SÜD Industrie Service GmbH 2015 und unveröffentlichte Untersuchungen im Raum Ingolstadt). Im Jahr 2012 lagen die PAK-Gehalte in Grünkohl – außer an den Messpunkten MP1p und MP2 – unterhalb OmH, also im Hintergrundbereich.

Signifikant erhöhte, aber mit anderen verkehrsbezogenen Untersuchungen vergleichbare PAK-, Antimon- und Chromergebnisse wurden 2011 und 2012 beim Grünkohl-Biomonitoring am Messpunkt MP2 unmittelbar an der Autobahn A113 festgestellt (vgl. Kapitel 4.13). Antimon und Chrom gelangen bekanntermaßen durch den Kfz-Verkehr in die Umwelt (Merian 1984, Peichl et al. 1994).

In Graskulturen wurden – außer hinsichtlich PAK und Arsen – stets niedrige Werte, weit unterhalb des OmH gemessen (VDI 3857/2, 2014). Die Arsengehalte lagen in Graskulturen im Bereich des OmH und übertrafen ihn sehr knapp im Juli 2013 an zwei Messpunkten und im August 2015 an einem Messpunkt (vgl. Kapitel 4.4). Die Arsengehalte in Graskulturen 2013 waren im Mai am niedrigsten und im Juli am höchsten. Auf dieses Ergebnis könnten messpunkteübergreifend Staubeinträge einen Einfluss gehabt haben: aus zunehmenden landwirtschaftlichen Aktivitäten, bei geringeren Niederschlägen zum Sommer hin. Die Nickelgehalte lagen in Graskulturen ebenfalls im Bereich des OmH und übertrafen diesen insgesamt fünfmal knapp (vgl. Kapitel 4.9).

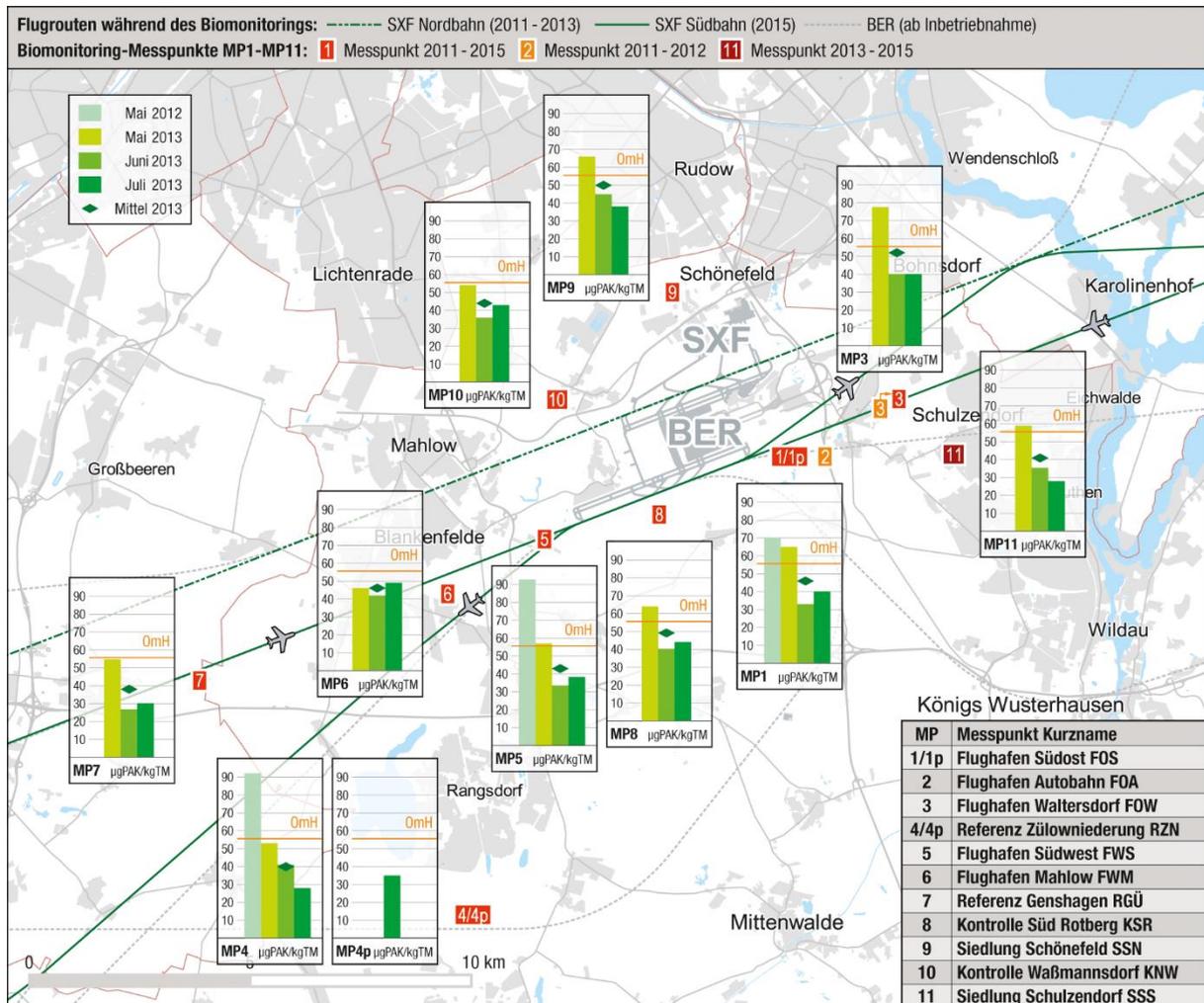


Bild 4.13-1: PAK-Gehalte in Graskulturen 2012 und 2013 als integrierte Balkendiagramme im Untersuchungsgebiet.

**Legende:**

Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0;

Orientierungswert (OmH: orangefarbige Linie) als Schwelle für den Hintergrundgehalt für 16 EPA-PAK

"Da sich die Freisetzung [...] im Jahresverlauf systematisch verändert, werden OmH für [...] Zeiträume angegeben" (BayLfU 2007-2011): Der OmH für den Zeitraum Mai bis Juli beträgt 56 µg/kg TM für die Summe der 16 EPA-PAK.

Hausbrand gilt als eine Hauptquelle für PAK-Immissionen. Beim Grünkohl-Biomonitoring in den Herbstmonaten überlagert der Hausbrandeinfluss hinsichtlich PAK andere Immissionseinflüsse (vgl. Kapitel 4.13). Das Graskultur-Biomonitoring im Mai 2012, im Mai bis Juli 2013 und im Juni bis August 2015 sollte dazu beitragen, einen etwaigen Flughafeneinfluss ohne Hausbrandinterferenz darzustellen.

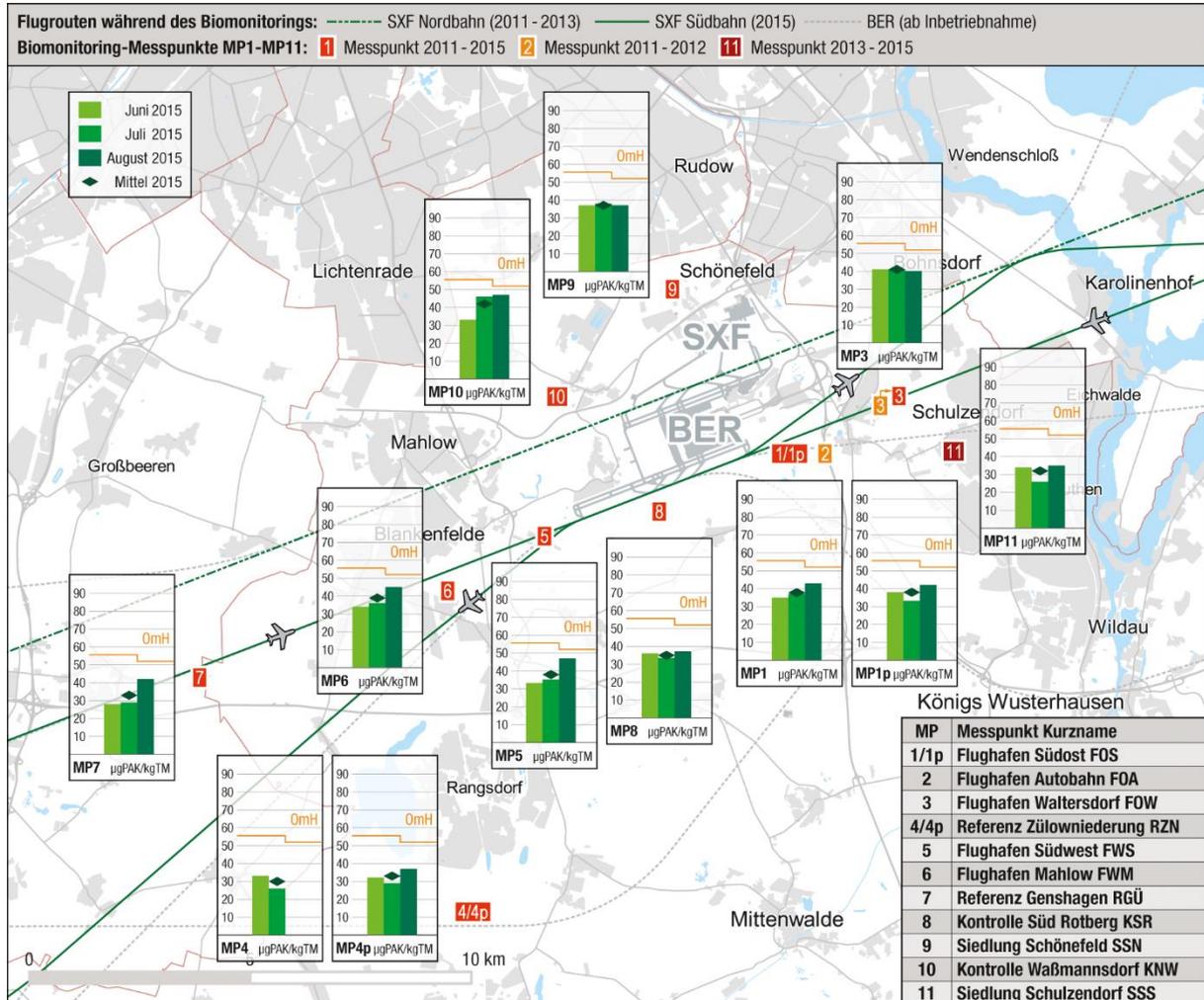


Bild 4.13-2: PAK-Gehalte in Graskulturen 2015 als integrierte Balkendiagramme im Untersuchungsgebiet

**Legende:**

Karte hergestellt aus OpenStreetMap-Daten | Lizenz: Creative Commons BY-SA 2.0;

Orientierungswert (OmH: orangefarbige Treppenlinie) als Schwelle für den Hintergrundgehalt für 16 EPA-PAK "Da sich die Freisetzung [...] im Jahresverlauf systematisch verändert, werden OmH für [...] Zeiträume angegeben" (BayLfU 2007-2011): Der OmH für den Zeitraum Mai bis Juli beträgt 56 µg/kg TM und der OmH ab August 52 µg/kg TM für die Summe der 16 EPA-PAK.

Allerdings zeigten sich beim Graskultur-Biomonitoring ebenfalls saisonale Effekte: Im Mai 2012 und im Mai 2013 traten teilweise **immissionsbedingt** PAK-Gehalte oberhalb OmH in Graskulturen auf, deutlich höher als im Juni (vgl. Kapitel 4.12). Im Mai 2012 und 2013 herrschten mit dem Frühherbst vergleichbare kühle Temperaturen, die den Betrieb häuslicher Kleinfeuerungsanlagen teilweise nötig machten und diesen saisonalen Unterschied erklären.

Die 2015 in Graskulturen untersuchten Gehalte von Kupfer und Quecksilber lagen sämtlich unter dem jeweiligen OmH als Schwelle für Immissionseinflüsse (vgl. Kapitel 4.8 und Kapitel 4.10).

Die Metallgehalte in Graskulturen waren weit unterhalb der Höchstgehalte der Futtermittelverordnung sowie der maximalen Immissionsdosiswerte zum Schutz vor gesundheitlichen Beeinträchtigungen von Nutztieren laut VDI-Richtlinienreihe 2310 angesiedelt (vgl. Tabelle 1.3-1; für PAK in Futtermitteln gibt es keine gesetzlichen Höchstmengen zum Vergleich). Das korrespondiert mit den Grünkohlgergebnissen.

Der Flughafen ist als eine gleichförmige potenzielle Luftschadstoffquelle anzusehen. Die beobachteten, saisonalen PAK-Immissionswirkungen sind daher nicht dem Flughafenbetrieb zuzuordnen. Auch zeigten sich flughafennah keine höheren Stoffgehalte als flughafenfern. Ein Einfluss des Flughafens Berlin Schönefeld auf die Luftschadstoffgehalte in den Bioindikatoren war seit Start des Biomonitorings 2011 nicht festzustellen. Dies traf auch 2015 an den Messpunkten unmittelbar an der betriebenen Südbahn (MP5, MP1/MP1p und MP8) sowie an dann überflogenen Messpunkten (vorrangig MP6 und MP3) zu.

**Korrespondierend mit den Grünkohlgergebnissen und den Graskulturergebnissen aus den Vorjahren, ist auch beim Biomonitoring mit Graskulturen 2015 nicht von einem vorhandenen Gefährdungspotenzial auszugehen. Vielmehr lagen die Gehalte der untersuchten PAK und Metalle unterhalb bis maximal im Bereich der Schwelle für Immissionseinflüsse. Der Flughafen Berlin Schönefeld hatte keinen relevanten Einfluss auf Luftschadstoffwirkungen in der Region.**

Das Biomonitoring ist ein freiwilliger Baustein des 2011 initiierten Umwelt-Untersuchungsprogramms der FBB, um die Luftqualität und die Umweltwirkungen des Luftverkehrs im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld, später Berlin Brandenburg BER zu dokumentieren. Die Ergebnisse des Biomonitorings werden nach Durchführung in einer für den interessierten Laien aufbereiteten Form veröffentlicht. Unter dem Titel „Biomonitoring mit Grünkohl und Graskultur im Umfeld des zukünftigen Flughafens Berlin Brandenburg – Langfristige Untersuchung möglicher Umweltwirkungen von Luftverkehr und Flughafenbetrieb“ wurden die Ergebnisse auch in der Fachzeitschrift *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* vorgestellt (Wäber et al. 2015).

Das Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Schönefeld wird auch in den kommenden Jahren fortgeführt werden, um Veränderungen zu dokumentieren und die standardisierte Datenbasis zu erweitern. Kernpunkt der langfristig angelegten, freiwilligen Umwelt-Untersuchung der FBB ist der Vergleich vor und nach Eröffnung des neuen Flughafens Berlin Brandenburg BER. Interessierte können sich aktuell über das Biomonitoring und die weiteren Luftgüte- und Umwelt-Untersuchungen der FBB im Internet informieren: <http://www.berlin-airport.de/de/unternehmen/umwelt/luft/biomonitoring/index.php>.



## 6 Abkürzungen

ACE	Acenaphthen
ACY	Acenaphtylen
AK B/W	Arbeitskreis „Bioindikation/Wirkungsermittlung“ der Landesämter für Umweltschutz
ANT	Anthracen
As	Arsen
BaA	Benzo[a]anthracen
BaP	Benzo[a]pyren
BayLfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
BbjF+BkF	Benzo(b,j+k)fluoranthen
BER	Flughafen Berlin Brandenburg International
BG	analytische Bestimmungsgrenze
BghiP	Benzo[g,h,i]perylen
Cd	Cadmium
CHR (+TRI)	Chrysen(+Triphenylen)
Cr	Chrom, gesamt
Cu	Kupfer
CV	Variationskoeffizient: Standardabweichung dividiert durch arithmetischen Mittelwert
DbahA	Dibenzo(a,h)anthracen
DIN	Deutsches Institut für Normung
EPA	US Environmental Protection Agency (US Umweltbehörde)
FBB	Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
FLE	Fluoren
FLU	Fluoranthen
FM	Frischmasse
FMG	Flughafen München GmbH
FuttMV	Futtermittelverordnung
Hg	Quecksilber
HRGC	hochauflösende Gaschromatographie
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma

IND	Indeno(1,2,3-c,d)pyren
KW	Kalenderwoche
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW
LRGC	niederauflösende Gaschromatographie
LUGV	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
MID	Maximale Immissionsdosis – Richtwert nach VDI-Richtlinienreihe 2310
MS	Massenspektrometrie
MSD	massenselektive Detektion
MUC	Flughafen München
NAP	Naphthalin
Ni	Nickel
NRW	Nordrhein-Westfalen
OmH	Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAK4	Summe der vier PAK BaP, BaA, Benzo[b]fluoranthen, CHR (VO (EU) Nr. 835/2011)
Pb	Blei
PHE	Phenanthren
PM10	Feinstaub enthält 50% Teilchen mit Durchmesser 10 µm sowie höheren Anteil kleinerer Teilchen und niedrigeren Anteil größerer Teilchen
PYR	Pyren
RL	Richtlinie
Sb	Antimon
SLB	Start-/Landebahn
TM	Trockenmasse
UMW	kurz für Dr. Monica Wäber - UMW Umweltmonitoring
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VO (oder V)	Verordnung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
Zn	Zink

## 7 Glossar

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

### **Akkumulationsindikator:**

Für eine Nutzung oder ein Ökosystem repräsentativer und standardisierter -> *Bioindikator* / -> *Bioakkumulator*, 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)

**Bioindikatoren** (-> *Akkumulationsindikator* / *Bioakkumulator*, -> *Reaktionsindikator*, -> *Zeigerorganismus*):

Organismus, der Umweltbedingungen und deren Veränderungen anzeigen kann; bislang als Überbegriff für Akkumulationsindikator, Reaktionsindikator und Zeigerorganismus definiert

-> **Akkumulationsindikator** oder **Bioakkumulator:**

Organismus, der in der Umwelt (Luft, Wasser oder Boden) vorhandene Stoffe an der Oberfläche und/oder im Inneren anreichert (akkumuliert)

-> **Reaktionsindikator:**

zeigt spezifische Symptome

-> **Zeigerorganismus:**

zeigt Umweltbedingungen und deren Veränderungen durch sein Vorhandensein bzw. seine Abwesenheit im Ökosystem an

**Biomonitoring** (hier: *aktives Biomonitoring*):

Nutzung biologischer Systeme (Organismen oder Organismengemeinschaften) zur räumlichen und zeitlichen Überwachung von Umweltveränderungen

-> **aktives Biomonitoring:**

Überwachung durch aktives Ausbringen (Exposition) von Bioindikatoren unter genormten Bedingungen

**Emittenten** (-> Emissionen -> Immissionen -> Depositionen; -> Immissionswirkungen):

Luftschadstoffquelle (Verkehr, industrielle Prozesse, Landwirtschaft, Hausfeuerungsanlagen etc.)

-> **Emissionen:**

unerwünschte Stoffe werden in die Umgebungsluft abgegeben

**Transmissionen:**

Unerwünschte Stoffe werden z. T. weiträumig transportiert und unterliegen Umwandlungsprozessen in der Luft.

-> **Immissionen:**

Einwirkung unerwünschter Stoffe auf die Umwelt

-> **Depositionen:**

in die Umwelt eingetragene Luftschadstoffe (gasförmig, als feste Partikel trocken oder mit dem Niederschlag - in Gewässer, Böden und Organismen, wo sie sich anreichern und wirken können)

-> **Immissionswirkungen:**

durch luftgetragene Stoffe verursachte

-> **Wirkungen:**

Reaktionen von Organismen, Teilen von Organismen oder von Organismengemeinschaften (Biozöosen) auf stoffliche und physikalische Umwelteinflüsse sowie deren Veränderung in ihrer chemischen Zusammensetzung (Akkumulation) (VDI 3957 Blatt 1, 2014)

**Expositionsabschnitt:**

Zeitabschnitt, während dessen hier die standardisierte Grünkohlkultur oder Graskultur am Expositions-ort aufgestellt ist (Grünkohlkultur lt. VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3:  $56 \pm 2$  Tage, Graskultur lt. VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2:  $28 \pm 1$  Tag)

**Gesamtunsicherheit:**

Verfahrensstreuung; die Variabilität der Stoffgehalte gilt als wichtiger Aspekt der Gesamtunsicherheit

**Hintergrundbereich/-gehalt:**

Stoffgehalt – hier in standardisierten Grünkohlkulturen – unter den klimatischen Bedingungen während der Exposition, verursacht durch die Aufnahme aus dem Substrat und aus der Hintergrundimmission am -> *Hintergrundstandort*

**Hintergrundstandort:**

Standort ohne unmittelbaren Einfluss lokaler -> *Emissionen*: außerhalb von Siedlungsgebieten, mit mindestens 50 m Abstand zu verkehrsreichen Straßen bzw. um mindestens das 50fache der Quellhöhe von emittierenden Anlagen entfernt.

**immissionsbedingt:**

Messwerte, die den -> (*Orientierungswert für den maximalen*) *Hintergrundgehalt* überschreiten, sind als -> *immissionsbedingt* (-beeinflusst) zu werten

**Kontrollmesspunkte:**

-> *Messpunkte* außerhalb des (vermuteten) Einflussbereichs von Emittenten, welcher die typischen Immissionsverhältnisse im

**-> Untersuchungsgebiet:**

charakterisieren sollen

**lokale Referenzmesspunkte:**

-> *Messpunkte* außerhalb des unmittelbaren -> *Emittentenumfelds*, die z. B. die typische -> *Hintergrundsituation* im weiteren Umfeld des -> *Untersuchungsgebietes* repräsentieren

**Messpunkte (Hintergrundmesspunkte):**

ausgewählte Expositionsorte an (->*Hintergrund-*)Standorten

**Orientierungswert für den maximalen Hintergrundgehalt – OmH:**

Statistisch ermittelte Obergrenze der Stoffgehalte in einem -> *Akkumulationsindikator* – an einem -> *Hintergrundstandort*; für Metalle in Graskulturen in VDI-Richtlinie 3857 Blatt 2 (2014) definiert sowie vom BayLfU zusätzlich für die 16 EPA-PAK in Gras- und Grünkohlkulturen (2015) und vom LANUV (Metalle ohne Quecksilber und Benzo[a]pyren) in VDI-Graskulturen (Hombrecher te al. 2015); Überschreitungen des OmH weisen auf -> *Emittenteneinflüsse* hin

**Perzentil:**

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

**Median:**

der mittlere Wert ist

**Prüfwerte:**

Richtwerte und Höchstgehalte – ermöglichen eine Gefährdungsbeurteilung;

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

für Grünkohl: für Höchstgehalte von Kontaminanten in Lebensmitteln, z. B. nach Schadstoffhöchst-mengenverordnung (EG) Nr. 1881/2006 mit VO (EU) Nr. 629/2008 und Nr. 835/2011, Nr. 420/2011 und Nr. 488/2014

**Trockenmasse – TM:**

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

## 8 Literatur

### 8.1 Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

BlmSchG: (2013): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 76 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

FuttMV (2013): Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Juli 2013 (BGBl. I S. 2242), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 20. Juli 2015 (BGBl. I S. 1384)

Richtlinie 2005/87/EG (2005): Richtlinie 2005/87/EG der Kommission vom 5. Dezember 2005 zur Änderung von Anhang I der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung in Bezug auf Blei, Fluor und Cadmium

Richtlinie 2006/125/EG (2006): Richtlinie 2006/125/EG der Kommission vom 5. Dezember 2006 über Getreidebeikost und andere Beikost für Säuglinge und Kleinkinder

Richtlinie 2006/141/EG (2006): Richtlinie 2006/141/EG der Kommission vom 22. Dezember 2006 über Säuglingsanfangsnahrung und Folgenahrung und zur Änderung der Richtlinie 1999/21/EG

VO (EG) Nr. 208 (2005): Verordnung Nr. 208/2005 der Kommission vom 4. Februar 2005 zur Änderung der Verordnung EG Nr. 466/2005 im Hinblick auf polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Amtsblatt der Europäischen Union

VO (EG) Nr. 1881/2006 (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. 420/2011 (2011): EU-Verordnung Nr. 420/2011 der Kommission vom 29. April 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 19. Dezember 2006, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 111, S.3 vom 29.04.2011

VO (EU) Nr. 488/2014 (2014): EU-Verordnung Nr. 488/2014 der Kommission vom 12. Mai 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Cadmium in Lebensmitteln. ABl. Nr. L 138. S. 75 vom 12.04.2014

VO (EG) Nr. 629/2008 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln vom 2. Juli 2008, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 173, 6 S. vom 3.7.2008

VO (EU) Nr. 835/2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 215, 5 S. vom 19.8.2011 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln

## 8.2 Technische Regeln

DIN EN 15763 (2010): 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, Beuth, Berlin

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

VDI-Richtlinie 2310 Blatt 27 (1998): Maximale Immissions-Werte: Maximale Immissions-Werte für Blei zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI- Richtlinie 2310 Blatt 28 (2008): Maximale Immissions-Werte: Maximale Immissions-Werte für Cadmium zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI- Richtlinie 2310 Blatt 30 (2005): Maximale Immissions-Werte: Maximale Immissions-Werte für Nickel zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI- Richtlinie 2310 Blatt 31 (2005): Maximale Immissions-Werte: Maximale Immissions-Werte für Zink zum Schutz der landwirtschaftlichen Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI- Richtlinie 2310 Blatt 35 (2009): Maximale Immissions-Werte für Arsen zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI- Richtlinie 2310 Blatt 39 (2011): Maximale Immissions-Werte für Chrom zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere. Berlin, Beuth Verlag

VDI-Richtlinie 3857 Blatt 2 (2014): Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen - Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigungen Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf

VDI-Richtlinie 3957 Blatt 1 (2014): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Grundlagen und Zielsetzung. Berlin, Beuth Verlag

VDI-Richtlinie 3957 Blatt 2 (Entwurf 2013): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) - Verfahren der standardisierten Graskultur. Berlin, Beuth Verlag

VDI-Richtlinie 3957 Blatt 3 (2008): VDI Richtlinie 3957 Blatt 3 Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) - Verfahren der standardisierten Exposition von Grünkohl. Berlin, Beuth Verlag

VDI-Richtlinie 3957 Blatt 10 (2004): Empfehlung zum emittentenbezogenen Einsatz von pflanzlichen Bioindikatoren. Berlin, Beuth Verlag

VDI-Richtlinie 3957 Blatt 15 (2014): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) - Untersuchungsstrategie nach Schadensereignissen (passives Biomonitoring). Berlin, Beuth Verlag

### 8.3 Literatur

- AK B/W (1999): Empfehlung zum emittentenbezogenen Einsatz von pflanzlichen Bioindikatoren. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. (11) 4, S. 207-211
- Alef, K., H. Fiedler, O. Hutzinger (1994): Umweltmonitoring und Bioindikation – Ecoinforma'94. Umweltbundesamt Wien, ISBN 3 85457 183 6; darin z. B.: Peichl, L., C. Dietl, W. Reifenhäuser, M. Wäber: Zusammenhang zwischen Metallanreicherung in der standardisierten Graskultur und dem Metalleintrag ermittelt nach Bergerhoff. S. 85-98
- Altenbeck, P, R. Radermacher, G. Krause (2005): Langzeitbeobachtung immissionsbedingter Wirkungen in NRW, Teil 1. Landesumweltamt Essen
- BayLfU (2009): 30 Jahre Immissionsökologie am Bayerischen Landesamt für Umwelt. UmweltSpezial, Augsburg
- Carslaw, D.C. (2015). The openair manual – open-source tools for analysing air pollution data. Manual for version 1.1-4, King's College London
- Debus, R., B. Dittrich, P. Schröder, J. Vollmer (1989): Biomonitoring organischer Schadstoffe. Handbuch des Umweltschutzes 45, ecomed Landsberg
- Dietl, C., T. Faus-Keßler, M. Wegenke, L. Peichl (1998): Verkehrsbezogene Immissionen und Immissionswirkungen von Antimon und anderen Metallen, Schriftenreihe 153 Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg
- Erhardt, W. (1994): Bioindikationsmethoden – Aktive Verfahren; Standardisierte Flechtenexposition. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 6, Nr. 2, S. 113-115
- Falkensteiner, A. (1997): Vergleichende Untersuchung zur Erfassung der Schwermetallimmissionen im Großraum der Stadt Salzburg mit Hilfe von verschiedenen Methoden des aktiven Biomonitoring. Dissertation, Salzburg
- Fürst, A. (2011): 13 Needle/Leaf Interlaboratory Test 2010/2011. ISBN 978-3-902762-03-0, BFW Wien, S. 104
- Hassauer, M., F. Kalberlah (2008): Arsen und Verbindungen. In: Eikmann, Heinrich, Heinzow, Konietzka: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen - Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Hettche, H.O. (1971): Pflanzenwachse als Sammler für polyzyklische Aromaten in der Luft von Wohngebieten. Staub - Reinh. Luft 31, S. 72-76
- 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, 80 S.
- Jensen, G. und Ruzickova, K. (2007): Quecksilber - Globale Belastung und Gefährdung kindlicher Fähigkeiten. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (Hrsg.), Berlin, 52 S.

- Kalberlah, F. (1999): ChromVI. In: Eikmann, Heinrich, Heinzow, Konietzka: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen - Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Kentner, M., M. Leinemann (1994): Umwelt- und Arbeitsmedizinische Bedeutung von Antimon und seinen wichtigsten Verbindungen. Zbl. Arbeitsmed. 44, 46-55
- Hombrecher, K., R. Both, A. Müller-Uebachs, J. Schmidt, L. Radermacher (2015): Immissionsbedingte Hintergrundbelastung von Pflanzen in NRW – Schwermetalle und organische Verbindungen. LANUV-Fachbericht 61, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Recklinghausen
- 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
- Levsen, K., S. Behnert, B. Priess, M. Svoboda, H.D. Winkeler, J. Zietlow (1990): Organic compounds in precipitation. Chemosphere 21, S. 1037-1061
- Meek, M.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), 443-452
- Merian, E. (1984): Metalle in der Umwelt. Verlag Chemie, Weinheim: Greenwood et al., Meek et al.
- Öhlinger, R. (1995): Aktives Biomonitoring von Luftschadstoffen aus dem Autobahnverkehr im Bundesland Salzburg. Bundesamt für Agrarbiologie Linz und Amt der Salzburger Landesregierung
- Peichl, L., C. Dietl, M. Wäber (1996): Aktives Biomonitoring von Immissionswirkungen im Untersuchungsgebiet München. Schriftenreihe 136, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, München
- 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
- Radermacher, L., H. Rudolph (1994): Grünkohl als Bioindikator: Ein Verfahren zum Nachweis von organisch-chemischen Substanzen in Nahrungsmitteln. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 6 (6), S. 384-386
- 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, 319-334
- Schinner, M. (1989): Blei-, Cadmium-, Zink- und Kupfergehalte der Vegetation im Bereich der Großglockner Hochalpenstraße zwischen Heiligenblut und dem Hochtor. Struktur und Funktion von Grünlandökosystemen im Nationalpark Hohe Tauern. Zitiert in Hackner und Zecha (1997, unveröffentlicht). Landesregierung Salzburg

- Schneider, K.; F. Kalberlah (1999): Nickel und Nickelverbindungen. In: Eikmann, Heinrich, Heinzow, Konietzka: Gefährdungsabschätzung von Umweltschadstoffen - Toxikologische Basisdaten und ihre Bewertung. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Schwind, K.H., J. Hosseinpour, H. Fiedler, C. Lau, O. Hutzinger (1994): Bestimmung und Bewertung der Emissionen von PCDD/F, PAK und kurzkettigen Aldehyden in den Brandgasen von Kerzen. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. 6, 243-246
- Streit, B. (1991): Lexikon Ökotoxikologie. VCH Weinheim
- UBA (2014): Wie kommt Quecksilber in die Umwelt? Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau, Quelle im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-kommt-quecksilber-in-die-umwelt>, Stand 28.10.2015
- Umweltatlas Hessen (2005). Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.)
- 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. (2010): Qualitätsmanagement bei der Anlagenüberwachung mit aktivem Biomonitoring. In: Internationale Fachtagung Biomonitoring und Bioindikation. Linz 2010, 18-23 und in: Der Umweltbeauftragte 18 (3), 7-8
- Wäber, M. (2008): Erfolgsgeschichte Biomonitoring – Zuverlässige Wirkungsmessungen plus überzeugende Öffentlichkeitsarbeit. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 68 (6), 223-226
- Wäber, M. (1999): Wirkkataster für das Land Salzburg - Ergebnisse der Bioindikationsuntersuchungen 1988 bis 1998. O. Glaeser (Hrsg.), Amt der Salzburger Landesregierung, Salzburg
- Wäber, M. (1996): Aktives Biomonitoring von Immissionswirkungen – Bewertung ausgewählter Methoden. Forstliche Forschungsberichte 155, Weihenstephan
- 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), 276-280
- Weigert, P. (1988): Metalle. In: Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 1987, Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Mainz, S. 61
- WHO World Health Organization (1997): Guideline for drinking water quality. 2<sup>nd</sup> Ed., Vol. 1, Recommendations
- Wieben M., H. Kruse (1999): Toxikologische Bewertung von organisch-chemischen Triebwerksemissionen (zivile Luftfahrt). Institut für Toxikologie Klinikum der Christian-Albrechts-Universität Kiel.

## 8.4 Weitere Vergleichsuntersuchungen

BayLfU (2015): Orientierungswerte für Metalle und organische Schadstoffe. Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Quelle im Internet:

[http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe\\_luft/orientierungswerte/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/orientierungswerte/index.htm), Stand 06.10.2015

Hombrecher, K., R. Both, A. Müller-Uebachs, J. Schmidt, L. Radermacher (2015): Immissionsbedingte Hintergrundbelastung von Pflanzen in NRW – Schwermetalle und organische Verbindungen. LANUV-Fachbericht 61, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Recklinghausen, Quelle im Internet:

[http://www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/publikationen/fachberichte/?tx\\_commerce\\_pi1%5BshowUid%5D=406&tx\\_commerce\\_pi1%5BcatUid%5D=4&tx\\_commerce\\_pi1%5BbasketHashValue%5D=07d850a7c9&cHash=b021e3331ad5f2583326c3e4701f9549](http://www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/publikationen/fachberichte/?tx_commerce_pi1%5BshowUid%5D=406&tx_commerce_pi1%5BcatUid%5D=4&tx_commerce_pi1%5BbasketHashValue%5D=07d850a7c9&cHash=b021e3331ad5f2583326c3e4701f9549), Stand 15.10.2015

LANUV (2015): Sonstige Umweltereignisse – Meldungen. Darin z. B. Untersuchungsergebnisse Lünen aus dem Jahre 2013; vom 9. Oktober 2014, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Recklinghausen, Quelle im Internet::

<http://www.lanuv.nrw.de/landesamt/veroeffentlichungen/umweltereignisse/sonstige-umweltereignisse/>, Stand 15.10.2015

TÜV SÜD Industrie Service GmbH (2015): Biomonitoring und Depositionsuntersuchungen (Bergerhoff) in der Umgebung des Flughafens München. Quellen im Internet, Stand 07.10.2015:

Zusammenfassende Dokumentation 2011: [http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom\\_depober\\_11.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom_depober_11.pdf)

Zusammenfassende Dokumentation 2012: [http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom\\_depober\\_12.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom_depober_12.pdf)

Zusammenfassende Dokumentation 2013: [http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom\\_depober\\_13.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom_depober_13.pdf)

UBA (2012): Luftqualität 2011 – Feinstaubepisoden prägten das Bild. Quelle im Internet:

<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4211.pdf>, Stand 01.03.2013

Wäber, M. (2008a): Biomonitoring und Depositionsuntersuchungen in der Nachbarschaft des Flughafens München 2006 und 2007. Quelle im Internet: [http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom\\_depober\\_0607.pdf](http://www.munich-airport.de/media/download/bereiche/umw/biom_depober_0607.pdf), Stand 07.10.2015

- sowie unveröffentlichte eigene Untersuchungen im Raum Ingolstadt (bis 2015)

## 9 Anhang: 16 EPA-PAK in standardisierten Graskulturen

### 9.1 Tabellarische Darstellung der 16 EPA-PAK in Graskulturen

Tabelle 9.1-1: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juni 2015

Graskulturen Juni 2015	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	MP4p	MP7
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOSp	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN	RZNp	RGÜ
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Südost Paral.	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schützendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Walßmannsd.	Ref. Zülowwied.	Ref. Zülow Parallel	Ref. Genshagen
Naphthalin	4,2	3,9	4,5	3,7	5,7	5,6	3,9	4,0	4,8	5,3	4,3	3,7
Acenaphthylen	0,49	0,18	0,35	0,33	0,30	0,41	0,46	0,30	0,41	0,31	0,40	0,35
Acenaphthen	0,90	0,52	0,40	0,72	0,57	0,52	0,74	0,52	0,44	0,64	0,49	0,72
Fluoren	2,39	1,81	1,56	1,44	0,90	1,75	1,96	1,59	0,93	0,92	1,53	1,83
Phenanthren	9,7	7,1	9,0	10,3	8,7	8,8	7,8	8,0	7,1	7,0	6,8	6,0
Anthracen	1,08	0,59	0,39	0,33	0,38	0,55	0,76	0,62	0,21	0,39	0,64	0,20
Pyren	3,0	3,4	4,0	4,3	3,9	2,7	4,0	4,1	4,1	3,9	3,9	2,5
Benz(a)anthracen	1,2	0,8	0,8	0,8	1,2	0,7	1,6	1,1	0,9	1,2	1,1	0,9
Chrysen (+Triphenylen)	2,3	2,9	2,1	1,9	2,6	3,1	3,3	3,6	2,8	2,4	2,6	2,1
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,05	0,10	0,19	0,26	0,37	0,13	0,32	0,15	0,23	0,35	0,14	0,10
Fluoranthen	4,1	4,8	4,5	5,2	4,6	3,7	4,4	5,5	4,3	4,7	4,1	3,3
Benzo(b+j+k)fluoranthen	2,9	4,2	3,9	3,3	5,8	3,7	3,8	4,5	4,0	3,4	3,8	3,7
Benzo(a)pyren	0,6	0,8	1,2	2,0	1,3	0,8	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,6	0,9	1,0	1,9	2,4	1,2	1,7	0,8	1,1	1,1	0,9	0,9
Benzo(ghi)perylen	0,4	1,0	1,2	1,6	2,0	0,7	1,0	0,7	1,0	1,0	0,7	0,9
Su. 4 PAH nach EU-VO	7,0	8,7	7,9	8,0	10,9	8,4	9,5	10,1	8,7	7,8	8,2	7,3
Summe schwerer flücht. PAH	26	27	28	32	33	26	29	30	27	26	25	21
Summe 16 EPA	34	33	35	38	41	34	37	36	33	33	32	28
Orientierungswert (BayLfU2007-11)	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Tabelle 9.1-2: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juli 2015

Graskulturen Juli 2015	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	MP4p	MP7
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOSp	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN	RZNp	RGÜ
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Südost Paral.	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schützendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Walßmannsd.	Ref. Zülowwied.	Ref. Zülow Parallel	Ref. Genshagen
Naphthalin	2,8	3,5	3,8	4,2	3,9	4,1	4,5	5,9	6,0	3,1	3,4	3,1
Acenaphthylen	0,37	0,35	0,25	0,16	0,20	0,22	0,29	0,54	0,29	0,34	0,47	0,37
Acenaphthen	0,67	0,43	0,76	0,85	0,44	0,50	0,56	0,74	0,32	0,48	0,53	0,59
Fluoren	0,95	0,92	1,49	1,67	1,15	1,12	1,27	1,33	0,88	0,57	1,43	0,68
Phenanthren	7,0	6,0	7,7	6,8	5,3	4,9	8,8	5,2	8,6	5,0	5,3	7,4
Anthracen	0,32	0,36	0,29	0,21	0,26	0,82	0,29	0,27	0,37	0,25	0,41	0,30
Pyren	4,8	4,6	4,2	3,6	4,5	3,3	4,9	4,0	7,0	2,9	3,1	3,3
Benz(a)anthracen	1,5	1,1	1,1	1,0	1,9	0,6	1,0	0,8	1,4	1,4	0,9	0,9
Chrysen (+Triphenylen)	3,6	3,2	3,1	2,8	4,3	1,8	2,6	3,8	3,3	2,6	2,8	2,6
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,43	0,22	0,30	0,21	0,70	0,14	0,26	0,25	0,31	0,14	0,19	0,24
Fluoranthen	5,3	5,0	4,7	4,4	6,8	3,4	5,4	4,3	7,0	3,7	4,2	3,9
Benzo(b+j+k)fluoranthen	4,5	4,7	5,4	4,7	7,5	2,5	4,0	3,4	4,9	3,6	3,4	3,6
Benzo(a)pyren	1,6	1,6	1,2	1,1	1,2	0,6	1,6	0,9	1,3	0,6	0,6	0,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,4	1,7	1,4	0,9	1,8	0,9	1,4	0,9	2,0	0,9	1,5	0,9
Benzo(ghi)perylen	1,2	1,3	1,2	0,9	1,5	1,1	1,3	0,8	2,3	0,8	1,0	0,7
Su. 4 PAH nach EU-VO	11,1	10,6	10,8	9,6	14,8	5,5	9,3	8,9	11,0	8,2	7,8	7,7
Summe schwerer flücht. PAH	32	30	30	27	36	20	32	25	39	22	23	24
Summe 16 EPA	36	35	37	33	41	26	38	33	46	26	29	29
Orientierungswert (BayLfU2007-11)	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Tabelle 9.1-3: PAK-Gehalte in Graskulturen im August 2015

Graskulturen August 2015	MP6	MP5	MP1	MP1p	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4/MP4p	MP7	MP7p
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOSp	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN/RZNp	RGÜ	RG1
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Südost Paralel.	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schulzendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Walßmannsd.	Ref. Zülowied.	Ref. Genshagen	Ref. Gensh. Paralel.
Naphthalin	3,5	4,1	4,6	3,9	3,4	4,8	5,9	5,4	5,3	Ausfall wegen Vandalismus	4,3	5,1
Acenaphthylen	0,49	0,30	0,35	0,30	0,45	0,15	0,58	0,69	0,63		0,49	0,45
Acenaphthen	0,71	0,92	0,86	0,74	0,68	0,41	0,74	0,92	0,51		0,79	0,65
Fluoren	0,80	1,56	2,03	1,83	1,40	0,52	1,07	1,31	1,04		0,83	0,76
Phenanthren	7,9	7,5	8,2	7,8	6,2	9,0	4,7	5,7	8,9		9,6	8,7
Anthracen	0,43	0,42	0,42	0,33	0,31	0,72	0,47	0,43	0,33		0,46	0,59
Pyren	5,8	6,7	4,9	5,3	5,6	5,1	6,5	5,0	6,4		6,7	4,6
Benz(a)anthracen	2,0	1,5	1,7	1,4	1,9	0,5	1,1	1,4	1,7		1,4	0,9
Chrysen (+Triphenylen)	5,2	4,6	3,6	3,7	3,1	2,0	2,0	3,3	2,7		3,1	2,5
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,28	0,14	0,33	0,25	0,48	0,19	0,13	0,34	0,41		0,40	0,47
Fluoranthren	6,9	7,0	5,7	6,2	6,4	3,9	5,3	6,6	7,4		6,5	5,5
Benzo(b+j+k)fluoranthren	6,7	6,3	5,8	4,9	5,3	3,4	4,4	3,8	5,7		3,7	3,9
Benzo(a)pyren (OmH NRW: 2:1)	2,1	2,3	1,8	2,1	1,9	1,9	1,8	0,7	1,9		1,5	1,2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,7	2,3	1,7	1,9	1,7	1,3	1,0	0,9	2,1		1,0	0,9
Benzo(ghi)perylen	1,1	1,4	1,4	1,3	1,4	0,9	0,8	0,6	1,7		0,8	0,7
Su. 4 PAH nach EU-VO	15,9	14,6	12,8	12,1	12,1	7,8	9,4	9,2	12,0		9,8	8,6
Summe schwerer flücht. PAH	40	40	35	35	34	29	28	29	39	35	30	
Summe 16 EPA	45	47	43	42	40	35	37	37	47	42	37	
Orientierungswert (BayL LU2007-11)	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52

Tabelle 9.1-4: PAK-Gehalte in Graskulturen im Mai 2013

Graskultur Mai 2013	MP6	MP5	MP1	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	MP4p	MP7
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN	RZNp	RGÜ
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schulzendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Walßmannsd.	Ref. Zülowied.	Ref. Zülow. Paralel.	Ref. Genshagen
Naphthalin	5,3	5,1	4,5	4,0	7,5	9,4	8,8	5,3	5,4	Ausfall wegen Vandalismus	4,7
Acenaphthylen	0,06	0,15	0,22	0,13	0,21	0,31	0,09	0,13	0,23		0,30
Acenaphthen	0,53	0,38	0,24	0,28	0,76	0,57	0,47	0,58	0,51		0,63
Fluoren	0,93	1,18	0,90	1,51	1,27	1,13	1,17	0,98	1,06		1,12
Phenanthren	15,7	16,0	12,6	13,3	16,5	17,1	16,1	14,5	14,3		15,9
Anthracen	0,26	0,45	0,41	0,51	0,62	0,55	0,48	0,37	0,26		0,36
Pyren	3,9	5,3	7,4	8,7	4,8	5,7	5,3	4,7	5,2		4,3
Benz(a)anthracen	0,7	1,1	1,9	3,1	1,0	1,5	1,4	1,1	1,2		0,8
Chrysen (+Triphenylen)	2,8	4,4	6,8	8,0	3,9	4,9	4,8	3,8	4,5		5,4
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,18	0,23	0,56	0,67	0,21	0,34	0,23	0,19	0,24		0,22
Fluoranthren	9,7	12,3	15,8	16,9	14,6	14,0	12,9	12,2	10,6		11,6
Benzo(b+j+k)fluoranthren	3,0	6,0	7,3	10,3	4,1	5,8	7,1	5,7	4,8		7,0
Benzo(a)pyren	0,5	0,9	1,1	2,3	0,7	1,1	1,2	1,1	0,8		0,5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,4	2,0	2,9	3,6	1,7	2,3	2,2	1,9	2,1		1,6
Benzo(ghi)perylen	0,6	1,6	2,3	3,0	0,9	1,6	1,7	1,6	1,4		1,0
Su. 4 PAH nach EU-VO	7,1	12,5	17,2	23,7	9,7	13,3	14,6	11,8	11,3		13,7
Summe schwerer flücht. PAH	39	50	59	70	49	55	53	47	45	49	
Summe 16 EPA	46	57	65	76	59	66	64	54	53	55	
Orientierungswert (BayL LU2007-11)	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Tabelle 9.1-5: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juni 2013

Graskultur Juni 2013	MP6	MP5	MP1	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	MP4p	MP7
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN	RZNp	RGÜ
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schulzendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Waßmannsd.	Ref. Zülowied.	Ref. Zülow.Parallel	Ref. Genshagen
Naphthalin	7,5	4,3	7,0	7,4	5,7	3,8	5,0	5,9	7,6	Ausfall wegen Vandalismus	3,2
Acenaphthylen	0,24	0,23	0,26	0,28	0,31	0,36	0,32	0,31	0,25		0,23
Acenaphthen	0,51	0,41	0,36	0,46	0,41	0,44	0,49	0,36	0,40		0,36
Fluoren	2,43	1,02	0,93	0,95	1,23	0,73	1,30	0,75	0,83		0,73
Phenanthren	9,2	5,4	5,5	5,3	6,2	5,6	6,7	4,6	4,9		4,3
Anthracen	1,18	0,55	0,20	0,26	0,54	0,41	0,46	0,23	0,27		0,17
Pyren	2,9	2,7	2,9	3,6	2,7	5,5	3,5	3,4	3,6		2,7
Benz(a)anthracen	1,6	1,4	1,0	1,5	1,3	2,5	1,8	1,6	2,0		1,2
Chrysen (+Triphenylen)	3,8	3,9	2,8	3,3	4,0	5,3	4,6	3,8	5,0		3,1
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,39	0,25	0,28	0,38	0,28	0,51	0,37	0,40	0,45		0,25
Fluoranthren	4,4	3,8	3,5	4,4	4,9	6,8	4,7	4,5	4,8		3,3
Benzo(b+j+k)fluoranthren	5,3	7,6	5,1	7,2	4,5	6,4	6,7	5,5	7,1		4,6
Benzo(a)pyren	0,7	0,6	0,9	1,4	0,5	1,1	1,0	0,7	0,7		0,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,1	1,2	1,2	2,0	1,2	2,5	1,5	1,7	1,7		1,2
Benzo(ghi)perylen	1,1	0,9	1,3	2,0	1,0	2,6	1,5	1,8	1,7		1,2
Su. 4 PAH nach EU-VO	11,3	13,4	9,9	13,4	10,3	15,2	14,1	11,6	14,7		9,7
Summe schwerer flücht. PAH	31	28	25	31	27	39	33	28	32	23	
Summe 16 EPA	42	34	33	40	35	45	40	36	41	27	
Orientierungswert (BayLU2007-11)	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	

Tabelle 9.1-6: PAK-Gehalte in Graskulturen im Juli 2013

Graskultur Juli 2013	MP6	MP5	MP1	MP3	MP11	MP9	MP8	MP10	MP4	MP4p	MP7
Messpunkt	FWM	FWS	FOS	FOW	SSS	SSN	KSR	KNW	RZN	RZNp	RGÜ
PAK in Gras (µg/kg TM)	Flughafen Mahlow	Flug. Südwest	Flug. Südost	Flug. Waltersdorf	Siedl. Schulzendorf	Siedl. Schönefeld	Kontrolle Rotberg	Kontr. Waßmannsd.	Ref. Zülowied.	Ref. Zülow.Parallel	Ref. Genshagen
Naphthalin	4,3	4,2	4,1	4,1	4,9	5,9	13,9	5,6	2,4	5,3	3,7
Acenaphthylen	0,23	0,20	0,29	0,27	0,30	0,37	0,33	0,36	0,20	0,38	0,16
Acenaphthen	0,46	0,25	0,34	0,31	0,50	0,37	0,34	0,35	0,23	0,45	0,30
Fluoren	1,11	0,74	1,06	0,67	0,91	0,81	0,87	0,51	0,58	1,14	0,43
Phenanthren	6,5	5,0	6,8	5,5	5,6	5,3	5,1	5,3	4,0	6,9	4,6
Anthracen	0,19	0,15	0,15	0,18	0,64	0,21	0,12	0,19	0,19	0,38	0,11
Pyren	4,9	3,9	3,8	4,4	3,7	4,3	3,7	5,8	3,2	4,4	2,9
Benz(a)anthracen	2,3	1,6	1,5	1,7	0,7	1,1	1,1	1,5	1,1	1,1	1,0
Chrysen (+Triphenylen)	5,9	4,4	4,5	4,7	2,1	3,5	4,0	3,6	3,4	2,8	3,6
Dibenz(ah+ac)anthracen	0,64	0,61	0,46	0,53	0,20	0,35	0,29	0,47	0,34	0,29	0,38
Fluoranthren	7,0	5,1	5,2	5,6	2,8	4,7	4,8	5,8	3,9	3,7	4,4
Benzo(b+j+k)fluoranthren	8,4	6,8	6,4	6,8	3,2	5,6	4,9	6,2	4,8	4,5	5,3
Benzo(a)pyren	2,1	1,2	0,8	1,1	0,7	1,6	0,9	1,8	0,7	0,8	0,8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2,7	2,1	2,0	2,2	1,1	1,9	1,7	2,7	1,3	1,4	1,4
Benzo(ghi)perylen	2,6	1,9	2,0	2,1	1,0	1,9	1,6	2,8	1,2	1,4	1,2
Su. 4 PAH nach EU-VO	18,7	13,9	13,3	14,3	6,7	11,8	10,9	13,1	10,0	9,2	10,7
Summe schwerer flücht. PAH	43	33	34	35	22	31	28	36	24	28	26
Summe 16 EPA	49	38	39	40	28	38	44	43	28	35	30
Orientierungswert (BayLU2007-11)	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56

Tabelle 9.1-7: PAK-Gehalte in Graskulturen an 3 Messpunkten im Mai 2012

PAK in µg/kg TM in standardisierten Graskulturen im Mai 2012				
Komponente	Abkürz.	MP1	MP5	MP4
Naphthalin	NAP	10	20	21
Acenaphtylen	ACY	0,3	0,7	0,5
Acenaphthen	ACE	1,5	3,1	3,0
Fluoren	FLE	3,4	4,2	4,7
<b>Phenanthren</b>	<b>PHE</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>30</b>
<b>Anthracen</b>	<b>ANT</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>
<b>Pyren</b>	<b>PYR</b>	<b>5,3</b>	<b>6,1</b>	<b>5,2</b>
<b>Benzo[a]anthracen</b>	<b>BaA</b>	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>1,9</b>
<b>Chrysen (+Triphenylen)</b>	<b>CHR(+TRI)</b>	<b>5,0</b>	<b>6,1</b>	<b>4,8</b>
<b>Dibenzo[a,h]anthracen</b>	<b>DBahA</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Fluoranthen</b>	<b>FLU</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
<b>Benzo[b,j,k]flouranthen</b>	<b>BbjF+BkF</b>	<b>5,1</b>	<b>6,7</b>	<b>4,9</b>
<b>Benzo[a]pyren</b>	<b>BaP</b>	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>1,2</b>
<b>Indeno[1,2,3-c,d]pyren</b>	<b>INP</b>	<b>1,8</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>
<b>Benzo[g,h,i]perylen</b>	<b>BghiP</b>	<b>1,6</b>	<b>1,9</b>	<b>1,5</b>
<b>Su. 4 PAK (grau) nach EU-VO</b>	<b>4PAK</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>13</b>
Summe schwererfl. EPA-PAK	12 EPA	54	67	63
<b>Summe EPA-PAK</b>	<b>16 EPA</b>	<b>69</b>	<b>95</b>	<b>92</b>
OmH (BayLfU 2007-2011)		56	56	56

erstellt im Auftrag der Flughafen Berlin Brandenburg GmbH

von

Dr. Monica Wäber (Projektleitung)

UMW Umweltmonitoring

Plinganserstraße 114b

81369 München

[www.umweltmonitoring.com](http://www.umweltmonitoring.com)

München, im Februar 2016



Dr. Monica Wäber