

GfA-Bericht 66010-018_B01

IMMISSIONSMESSUNGEN Bremerhaven

Abschlussbericht

Messzeitraum: Juli 2014 bis Dezember 2016

vorgelegt durch: Eurofins GfA GmbH
Stenzelring 14 b
21107 Hamburg

Auftraggeber: FREIE HANSESTADT BREMEN
Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
Ansgaritorstraße 2
28195 Bremen

Auftragsnummer: 622-06-04/12 vom 27.05.2014, BHV-Verlängerung 2, 16.12.2015

Projektleitung: Dr. Klaus Berger
Tel. (040) 69 70 96 – 0

28.3.2017

42 Seiten
zzgl. Anhang

Hauptsitz
Eurofins GfA GmbH
Stenzelring 14 b
D-21107 Hamburg

NORD / LB
Konto 135 025 799
BLZ 250 500 00

bekannt gegebene
Messstelle nach
§ 29b BImSchG
und §7 GefStoffV



Inhaltsverzeichnis

1	<i>Aufgabenstellung</i>	3
2	<i>Zusammenfassung</i>	4
3	<i>Messplanung</i>	6
3.1	Messdauer, Messhöhe	6
3.2	Kurzbeschreibung des Untersuchungsgebietes	6
3.3	Festlegung des Beurteilungsgebietes (nur Teilprogramm B)	7
3.4	Anzahl und Auswahl der Beurteilungspunkte (nur Teilprogramm B)	7
3.5	Messdauer	11
3.6	Auswahl der zu untersuchenden Parameter (nur Teilprogramm B)	11
3.7	Messhäufigkeiten	11
4	<i>Messverfahren</i>	13
4.1	Schwebstaub PM10 und Inhaltsstoffe (Elemente)	13
4.2	Staubniederschlag (Deposition) und Inhaltsstoffe	14
5	<i>Durchführung der Messungen</i>	16
5.1	Allgemeines	16
5.2	Messpunkte	16
5.3	Messablauf	16
5.4	Fachlich Verantwortlicher und Vertreter	16
5.5	Beteiligung weiterer Einrichtungen	17
5.6	Qualitätssicherung und Organisation	17
6	<i>Auswertung und Diskussion der Ergebnisse</i>	17
6.1	Schwebstaub PM10	18
6.1.1	Schwebstaub PM10 – Windrichtungsbezogene Auswertung	21
6.2	Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10	24
6.2.1	Arsen, Cadmium, Blei, Nickel in Schwebstaub PM10	24
6.2.2	Kupfer und Zink in Schwebstaub PM10	26
6.2.3	Benzo(a)pyren im Schwebstaub PM10	27
6.3	Staubniederschlag	28
6.4	Inhaltsstoffe des Staubniederschlages	30
6.4.1	Arsen, Cadmium, Blei und Nickel im Staubniederschlag	30
6.4.2	Kupfer und Zink im Staubniederschlag	35
6.4.3	PCDD/PCDF und WHO PCB in Staubniederschlag	38
7	<i>Messunsicherheit</i>	40
8	<i>Bibliographie</i>	41

Anhang: Fotos der Messstellen sowie Tabellen und Graphiken der Messergebnisse

1 Aufgabenstellung

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien und Hansestadt Bremen beauftragte die Eurofins GfA GmbH ursprünglich mit der Durchführung eines einjährigen Immissionsmessprogrammes in Bremerhaven. Dieses Messprogramm wurde in der Folge zweimal verlängert, so dass der Untersuchungszeitraum schließlich 2,5 Jahre umfasst. Es sollten Immissionskenngößen an mehreren Messorten für die Parameter Schwebstaub PM10, Staubbiederschlag sowie Inhaltsstoffe gemäß den Anforderungen der TA Luft bzw. der 39. BImSchV ermittelt werden.

Die Untersuchungen sollten gleichzeitig in zwei räumlich getrennten Bereichen (Teilprogramme) in Bremerhaven durchgeführt werden:

- a) Immissionsmessungen im städtischen Hintergrund
- b) Immissionsmessungen in Bremerhaven Nord (Bereich Speckenbüttel)

Im Teilprogramm a) sollten der Feinstaub PM10 sowie die Inhaltsstoffe Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer und Zink sowie Benzo(a)pyren an der Luftmessstation Bremerhaven in der HansasträÙe durch tägliche Beprobung mittels Referenzverfahren ermittelt werden. Die Inhaltsstoffe sollten aus Quartalsmischproben bestimmt werden. Zusätzlich waren an insgesamt 5 Messpunkten im Stadtgebiet der Staubbiederschlag zu beprobieren und die Inhaltsstoffe Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer und Zink aus Quartalsmischproben zu analysieren.

Im Teilprogramm b) sollten orientierende Immissionsuntersuchungen im Einflussbereich der Deponie Grauer Wall durchgeführt werden, um die Immissionssituation in den angrenzenden Wohngebieten gemäß 39. BImSchV beurteilen zu können. Hierzu sollten an einem exponierten Messpunkt der Feinstaub PM10 sowie die Inhaltsstoffe Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer und Zink sowie Benzo(a)pyren quantifiziert werden. Auch hier sollte das Referenzverfahren zur Bestimmung von Schwebstaub PM10 eingesetzt werden. Die Schwebstaubinhaltsstoffe waren in gleichem Umfang wie im Teilprogramm a) zu bestimmen. Zusätzlich sollte an 4 exponierten Messpunkten der Staubbiederschlag erfasst werden. Aus dem Staubbiederschlag waren wiederum die Inhaltsstoffe im gleichen Umfang wie im Teilprogramm a) zu quantifizieren. An einem exponierten Messpunkt im Einflussbereich der Deponie und einem weiteren als Referenz geeigneten Messpunkt waren zusätzlich die Dioxine/Furane sowie die dioxin-ähnlichen PCBs (WHO-PCBs) in der Deposition als Quartalsmittelwerte zu ermitteln.

Die Feinstaubmessung des Teilprogrammes b) waren einer windrichtungsbezogenen Auswertung zu unterziehen um ggf. Aussagen hinsichtlich der Herkunft des Feinstaubes ableiten zu können.

Die Immissionsuntersuchungen sollten am 1.7.2014 beginnen und – nach zweifacher Verlängerung der Untersuchungen - Ende Dezember 2016 beendet werden.

Der hier vorliegende Bericht über die Immissionsmessung beinhaltet die Beschreibung des Messprogramms, der Messverfahren, der Messdauer und der Messhäufigkeiten. Ferner werden alle von Juli 2014 bis Dezember 2016 erfassten Messwerte der Messkampagne aufgeführt, ausgewertet und den bestehenden Immissionskriterien gegenübergestellt.

Die Eurofins GfA GmbH ist eine bekannt gegebene Messstelle nach § 29b BImSchG und darüber hinaus ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Prüflaboratorium.

2 Zusammenfassung

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien und Hansestadt Bremen beauftragte die Eurofins GfA GmbH mit der Durchführung eines zweieinhalbjährigen Immissionsmessprogrammes in Bremerhaven. Die Untersuchungen wurden in zwei räumlich getrennten Bereichen gleichzeitig durchgeführt, und zwar zur Erfassung der Immissionsbelastung im städtischen Hintergrund von Bremerhaven sowie in Bremerhaven Nord (Bereich Speckenbüttel). Im Bereich Speckenbüttel war mittels orientierender Immissionsuntersuchungen im Einflussbereich der Deponie Grauer Wall die Immissionssituation in den angrenzenden Wohngebieten gemäß 39. BImSchV [2] zu beurteilen.

Die Immissionsmessungen wurden am 1.7.2014 begonnen und Ende Dezember 2016 beendet. Es wurde an zwei Standorten täglich der Schwebstaub PM₁₀ mittels des Referenzverfahrens beprobt und nachfolgend gravimetrisch analysiert. Aus Quartalsmischproben des Schwebstaubes PM₁₀ wurden die Elemente Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer und Zink sowie das Benzo(a)pyren quantifiziert. An diesen und weiteren 7 Messpunkten wurde zusätzlich der Staubbiederschlag und die eingebundenen Elemente Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer und Zink bestimmt. An einem exponierten Messpunkt im Einflussbereich der Deponie und einem weiteren als Referenz geeigneten Messpunkt (Messstation des Luftmessnetzes Bremen in der HansasträÙe) wurden zusätzlich die Dioxine/Furane sowie die dioxin-ähnlichen PCBs in der Deposition als Quartalsmittelwerte ermittelt.

An den 9 Messpunkten unterschritten alle untersuchten Parameter die zur Beurteilung herangezogenen Bewertungsmaßstäbe (39.BImSchV, TA Luft, WHO, LAI etc.).

Bezüglich Schwebstaub PM₁₀ wurden an den Beurteilungspunkten Kenngrößen von 44% (MP1 2016) bis 47 % (MP2 2016) des Beurteilungswertes ermittelt. Die mittlere Feinstaubkonzentration PM₁₀ liegt im Untersuchungsgebiet Speckenbüttel (MP 1) auf gleicher Höhe mit der Luftmessstation Bremerhaven (MP 6). Die hier bestimmten PM₁₀ Konzentrationen liegen im Bereich städtischer Hintergrundwerte. Auch die Anzahl der Überschreitungstage pro Jahr (MP 1 *Pumpstation*: max. 5 (2015); MP 6 *Messstation*: max. 5 (2015)) ergibt Werte deutlich unterhalb der nach 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungen im Jahr. Die unterschiedliche Anzahl der Tagesmittelwert-Überschreitungen im 1. Untersuchungszeitraum (7/2014-6/2015) ist auf geringfügige Unterschiede in den Spitzenwerten zurückzuführen. Während des zweieinhalbjährigen Untersuchungszeitraums sind im Untersuchungsgebiet in Bremerhaven an insgesamt 8 Tagen Überschreitungen gemessen worden.

An der Station Bremen-Mitte des Landes Bremen wurden im Untersuchungszeitraum an den betreffenden Tagen ebenfalls insgesamt 8 Überschreitungen in gleicher Größenordnung festgestellt. Auch am Jadebusen und teilweise auch in Osnabrück wurden an diesen Tagen Überschreitungen gemessen. Dies ist ein Beleg für eine großräumige hohe Belastung mit PM₁₀, d.h. lokale Quellen sind für die Spitzenwerte nicht verantwortlich.

Bei den häufiger aufgetretenen Schwebstaubkonzentrationen PM₁₀ von < 20 µg/m³ herrschten überwiegend westlich bis südwestliche Windrichtungen vor. Höhere PM₁₀-Belastungen (PM₁₀ > 35 µg/m³) kamen überwiegend bei östlichen Windrichtungen vor. Dies trifft auch für die Tage der Grenzwertüberschreitung zu. Da das Deponie-Gelände westlich des Untersuchungsgebietes liegt hätten westliche Winde bei den höheren Schwebstaubkonzentrationen vorherrschen müssen, wenn die Deponie Verursacher derselben gewesen wäre.

Die Belastung des Schwebstaubs PM10 mit Arsen, Blei, Cadmium und Nickel unterschreitet die zugehörigen Beurteilungsmaßstäbe sicher. Die Belastung ist an beiden Messpunkten in gleicher Höhe und bewegt sich auf einem niedrigen (ländlichen) Niveau. Gleiches gilt für die Parameter Kupfer, Zink und Benzo(a)pyren im Schwebstaub.

Auch für den Staubniederschlag wird an allen Beurteilungspunkten der Immissionswert der TA Luft sicher unterschritten. Die Messpunkte 7 *Pumpwerk BEG* und 8 *Wetterstation Bremerhaven* sind mit max. 32% bzw. 77% des Immissionswertes allerdings deutlich höher belastet als die anderen Beurteilungspunkte (11% - 21%). Die höhere Belastung am Messpunkt 8 ist durch die unmittelbar neben dem Messpunkt durchgeführte Bauaktivitäten zu erklären.

An allen Messpunkten erreicht die Belastung des Staubniederschlags mit Arsen, Blei, Cadmium und Nickel die Immissionswerte der TA Luft nur zu maximal 34% (Ausnahme: Cd mit 94% am MP 6 in 2016). Die Schadstoffdepositionsraten bewegen sich auf einem eher niedrigen (ländlichen) Niveau. Die Beurteilungswerte für Kupfer und Zink im Staubniederschlag werden ebenfalls an allen Messpunkten unterschritten. Die Belastung des Staubniederschlags mit Kupfer bewegt sich auf einem städtischen Niveau, während Zink im Staubniederschlag an allen Messpunkten einem eher niedrigen (ländlichen) Niveau zuzuordnen ist.

Die Belastung des Staubniederschlags mit Dioxinen und dioxinähnlichen PCB ist an beiden Messpunkten bei einer Ausschöpfung von max. 45% des Zielwertes von 4 pg WHO TEQ/m²d als gering einzustufen. Im Vergleich zu veröffentlichten Daten sind die an beiden Messpunkten ermittelten Belastungen an Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB als oberhalb von ländlichen Hintergrundwerten aber unterhalb von typischen städtischen Werten einzustufen.

Für das Untersuchungsgebiet im Bereich Speckenbüttel kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die dort ermittelten Immissionskenngößen alle sicher unter den Beurteilungsmaßstäben liegen und je nach Parameter in den Bereich „ländlich“ oder „städtischer Hintergrund“ bis im Einzelfall maximal „städtisch“ eingeordnet werden können. Die Messergebnisse und die windrichtungsbezogene Auswertung der PM10-Konzentrationen ergeben kein Indiz für eine signifikante Belastung durch eine lokale Quelle, z.B. die westlich gelegene Deponie Grauer Wall. Die Immissionssituation gleicht der oder ist besser als an den Messpunkten im Teilprogramm „Städtischer Hintergrund Bremerhaven“.

Eine abschließende immissionsschutzrechtliche Bewertung bleibt der zuständigen Behörde vorbehalten.

3 Messplanung

Vorbelastungsmessungen, die im Rahmen von Genehmigungsverfahren gemäß TA Luft [1] durchgeführt werden, basieren auf einem mit der zuständigen Behörde abgestimmten Messplan (TA Luft 4.6.2.2). Da im konkreten Fall die zuständige Fachbehörde als Auftraggeber einen Großteil der Messplanung im Vorfeld der Auftragsvergabe durchgeführt hat und die weitere Detailplanung direkt zwischen Auftragnehmer und Fachbehörde erfolgte, wird im Folgenden das Ergebnis der Messplanung wiedergegeben. Die Messplanung seitens der Fachbehörde basiert auf den Erfordernissen der 39.BImSchV [2]. Da die 39.BImSchV im Bereich der Messplanung jedoch weniger konkret als die TA Luft ist, wird letztere hilfsweise herangezogen. Die im nachfolgenden beschriebenen Details der Messplanung folgen daher, soweit dieses im Rahmen der Aufgabenstellung für das Teilprogramm Bremerhaven Nord sinnvoll möglich ist, den Vorgaben der TA Luft, ohne dass diese Vorgaben für das durchzuführende Untersuchungsprogramm verbindlich sind. Dieses ist bei den nachfolgend beschriebenen Punkten im Abschnitt 3 zu berücksichtigen.

Die Festlegung der Messpunkte im Teilprogramm a) „städtischer Hintergrund“ erfolgte durch die zuständige Behörde.

3.1 Messdauer, Messhöhe

Der Messzeitraum beträgt laut TA Luft Nr. 4.6.2.4 [1] in der Regel ein Jahr, kann aber auf sechs Monate verkürzt werden, wenn die Jahreszeit mit den zu erwartenden höchsten Immissionen erfasst wird, oder wenn während der laufenden Messungen klar wird, dass der Antragsteller von Immissionsmessungen nach TA Luft 4.6.2.1 [1] freigestellt wird. Dieses ist unter anderem dann der Fall, wenn die Vorbelastung für den jeweiligen Schadstoff weniger als 85 % des Immissionswertes der TA Luft beträgt (bezogen aufs Jahresmittel).

Für die Immissionsmessungen in Bremerhaven wurde ein zeitlicher Rahmen von zuerst 12 Monaten festgelegt, der in der Folge auf insgesamt 30 Monate ausgedehnt wurde.

Die Messhöhe wurde auf 1,5 bis 2 m über der Flur festgelegt, der seitliche Abstand zu Bauwerken beträgt minimal 1,5 m. Im Ausnahmefall (Dach des Messcontainer HansasträÙe, MP 6) sind auch Messhöhen bis 4 m erlaubt (TA Luft 4.6.2.3).

3.2 Kurzbeschreibung des Untersuchungsgebietes

Teilprogramm A) Städtischer Hintergrund

Stadtgebiet Bremerhaven. Genauere Charakterisierung und Lage siehe folgende Tabelle der Beurteilungspunkte.

Teilprogramm B) Bremerhaven Nord

Wohnnutzung in der Umgebung des Stadtparkes Speckenbüttel, welche im Einflussbereich der Deponie Grauer Wall liegt. Die Deponie befindet sich durch einen Wall abgegrenzt westlich des Wohngebietes Speckenbüttel und bildet den östlichen Abschluss des Gewerbegebietes nördlich der Wurster Straße. Im Siedlungsgebiet nördlich des prägenden Stadtparks Speckenbüttel

dominieren Einfamilienhäuser mit Gartenanlagen das Bild. Im Umfeld hinzukommen Sportanlagen, Kleingewerbe und Mehrfamilienhäuser.

Nach Norden ist das Siedlungsgebiet durch einen Bahndamm parallel zur Straße „Im Bruch“ begrenzt.

3.3 Festlegung des Beurteilungsgebietes (nur Teilprogramm B)

Im Rahmen eines BImSchG-Genehmigungsverfahrens erfolgt die Festlegung des Beurteilungsgebietes nach Nummer 4.6.2.5 der TA Luft [1]. Hiernach ist das Beurteilungsgebiet die Fläche, die sich vollständig innerhalb eines Kreises um den Emissionsschwerpunkt mit einem Radius befindet, der dem 50-fachen der tatsächlichen Schornsteinhöhe entspricht. Im Falle einer Flächenquelle (z.B. einer Deponie) kommt stattdessen Absatz 2 der Nr. 4.6.2.5 TA Luft [1] zur Anwendung: hiernach umfasst das Beurteilungsgebiet eine Fläche mit einem Radius von 1 km um die Emissionsquelle sowie zusätzlich außerhalb liegende Bereiche, in denen die Zusatzbelastung mehr als 3% des Langzeitkonzentrationswertes beträgt.

Da der Anlass zur Durchführung der Immissionsuntersuchungen u.a. die anhaltenden Beschwerden aus dem Bereich betroffener Anwohner ist, wurde unter Berücksichtigung der obigen Definition der TA Luft der Schwerpunkt der Untersuchung auf den der Deponie nächstgelegenen bewohnten Bereich gelegt, wobei die Wohnbereiche auch entfernter liegender Betroffener berücksichtigt wurden.

3.4 Anzahl und Auswahl der Beurteilungspunkte (nur Teilprogramm B)

Die TA Luft [1] beschreibt die Festlegung der Beurteilungspunkte in Nr. 4.6.2.6 wie folgt:

„Innerhalb des Beurteilungsgebietes sind die Beurteilungspunkte nach Maßgabe der folgenden Absätze so festzulegen, dass eine Beurteilung der Gesamtbelastung an den Punkten mit mutmaßlich höchster relevanter Belastung für dort nicht nur vorübergehend exponierte Schutzgüter auch nach Einschätzung der zuständigen Behörde ermöglicht wird. Messungen, die nur für einen sehr kleinen Bereich repräsentativ sind, sollen vermieden werden. Bei der Auswahl der Beurteilungspunkte sind somit die Belastungshöhe, ihre Relevanz für die Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit und die Exposition zu prüfen.“

Als Schutzgut ist nach Nr. 4.2 der TA Luft [1] die menschliche Gesundheit zu betrachten. Die Beurteilungspunkte sind daher so festzulegen, dass Gebiete erfasst werden, in denen Menschen nicht nur vorübergehend exponiert sind. Des Weiteren wird das Schutzgut Boden (landwirtschaftliche Nutzflächen) nach Nr. 4.5 der TA Luft [1] betrachtet. Im Sinne der TA Luft kommen weitere Schutzgüter wie Ökosysteme oder Vegetationen nicht in Betracht, da im Beurteilungsgebiet die geforderten Mindestabstände zu Ballungsräumen, bebauten Gebieten, Industrieanlagen oder Straßen (siehe TA Luft Nr. 4.6.2.6 [1]) nicht eingehalten sind.

Gemäß TA Luft 4.6.2.6 [1] sind die Beurteilungspunkte so festzulegen, dass eine Beurteilung der Gesamtbelastung an den Punkten mit mutmaßlich höchster relevanter Belastung für dort nicht nur vorübergehend exponierte Schutzgüter ermöglicht wird. Dies bedeutet im Regelfall, dass ein

Beurteilungspunkt für das Schutzgut Mensch im Bereich der maximalen Gesamtbelastung gesucht wird. Dies kann z.B. ein Wohngebiet, ein Kindergarten oder ein Krankenhaus sein. Falls eine solche Nutzung im Bereich der zu erwartenden höchsten Gesamtbelastung nicht erfolgt, kann ersatzweise z.B. die diesem Bereich nächstgelegene Wohnbebauung herangezogen werden.

Im konkreten Fall werden die Messpunkte im Bereich der erwarteten maximalen Gesamtbelastung unter Berücksichtigung der jeweils nächstgelegenen sensiblen Nutzung (Hier: Wohnnutzung) im Einflussbereich der Deponie angeordnet.

In den nachfolgenden Tabellen 1 und 2 sind die Beurteilungspunkte zusammenfassend je Teilprogramm dargestellt. Im Anhang sind Fotos der einzelnen Messpunkte abgebildet.

Tabelle 1: Beschreibung der Beurteilungspunkte Teilprogramm „Städtischer Hintergrund“

Messpunkt	Bezeichnung	Charakterisierung	Koordinaten
MP 1	Pumpstation	Pumpstation der BEG Ecke Rasenweg / Im Bruch. Die dortige Stromversorgung macht auch eine Erfassung von Schwebstaub PM10 möglich. Im Lee zur Deponie bei Südwestlichen Windrichtungen gelegen.	53°35'41.58"N 8°34'45.72"E
MP 2	Grundstück Sattelweg	Grundstück Sattelweg 14. Der Deponie nächstgelegener Messort. Hier werden daher neben den Elementen (Metalle) auch die organischen Schadstoffgruppen PCDD/F und WHO-PCB ermittelt.	53°35'36.59"N 8°34'36.72"E
MP 3	Vorgarten Pillauerstr.	Im Vorgarten des Grundstückes Pillauerstraße 12. Repräsentiert die Wohnnutzung im südöstlich der Deponie gelegenen Bereich.	53°35'7.85"N 8°34'26.43"E
MP 4	Garten Elbingerstraße	Im Garten des Reihenendhauses Elbingerstraße 23. Ebenfalls südöstlich der Deponie etwas weiter als MP 3 gelegen. Repräsentiert die dortige Wohnnutzung.	53°35'4.81"N 8°34'36.27"E

Tabelle 2: Beschreibung der Beurteilungspunkte Teilprogramm „Bremerhaven Nord“

Messpunkt	Bezeichnung	Charakterisierung	Koordinaten
MP 5	Parkplatz Kirche	Auf dem Parkplatz der Neuapostolischen Kirche am Mecklenburger Weg 3. Erfasst die Staubbiederschlagsbelastung im dortigen Wohngebiet.	53°35'29.14"N 8°36'14.16"E
MP 6	Messstation Bremerhaven	Messstation des Landes Bremen auf dem Gelände der Stadtwerke SWB nahe der HansasträÙe	53°33'46.44"N 8°34'9.63"E
MP 7	Pumpwerk BEG	Pumpwerk der BEG an der Wertstraße 2. Repräsentiert die Staubbiederschlagsbelastung für das angrenzende Wohngebiet.	53°33'16.88"N 8°35'11.68"E
MP 8	Wetterstation Bremerhaven	Auf dem Gelände der Wetterstation Bremerhaven des DWD „An der neuen Schleuse“. Dieser Messpunkt kann von Westen frei angeströmt werden und repräsentiert Belastungen aus dem näheren Umfeld sowie der Weser.	53°31'59.53"N 8°34'34.19"E
MP 9	Friedhof	Friedhofsgelände „Alt Wulsdorf“ in Höhe der Kreuzackerstraße 19. Repräsentiert die dortige Wohnnutzung und erfasst u.a. die Belastungen aus dem westlich gelegenen Industrie- und Gewerbegebiet.	53°30'13.08"N 8°35'48.08"E

Zur Verdeutlichung zeigen die nachfolgenden Abbildungen die Lage der Beurteilungspunkte im Stadtgebiet Bremerhaven.

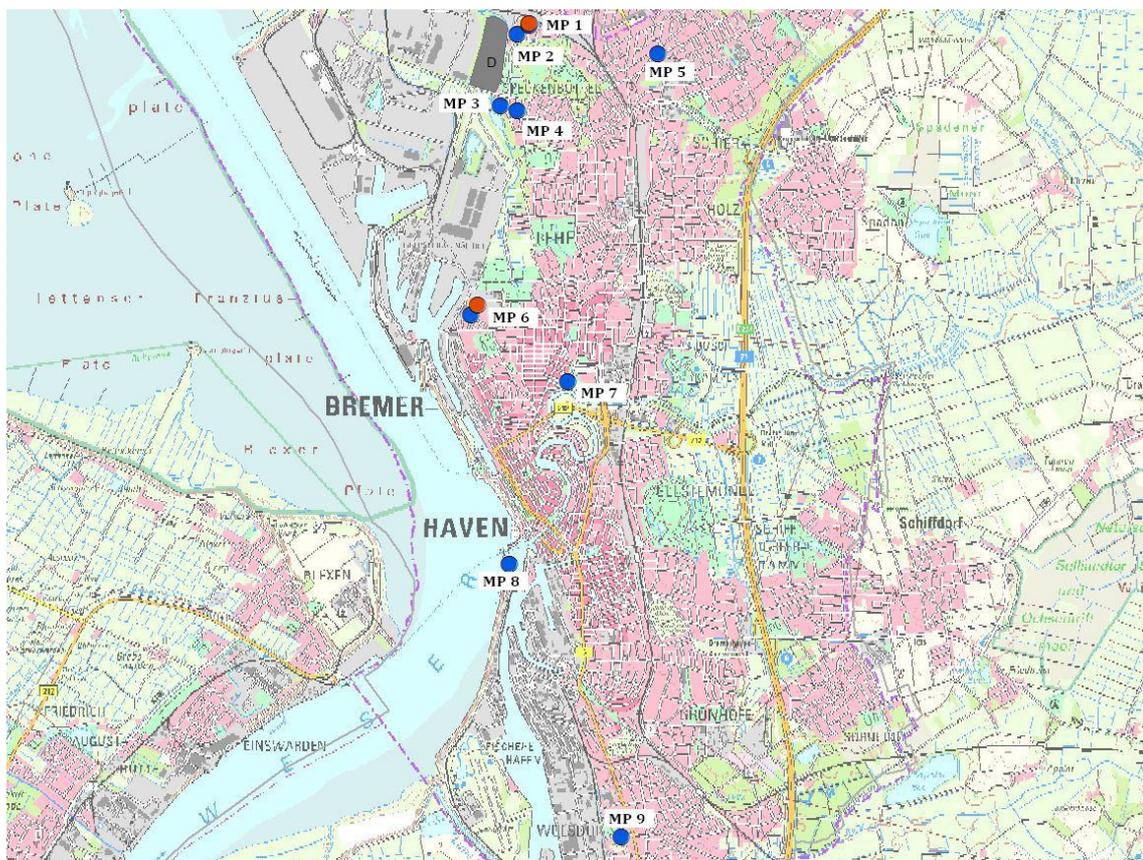


Abbildung 1: Lage der Messpunkte im Teilprogramm „Städtischer Hintergrund“

Datengrundlage: TK25, M a g i s t r a t der Stadt Bremerhaven, Vermessungs- und Katasteramt

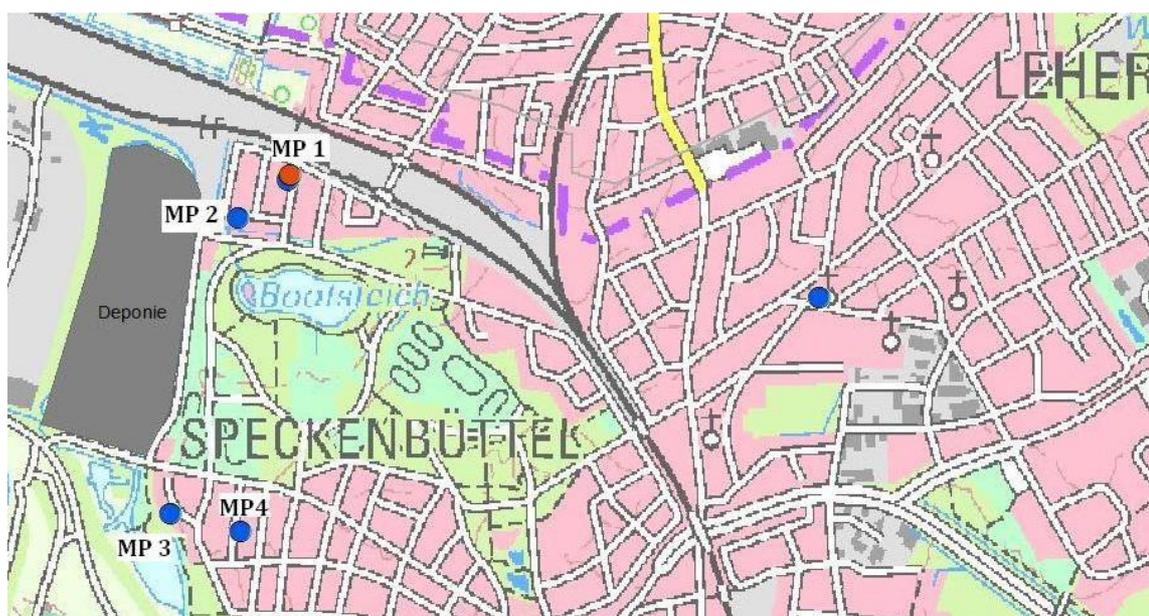


Abbildung 2: Lage der Messpunkte im Teilprogramm „Bremerhaven Nord“

Datengrundlage: TK25, M a g i s t r a t der Stadt Bremerhaven, Vermessungs- und Katasteramt

3.5 Messdauer

Für die Messungen wurde ein Zeitraum von 12 Monaten beginnend Anfang Juli 2014 geplant. Dieser Messzeitraum wurde zweimal verlängert und endete mit dem Dezember 2016.

3.6 Auswahl der zu untersuchenden Parameter (nur Teilprogramm B)

Bei der Auswahl der Parameter kommen hauptsächlich Stäube (Staubniederschlag und Schwebstaub) und deren Inhaltsstoffe zur Überprüfung in Betracht. Beim Einbau der abzulagernden Stoffe in den Deponiekörper kommt es zur diffusen Emission vorwiegend staubförmiger Stoffe, die überwiegend in der Nähe zur Emissions-Quelle sedimentieren. Aufgrund dessen liegt das Hauptaugenmerk auf der Erfassung der Deposition, die im Umfeld der Deponie eine Immissionszusatzbelastung für das Schutzgut Boden bedeuten kann. Die Deposition kennzeichnet die Belastung von Pflanzen, Boden und Wasser insbesondere im direkten Umfeld eines Emittenten.

Darüber hinaus sollen jedoch auch Feinstäube (PM10) sowie deren Inhaltsstoffe betrachtet werden, da diese über weitere Entfernungen transportiert werden können und somit in der Umgebung der Deponie auch zu Immissionszusatzbelastungen führen können, die insbesondere das Schutzgut Mensch betreffen.

Da die in der Deponie eingelagerten Reststoffe u.a. auch aus Abfallverbrennungsanlagen stammen (z.B. E-Filterstäube) ist es sinnvoll, die hierfür typischen Schadstoffe zu erfassen. Dies sind insbesondere Metalle und Metalloide und darüber hinaus hochtoxische organische Verbindungen wie die sogenannten chlorierten Dioxine und Furane sowie die von der Toxizität ähnlich eingestuften dioxinähnlichen PCBs (WHO-PCBs). Ergänzend soll das Benzo(a)pyren als Leitparameter für die Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) erfasst werden, da dieses als Produkt einer unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe häufig mit Reststoffen aus entsprechenden Anlagen verbunden ist.

Folgende Parameter wurden somit in die Untersuchung einbezogen:

- Schwebstaub PM10
- Metalle + Metalloide (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) im Schwebstaub PM10
- Benzo(a)pyren als Leitparameter der PAK im Schwebstaub PM10
- Staubniederschlag STN
- Metalle + Metalloide (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) im Staubniederschlag STN
- PCDD, PCDF und dioxinähnliche WCB (WHO-PCB) in der Deposition.

Die Tabelle 3 (siehe Kapitel Messhäufigkeiten) gibt eine Übersicht über die zu untersuchenden Komponenten, die geplanten Proben pro Messpunkt und deren Häufigkeit über den Untersuchungszeitraum.

3.7 Messhäufigkeiten

Die Ermittlung des Schwebstaubes PM10 erfolgt am Messpunkt über eine 24-stündige Probenahme an jedem Tag des Beurteilungszeitraums, so dass bei einem ganzjährigen Untersuchungszeitraum pro Messstandort ca. 360 Einzelwerte gemessen werden.

Die im Schwebstaub PM10 enthaltenen Metalle und Metalloide sowie das Benzo(a)pyren werden anhand von Quartalsmischproben, bestehend aus je ca. 90 Filterteiflächen, analysiert. Somit werden 4 Quartalsmittelwerte pro Messpunkt und Jahr ermittelt.

Die Ermittlung des Staubniederschlages und der darin enthaltenen Metalle erfolgt mit Hilfe von monatsweise exponierten Sammelgefäßen nach dem Bergerhoff-Verfahren. Die Expositionsdauer beträgt bei diesem Verfahren jeweils ein Monat (30 ± 2 Tage). Es werden somit je Beurteilungspunkt und Jahr 12 Proben untersucht.

Die Ermittlung der Deposition der PCDD, PCDF sowie WHO-PCB geschieht ebenfalls mit Hilfe von monatsweise exponierten Sammelgefäßen nach dem Bergerhoff-Verfahren. Die Expositionsdauer beträgt bei diesem Verfahren jeweils ein Monat (30 ± 2 Tage). Aus diesen Monatsproben wird je Quartal eine Mischprobe gebildet. Es werden somit je Beurteilungspunkt und Jahr 4 Proben analysiert. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über den Untersuchungsumfang beider Teilprogramme.

Tabelle 3: Übersicht über den jährlichen Untersuchungsumfang des Messprogramms

Messkomponente	Messpunkte	Probenahmedauer	Bestimmungen pro Messpunkt
<u>Teilprogramm A) Städtischer Hintergrund:</u>			
Staubniederschlag StN (Deposition)	5	Monatsprobe	12
Elemente im StN (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)	5	Quartalsprobe	4
Schwebstaub PM10	1	24 Stunden	Täglich (360)
Elemente im Schwebstaub PM10 (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)	1	Quartalswert aus den Tagesproben	4
BaP im Schwebstaub PM10	1	Quartalswert aus den Tagesproben	4
<u>Teilprogramm B) Bremerhaven Nord:</u>			
Staubniederschlag StN (Deposition)	4	Monatsprobe	12
Elemente im StN (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)	4	Quartalsprobe	4
Deposition von PCDD, PCDF und WHO-PCB	2	Quartalswert aus 3 Monatsproben	4
Schwebstaub PM10	1	24 Stunden	Täglich (360)
Elemente im Schwebstaub PM10 (As, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn)	1	Quartalswert aus den Tagesproben	4
BaP im Schwebstaub PM10	1	Quartalswert aus den Tagesproben	4

4 Messverfahren

Die im nachfolgenden bei den Bestimmungsmethoden genannten Probenahmezeiten ergeben sich aus Vorgaben der TA Luft [1] sowie der 39.BImSchV [2] in Verbindung mit Messverfahren, die im VDI-Richtlinienwerk beschrieben sind.

4.1 Schwebstaub PM10 und Inhaltsstoffe (Elemente)

Zur Durchführung der diskontinuierlichen, gravimetrischen PM10-Messungen wurden Staubmessgeräte der Firma Leckel, Typ SEQ 47/50 eingesetzt, welche mit einem automatischen Filterwechselsystem ausgestattet sind. Die täglichen Probenahmen finden jeweils von 0:00 bis 24:00 Uhr statt. Die Messgeräte werden zweiwöchentlich mit unbelegten Filtern neu bestückt, sowie die belegten Filter zum Labor transportiert. Die Impaktionsplatte zur Abtrennung des Grobstaubes wird ebenfalls zweiwöchentlich neu gefettet. Für die gravimetrischen Untersuchungen werden Quarzfaserfilter verwendet. Für die gravimetrischen Untersuchungen steht ein klimatisierter Wägeraum zur Verfügung, der die Temperatur auf (20 ± 1) °C, sowie die Luftfeuchte auf (45-50) % konstant hält. Für die gesamte Vorgehensweise wird die DIN EN 12341 [3] zu Grunde gelegt.

Verfahrenskenndaten (KleinfILTERgerät):

Probenahmedauer:	24 Stunden (0:00 Uhr bis 24:00 Uhr)
Probenahmenvolumen:	ca. 55,2 m ³ (bei 2,3 m ³ /h)
Nachweisgrenze:	ca. 2 µg/m ³
Erweiterte Messunsicherheit:U _{0,95} :	4 µg/m ³

Zur Inhaltsstoffanalyse werden quartalsweise Mischproben aus ca. 90 Filterteilen gebildet. Als Rückstellung für eventuelle Einzelanalysen, bzw. weitere Analysen werden die verbleibenden Filterteile verwahrt. Zur Weiterverarbeitung werden die Filterteilflächen zusammen mit Hilfe eines oxidierenden Salpetersäure/Flusssäuregemisches nach VDI-Richtlinie 2267 Blatt 15 [4] aufgeschlossen. Die Bestimmung der Metallgehalte geschieht entsprechend der VDI-Richtlinie 2267 Blatt 15 [4] mit Hilfe der Inductively Coupled Plasma - Massenspektrometrie (ICP -MS).

Die Bestimmung von BaP aus den Quartalsmischproben erfolgt nach DIN EN 15549 [5], d.h. es werden 4 Mischproben pro Jahr und Messpunkt ausgewertet. Die laboranalytische Detektion und Quantifizierung des BaP findet mit einem Gaschromatographen mit nachgeschaltetem massenselektiven Detektor (GC/MS-Kopplung) statt.

Tabelle 4: Typische Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten der Inhaltsstoffbestimmung in Schwebstaub PM10

Element	Methode	rel. Nachweisgrenzen*	Erweiterte Messunsicherheit**
Arsen (As)	ICP/MS	0,030 ng/m ³	0,1 ng/m ³
Blei (Pb)	ICP/MS	0,045 ng/m ³	0,4 ng/m ³
Cadmium (Cd)	ICP/MS	0,005 ng/m ³	0,04 ng/m ³
Kupfer (Cu)	ICP/MS	0,076 ng/m ³	0,5 ng/m ³
Nickel (Ni)	ICP/MS	0,106 ng/m ³	0,4 ng/m ³
Zink (Zn)	ICP/MS	0,197 ng/m ³	1,7 ng/m ³
Benzo(a)pyren	ICP/MS	0,02 ng/m ³	0,2 ng/m ³

* Instrumentelle NWG bezogen auf Monatswerte ** erweiterte MU bezogen auf Tagesprobe

4.2 Staubbiederschlag (Deposition) und Inhaltsstoffe

Die Immission an Staubbiederschlag wird nach der VDI-Richtlinie 4320, Blatt 2 [6] nach dem so genannten Bergerhoffverfahren ermittelt. Die darin enthaltenen Inhaltsstoffe („Metalle“) werden entsprechend der VDI-Richtlinienreihe 2267 [4] aufgeschlossen und analysiert.

Zur Analyse auf Staubbiederschlag und den darin enthaltenen Metallen werden pro Monat und Messpunkt die Inhalte der Probenahmegefäße eingedampft. Der aus den Staubbiederschlagsproben gewonnene Trockenrückstand wird anhand des in der VDI-Richtlinie 2267, Blatt 15 [4] beschriebenen Verfahrens des geschlossenen Mikrowellenaufschlusses unter Einsatz von HNO₃ und Flusssäure aufgeschlossen. Die Bestimmung der Metallgehalte geschieht aus den zusammengeführten Aufschlüssen eines Quartales entsprechend der VDI-Richtlinie 2267 Blatt 15 [4] mit Hilfe der Inductively Coupled Plasma - Massenspektrometrie (ICP -MS).

Die Deposition von PCDD / PCDF und dioxinähnlichen PCB (WHO-PCB) wird mittels Bergerhoff-Geräten monatlich erfasst. Die Probenahme erfolgt nach VDI 2090 Blatt 1 [7]. Pro Messpunkt werden bis zu 10 Glasgefäße parallel exponiert, um ausreichend Probenmaterial zur analytischen Bestimmung zu erhalten. Die Bestimmung erfolgt als Quartalsmittelwert. Die gesamte Sammelphase wird nach der Probenahme im Labor der Eurofins GfA Lab Service GmbH extrahiert und mit Hilfe der hochauflösenden Gaschromatographie und nachgeschalteter hochauflösender Massenspektrometrie (HRGC/HRMS) gemäß 17.BImSchV [8] und DIN EN 1948 [9] auf PCDD/PCDF und dioxinähnliche PCB untersucht und als Toxizitätsäquivalente (I-TEQ sowie WHO-TEQ) ausgewiesen.

Tabelle 5: Typische Nachweisgrenzen und Messunsicherheiten der Inhaltsstoffbestimmung im Staubniederschlag

Element	Methode	rel. Nachweisgrenzen*	Erweiterte Messunsicherheit**
Staubniederschlag (STN)	Gravimetrie	10 mg/(m ² ·d)	12 mg/(m ² ·d)
Arsen (As)	ICP/MS	0,1 µg/(m ² ·d)	0,17 µg/(m ² ·d)
Blei (Pb)	ICP/MS	0,1 µg/(m ² ·d)	1,6 µg/(m ² ·d)
Cadmium (Cd)	ICP/MS	0,01 µg/(m ² ·d)	0,05 µg/(m ² ·d)
Kupfer (Cu)	ICP/MS	0,2 µg/(m ² ·d)	5,3 µg/(m ² ·d)
Nickel (Ni)	ICP/MS	0,3 µg/(m ² ·d)	1,0 µg/(m ² ·d)
Zink (Zn)	ICP/MS	2,5 µg/(m ² ·d)	6 µg/(m ² ·d)
PCDD/F + WHO-PCB***	HRGC/HRMS	0,02 pg _{WHO-TEQ} /(m ² ·d)	n.a.

* Instrument. NWG bez. auf Monatswerte ** erweiterte MU bez. auf Monatsprobe ***Lower-Bound

5 Durchführung der Messungen

5.1 Allgemeines

Vor Beginn der Messungen wurde ein Zeitplan erstellt, der eine gleichmäßige Verteilung der Probenahmen über den Messzeitraum gewährleistet. Geringfügige Abweichungen von diesem Schema wurden in Ausnahmefällen durch technische Störungen bedingt (z.B. Stromausfall oder Geräteausfälle; diese Ausfälle sind in den Einzelwertlisten im ANHANG entsprechend gekennzeichnet).

5.2 Messpunkte

Die Einrichtung der Messstellen erfolgte entsprechend der Messplanung an den dort beschriebenen Orten. Hierzu wurden vor Ort Abstimmungen mit den Beteiligten bzw. Betroffenen geführt und die Messorte konkretisiert. Die Messpunkte sind im Anhang per Foto dokumentiert.

5.3 Messablauf

Die Untersuchungen konnten weitgehend störungsfrei durchgeführt werden. Bei den Depositionsmessungen kam es im Untersuchungszeitraum nur zu vier Ausfällen (im Januar 2015, April 2015, Februar 2016 und September 2016) durch Fremdeinwirkung.

Bei den Schwebstaubmessgeräten (PM10) kam es im September 2014 zu einem technisch bedingten Ausfall von 10 Messtagen an Station MP 1. Die Datenverfügbarkeit am MP 1 beträgt damit über den gesamten Untersuchungszeitraum 98,7 %.

Am Messpunkt MP 6 fielen im Juli/August 2015 15 Proben, im März 2016 4 Proben und im Oktober 2016 insgesamt 9 Messtage aufgrund von technischen Problemen aus. Drei Filter wurden durch Insektenbefall unbrauchbar. Die Datenverfügbarkeit am MP 2 beträgt damit über den gesamten Untersuchungszeitraum 96,6 %.

Das Messgerät am MP 6 wurde am 15.8.2014 auf das Dach des Containers versetzt, um eine noch bessere Vergleichbarkeit mit den Werten des dortigen Messgerätes des Bremer Luftmessnetzes zu erreichen (Fotos siehe Anhang).

Alle durchgeführten Beprobungstermine können den Tabellen mit den Einzelwertlisten im Anhang entnommen werden.

5.4 Fachlich Verantwortlicher und Vertreter

Fachlich Verantwortlicher (FV):	Dr. Klaus Berger; Tel.: 040/69 70 96 – 13
Stellvertreter des FV:	Dr. Annekatriin Dreyer, Tel.: 040/69 70 96 – 55
Projektleitung:	Dr. Klaus Berger

5.5 Beteiligung weiterer Einrichtungen

Die Durchführung der Analyse der PCDD, PCDF sowie WHO-PCB erfolgt durch die Eurofins GfA Lab Service GmbH, welche hierfür gemäß DIN EN ISO/IEC 17025 [10] akkreditiert und als eine Messstelle nach § 29b BImSchG bekanntgegeben ist.

5.6 Qualitätssicherung und Organisation

Die Eurofins GfA GmbH ist eine bekannt gegebene Messstelle nach § 29b BImSchG und darüber hinaus ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 [10] akkreditiertes Prüflaboratorium. Die Eurofins GfA hat sich zudem ihre Kompetenz im Bereich Emissions-/Immissionsmesstechnik nach dem „Modul Immissionsschutz“ akkreditieren lassen. Im dazugehörigen Qualitätsmanagementsystem der Eurofins GfA sind für die Untersuchungen die nötigen QM-Arbeitsanweisungen vollständig aufgelistet.

6 Auswertung und Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgend erfolgt eine Aus- und Bewertung der ermittelten Daten. Die Auswertungen werden nach den Kriterien der 39.BImSchV [2] und TA Luft [1] durchgeführt.

Für die Bewertung der Parameter Schwebstaub PM10 und Staubniederschlag, für die Metalle Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd), und Nickel (Ni) im Staubniederschlag, sowie für die Metalle Arsen (As), Blei (Pb), Cadmium (Cd) und Nickel (Ni) im Schwebstaub PM10 liegen nach TA Luft [1] bzw. 39.BImSchV [2] Immissionswerte vor, anhand derer eine Bewertung stattfinden kann. Für die Bewertung der weiteren, untersuchten Parameter liegen in der TA Luft [1] keine Bewertungskriterien vor. Für die Bewertung werden daher andere Beurteilungsmaßstäbe (z.B. EU-Richtlinien, LAI, WHO, BBodSchV, AGW/MAK) herangezogen.

Da die Bewertungsmaßstäbe sich ganz überwiegend auf einen Jahreszeitraum beziehen wurde hilfsweise der zweieinhalbjährige Untersuchungszeitraum in drei ganzjährige Beurteilungszeiträume aufgeteilt:

1. Beurteilungszeitraum: Juli 2014 bis Juni 2015
2. Beurteilungszeitraum: Januar 2015 bis Dezember 2015
3. Beurteilungszeitraum: Januar 2016 bis Dezember 2016

Diese Aufteilung ermöglicht den direkten Vergleich der einzelnen Beurteilungszeiträume mit den Bewertungsmaßstäben. Zudem wird der Vergleich mit veröffentlichten Daten aus anderen Quellen (z.B. Landesmessnetzen) erleichtert.

Messwerte unterhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenze werden mit dem halben Betrag der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze bei der Berechnung von Mittelwerten berücksichtigt (soweit nicht explizit anders angegeben).

Alle Einzelmesswerte sind im Anhang detailliert tabellarisch aufgeführt. Im Anhang finden sich die PM10-Konzentrationsverläufe über den Untersuchungszeitraum auch graphisch dargestellt.

6.1 Schwebstaub PM10

Für den Parameter Schwebstaub PM10 sind in der 39. BImSchV [2] in § 4 Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit angegeben. Demnach darf die Gesamtbelastung für Schwebstaub PM10, gemittelt über 1 Jahr, an keinem Beurteilungspunkt $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreiten. Als weiteres Beurteilungskriterium nennt die 39. BImSchV die Überschreitungshäufigkeit des Immissionswertes für die 24-stündige Immissionsbelastung. Es dürfen demnach maximal 35 Tageswerte innerhalb eines Jahres einen Wert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschreiten.

In der folgenden Tabelle 6 sind die nach TA Luft Nummer 4.6.3 [1] ermittelten Immissions-Jahres-Kenngrößen für den Parameter Schwebstaub PM10 an den Beurteilungspunkten dargestellt. Der Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der 39. BImSchV [2] bezüglich Schwebstaub PM10 wird an beiden Beurteilungspunkten sicher unterschritten. Es werden für beide Messpunkte Kenngrößen zwischen 44% und 47 % des Beurteilungswertes erreicht. Die mittlere Feinstaubkonzentration PM10 liegt damit im Untersuchungsgebiet Speckenbüttel (MP 1) auf gleicher Höhe mit der Luftmessstation Bremerhaven (MP 6). Die hier bestimmten PM10 Konzentrationen liegen im Bereich städtischer Hintergrundwerte (Osnabrück 2014 / 2015: 19 bzw. 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; Elbmündung 2014 / 2015: 18 bzw. 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [22] bzw. [26].

Auch die Anzahl der Überschreitungstage ergibt mit 2 bis 5 je Beurteilungszeitraum Werte deutlich unterhalb der nach 39. BImSchV [2] zulässigen 35 Überschreitungen im Jahr. Die unterschiedliche Anzahl der Tageswert-Überschreitungen im ersten Beurteilungszeitraum ist auf geringfügige Unterschiede in den Spitzenwerten zurückzuführen (siehe Einzelwert-Tabellen im Anhang).

Der zeitliche Verlauf (siehe auch nachfolgende Grafik) der Einzelwerte zeigt an beiden Stationen ein überwiegend niedriges Niveau im Bereich unterhalb $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Verlauf der beiden PM10-Konzentrationen an beiden Messpunkten ist fast deckungsgleich. Überschreitungen des Jahresimmissionswertes traten überwiegend im Winterhalbjahr (September, November, Dezember 2014 und ausgeprägt im Februar, März und Oktober 2015 sowie im Januar 2016) auf. Dieser Anstieg der Feinstaubkonzentrationen ist in der Regel großflächig zu beobachten und wurde auch an anderen Messstationen gemessen.

An der Station Bremen-Mitte des Landes Bremen, welche den städtischen Hintergrund im Bereich der Umweltzone repräsentiert, wurden im 1. Untersuchungszeitraum insgesamt 5 Überschreitungen festgestellt, und zwar an den gleichen Tagen und in gleicher Höhe wie an MP 1 (Tabelle 7). Für den 2. Untersuchungszeitraum (das Jahr 2015) wurden an den beiden Messpunkten im Untersuchungsgebiet je 5 Überschreiter festgestellt, während für Bremen-Mitte insgesamt 7 Überschreiter berichtet wurden [25]. Ähnlich sieht die Immissionssituation an den Stationen Osnabrück und insbesondere Jadebusen des Landes Niedersachsen aus (Tab. 7) [24] [26]. Ursächlich für die großräumig beobachteten Episoden mit erhöhter Feinstaubbelastung ist ganz wesentlich die großräumige meteorologische Situation, die i.d.R. einhergeht mit niedrigen Mischungsschichthöhen und teilweise auch geringen Niederschlägen.

Tabelle 6: Messergebnisse der PM₁₀-Schwebstaubkonzentrationen
 Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016 (Tagesproben)

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen bzw. Anzahl Überschreitungen			Verhältnis Kenngröße zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BImSchV §4	40 µg/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	18,5 µg/m ³	17,9 µg/m ³	17,5 µg/m ³	46%	45%	44%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	18,5 µg/m ³	18,4 µg/m ³	18,6 µg/m ³	46%	46%	47%	
	50 µg/m ³ 24-h-Mittelwert (max. 35 Überschreitungen im Jahr)	MP 1	5	5	2	Die zulässigen 35 Überschreitungen im Jahr werden deutlich unterschritten			
		MP 6	3	5	2				

Tabelle 7: PM₁₀-Überschreitungstage (PM₁₀ >50 µg/m³) im großräumigen Vergleich

Überschreitungstage	MP 1 Pumpstation µg/m ³	MP 6 Messstation µg/m ³	Bremen Mitte µg/m ³	Osnabrück* µg/m ³	Jadebusen* µg/m ³
Sa, 15.11.14	52	49	53	27	39
So, 15.02.15	60	55	60	54	61
Mo, 16.02.15	76	70	75	57	75
Di, 17.02.15	58	54	57	55	55
Mi, 25.03.15	51	47	51	60	53
Do, 29.10.15	58	58	Ausfall**	29	46
Sa, 31.10.15	48	53	53	32	52
Fr, 01.01.16	69	58	73	54	48
Do, 07.01.16	77	77	80	56	82

* validierte Daten des LÜN [24] ** Gerätedefekt (Filterbandfehler)

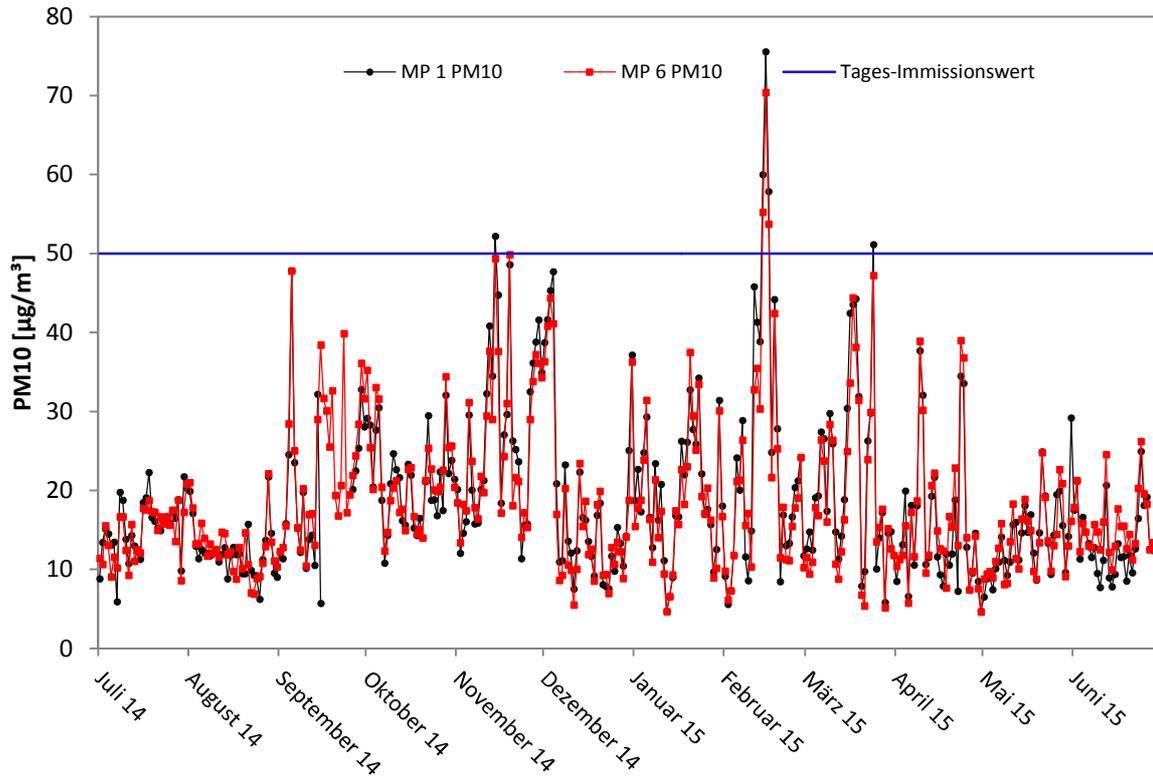


Abbildung 3: Verlauf der PM10 Konzentrationen im 1. Beurteilungszeitraum

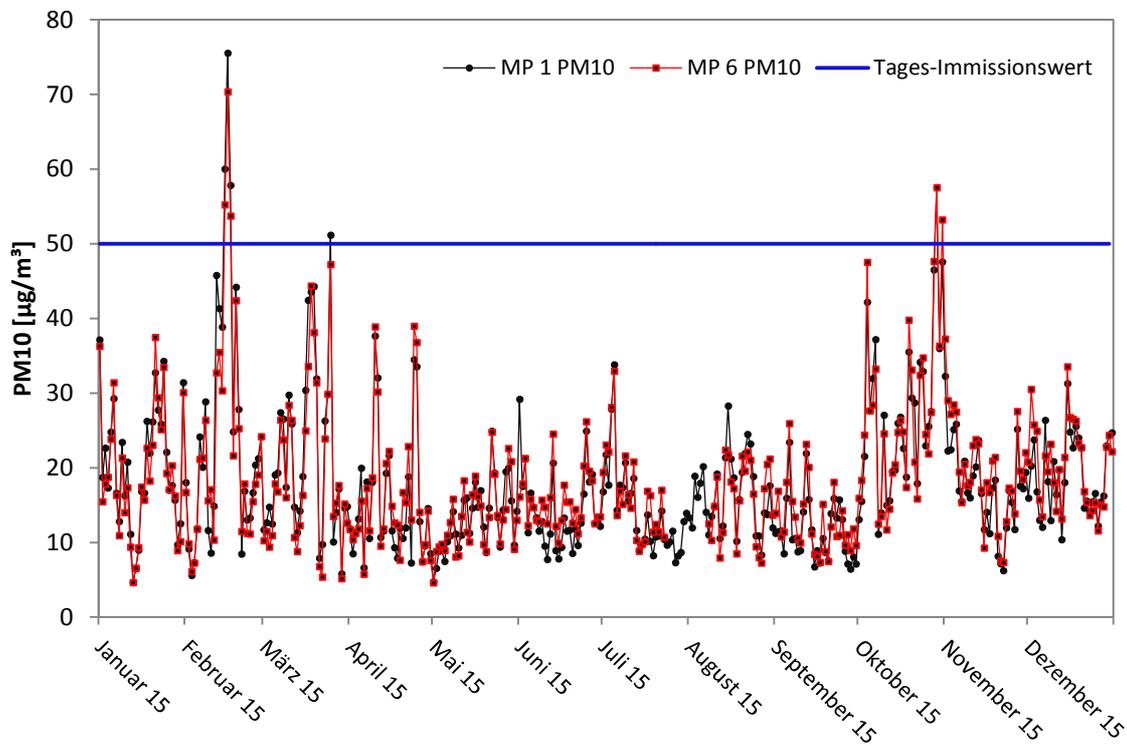


Abbildung 4: Verlauf der PM10 Konzentrationen im 2. Beurteilungszeitraum

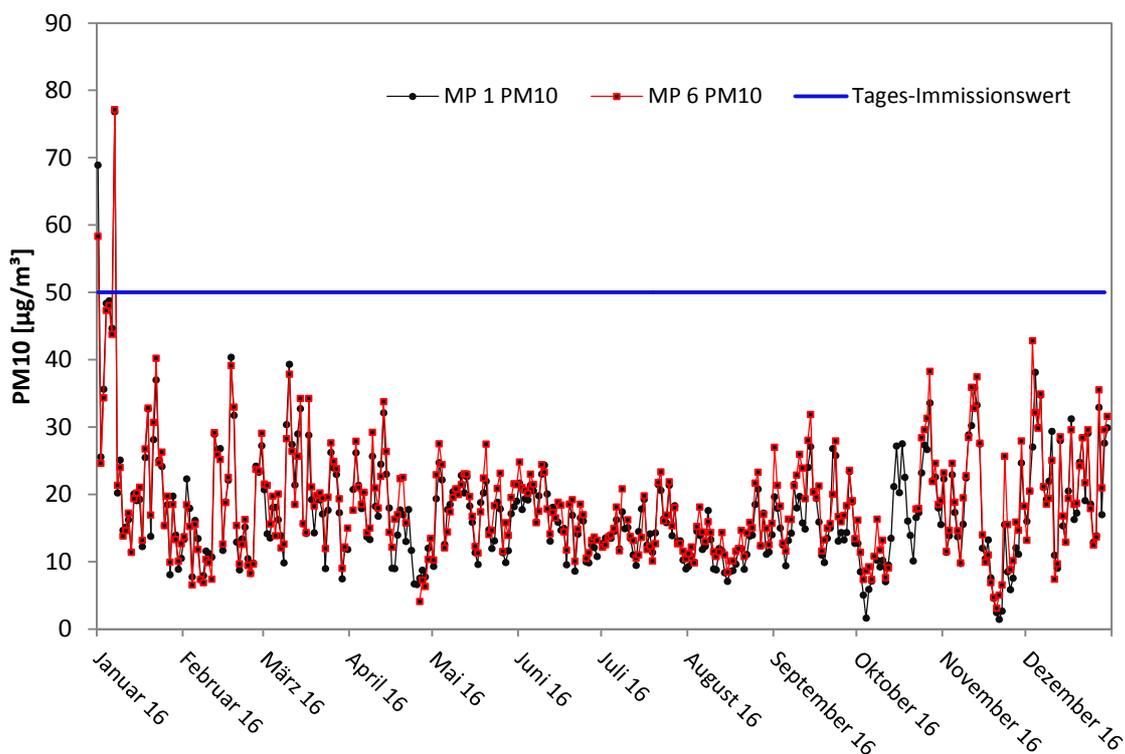


Abbildung 5: Verlauf der PM10 Konzentrationen im 3. Beurteilungszeitraum

6.1.1 Schwebstaub PM10 – Windrichtungsbezogene Auswertung

Seitens des Auftraggebers wurden für den Untersuchungszeitraum meteorologische Daten zur Verfügung gestellt, die zur Prüfung eines Zusammenhanges zwischen Windrichtung und Höhe der Schwebstaubbelastung herangezogen werden.

Abbildung 6 zeigt die Windrose für den gesamten Untersuchungszeitraum am Standort der Luftmessstation Bremerhaven des Luftmessnetzes Bremen. In diesem Zeitraum überwiegen westliche bis südwestliche Windrichtungen mit einem sekundären, aber weniger ausgeprägten Maximum bei östlichen Windrichtungen. Diese Windrichtungsverteilung kann als typisch für die Norddeutsche Tiefebene bezeichnet werden.

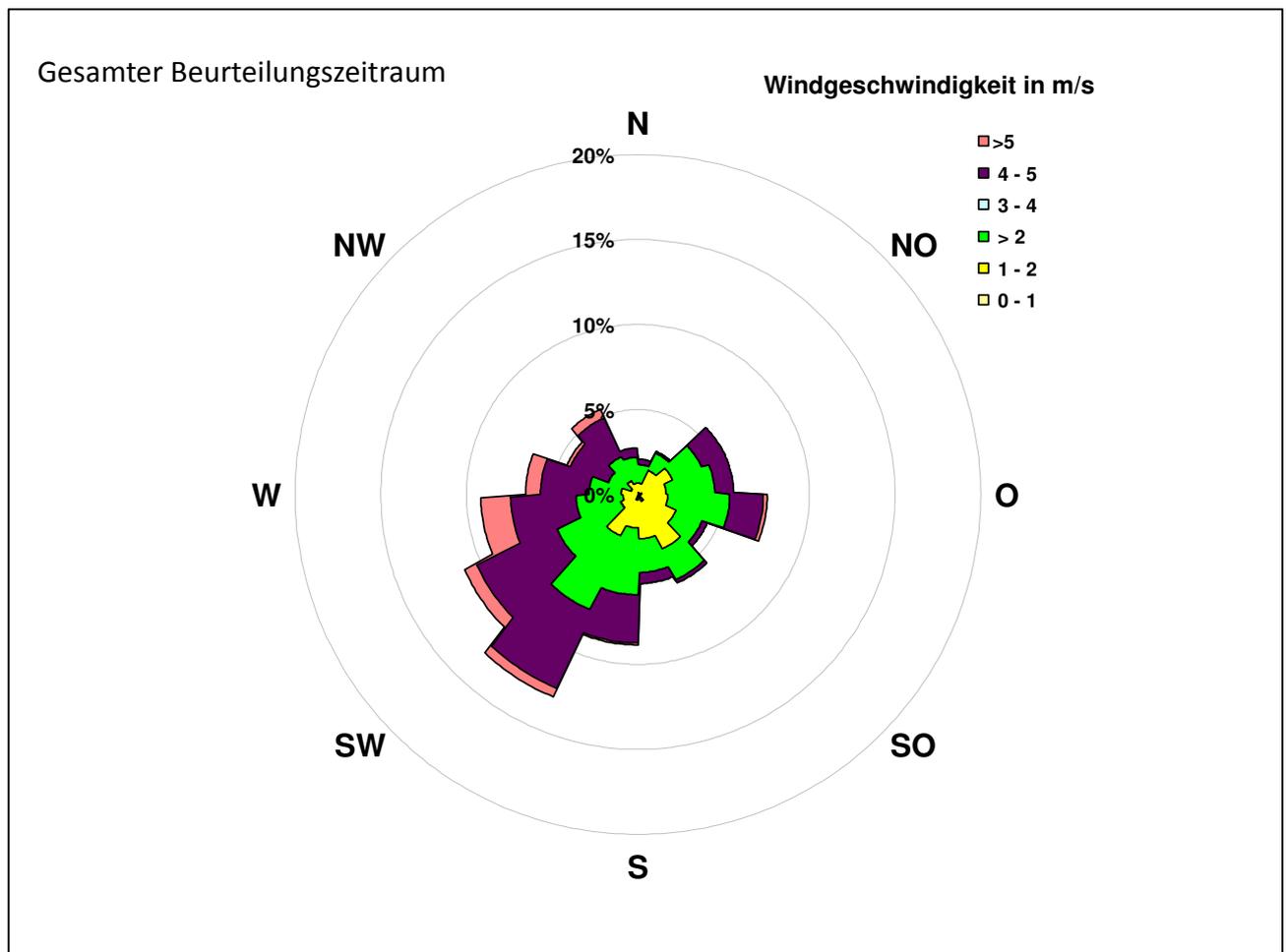


Abbildung 6: Windrose für den gesamten Beurteilungszeitraum (7/14-12/16) (Luftmessstation Bremerhaven des Luftmessnetzes Bremen)

Die nachfolgende Abbildung zeigt für beide Messpunkte je zwei Windrosen für den Untersuchungszeitraum. Die oberen Windrosen stellen die Situation bei Schwebstaubkonzentrationen kleiner $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dar, die unteren die Windrichtungsverteilung bei höheren PM10-Konzentrationen ($> 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Bei den häufiger auftretenden Schwebstaubkonzentrationen PM10 von $< 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ herrschen überwiegend westlich bis südwestliche Windrichtungen vor. Dahingegen ist deutlich zu erkennen, dass höhere PM10-Belastungen ($\text{PM}_{10} > 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Untersuchungszeitraum ganz überwiegend bei östlichen Windrichtungen aufgetreten sind (Abb. 5). Dies trifft auch für die Tage der Grenzwertüberschreitung zu (drei Überschreitungen fanden bei südlicher Windrichtung statt, s.a. Tabelle 8 und Windrose in Abb. 8).

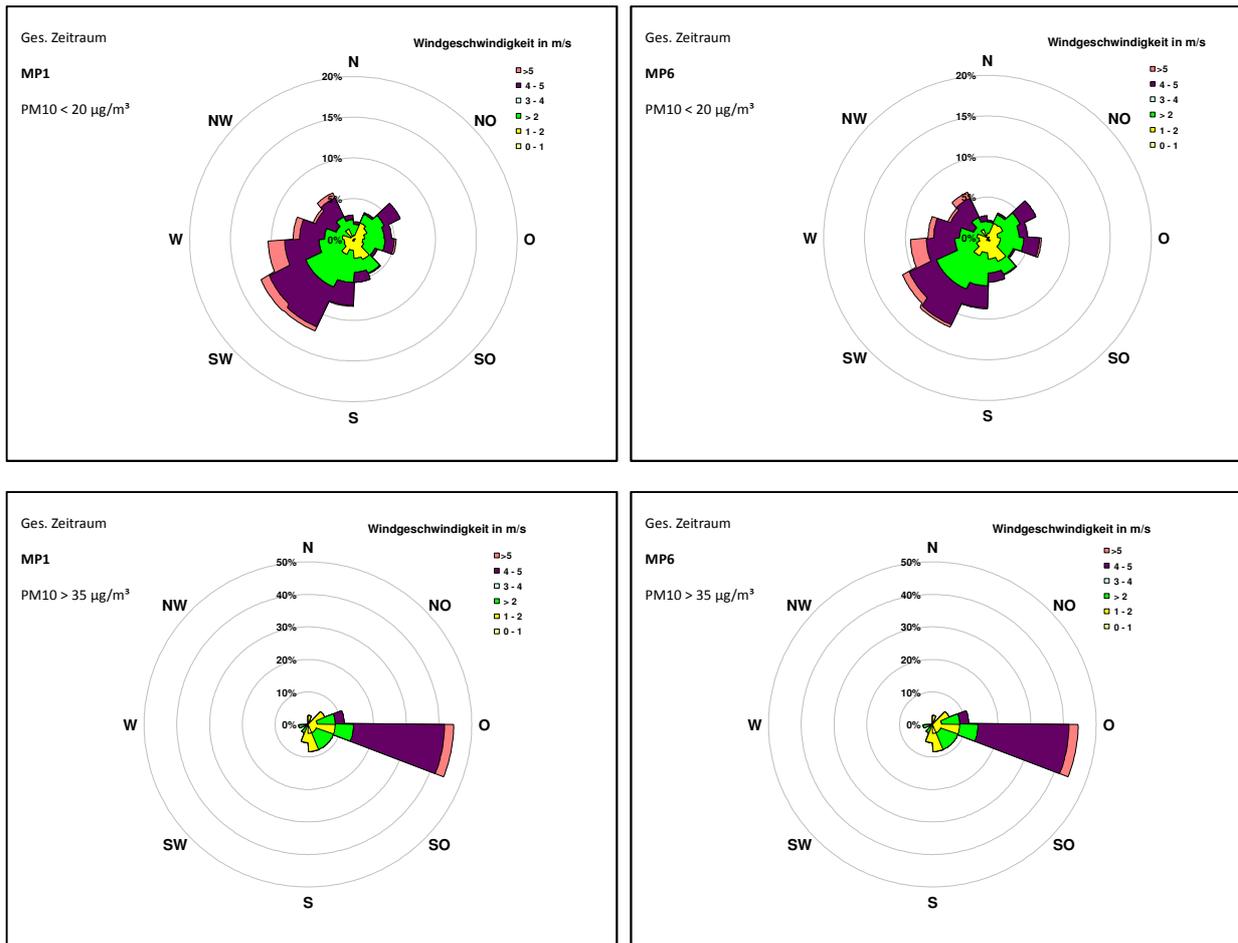


Abbildung 7: Windrosen für PM10 <20 µg/m³ (obere Graphiken) und für PM10 >35 µg/m³ (untere Graphiken), jeweils für MP 1 und MP 6

Tabelle 8: Windrichtungen an den PM10-Überschreitungstagen (PM10 >50 µg/m³)

Überschreitungstage	MP 1 Pumpstation µg/m³	MP 6 Messstation µg/m³	WR °	WG m/s
Sa, 15.11.14	52	49	104 (Ost)	3,1
So, 15.02.15	60	55	86 (Ost)	2,4
Mo, 16.02.15	76	70	74 (Ost)	4,1
Di, 17.02.15	58	54	102 (Ost)	3,2
Mi, 25.03.15	51	47	187 (Süd)	1,8
Do, 29.10.15	58	58	126 (Ost)	2,5
Sa, 31.10.15	48	53	114 (Ost)	2,5
Fr, 01.01.16	69	58	169 (Süd)	2,0
Do, 07.01.16	77	77	93 (Ost)	4,9

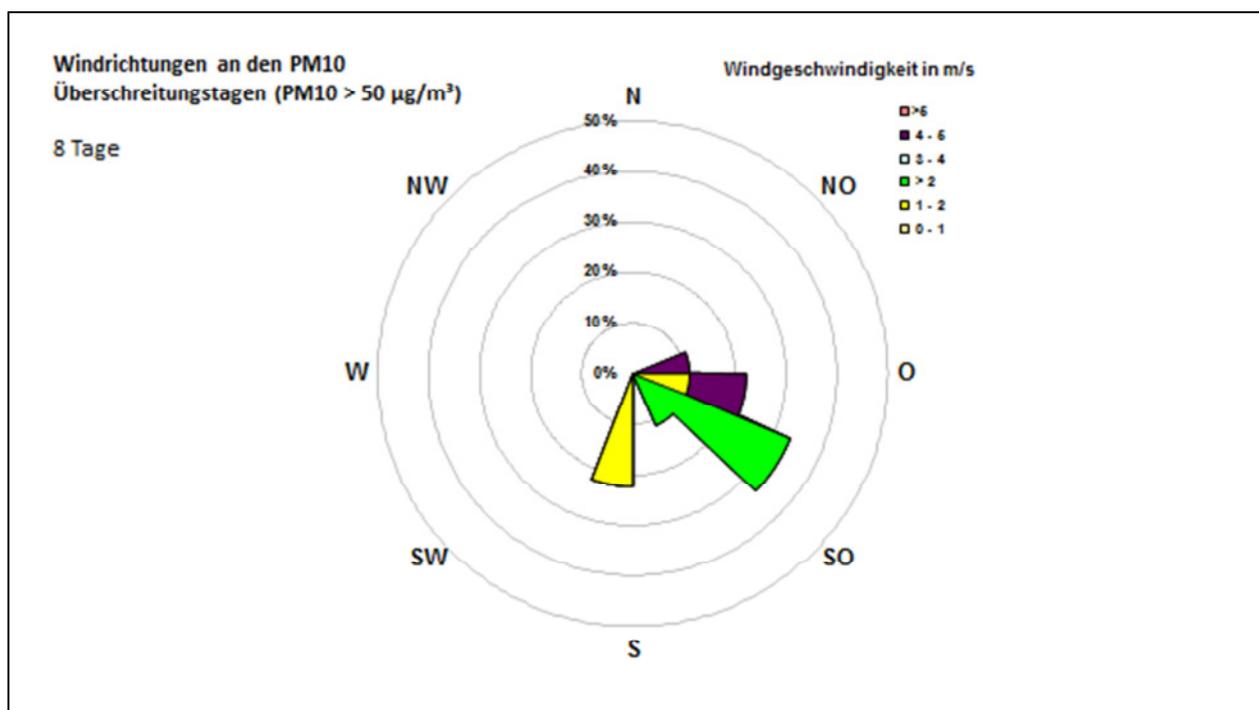


Abbildung 8: Windrose für die Tage mit Grenzwertüberschreitung (PM10>50 µg/m³)

Wie zuvor bereits ausgeführt unterscheiden sich die beiden Messpunkte nicht hinsichtlich der Schwebstaub PM10 Belastung. Dies trifft auch bei Berücksichtigung der Windrichtungen zu. Hohe PM10-Konzentrationen wurden überwiegend nur bei östlichen Windrichtungen gemessen. Da das Deponie-Gelände westlich des Untersuchungsgebietes liegt müssten westliche Winde bei den höheren Schwebstaubkonzentrationen vorliegen, wenn die Deponie Verursacher der festgestellten PM10-Immissionen wäre. Bei westlichen Windrichtungen treten jedoch überwiegend PM10-Konzentrationen < 20 µg/m³ auf.

6.2 Inhaltsstoffe in Schwebstaub PM10

6.2.1 Arsen, Cadmium, Blei, Nickel in Schwebstaub PM10

In der 39. BImSchV [2] werden Immissionswerte zum Schutz vor schädlichen Einwirkungen auf den Mensch aufgeführt. Diese betragen für **Arsen** 6 ng/m³ für **Cadmium** 5 ng/m³, für **Blei** 500 ng/m³, für **Nickel** 20 ng/m³. Demnach ist der Schutz vor schädlichen Einwirkungen durch die die vorgenannten Stoffe in PM10 sichergestellt, sofern die Gesamtbelastung am Beurteilungspunkt diese Werte unterschreitet. Die vorgenannten Immissionswerte gelten als Mittelwert des jeweiligen Parameters über ein Jahr.

Die Belastung des Schwebstaubs PM10 mit Arsen, Blei, Cadmium und Nickel ist in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Es zeigt sich, dass die zugehörigen Beurteilungswerte sicher unterschritten werden und die Belastung an beiden Messpunkten in gleicher Höhe liegt. Die Schadstoffkonzentrationen dieser Elemente im Schwebstaub PM10 bewegen sich auf einem

niedrigen (ländlichen) Niveau (As: 0,1-1 ng/m³; Pb: 0,1-10 ng/m³; Cd: 0,01-0,3 ng/m³; Ni: 0,1-5 ng/m³) [22].

Das Land Niedersachsen gibt für seine Messstation Jadebusen (repräsentativ für ländliche Gebiete) Jahresmittelwerte für 2014 und 2015 für Cadmium von 0,18 bzw. 0,10 ng/m³, für Arsen von 0,59 bzw. 0,47 ng/m³, für Blei von 5 bzw. 3,4 ng/m³ und für Nickel von 1,4 bzw. < 1,0 ng/m³ an [22] bzw. [26]. Die hier bestimmten Werte für Blei, Cadmium und Arsen liegen in diesen Bereichen, der Wert für Nickel liegt darüber.

Tabelle 9: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Arsen**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BlmSchV	6 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	0,56 ng/m ³	0,54 ng/m ³	0,53 ng/m ³	9%	9%	9%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	0,60 ng/m ³	0,58 ng/m ³	0,50 ng/m ³	10%	10%	8%	

Tabelle 10: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Blei**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BlmSchV	500 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	5,4 ng/m ³	5,1 ng/m ³	5,1 ng/m ³	1,1%	1,0%	1,0%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	6,2 ng/m ³	6,2 ng/m ³	6,2 ng/m ³	1,2%	1,2%	1,2%	

Tabelle 11: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Cadmium**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BlmSchV	5 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	0,17 ng/m ³	0,13 ng/m ³	0,15 ng/m ³	3,4 %	2,6 %	3,0 %	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	0,18 ng/m ³	0,15 ng/m ³	0,18 ng/m ³	3,6 %	3,0 %	3,4 %	

Tabelle 12: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Nickel**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BlmSchV	20 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	2,7 ng/m ³	3,6 ng/m ³	3,0 ng/m ³	14%	18%	15%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	2,7 ng/m ³	3,6 ng/m ³	3,2 ng/m ³	14%	18%	16%	

6.2.2 Kupfer und Zink in Schwebstaub PM10

Für **Kupfer** und **Zink** im Schwebstaub PM10 ist sowohl in der TA Luft [1] als auch in der 39. BlmSchV [2] kein Immissionswert zum Schutz der menschlichen Gesundheit festgelegt. Zur Beurteilung der Immissionssituation wird ersatzweise das Beurteilungskriterium für die Bewertung von Arbeitsplätzen (Arbeitsplatzgrenzwert, Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen) herangezogen [12].

Der Grenzwertvorschlag der DFG-Senatskommission für Arbeitsplätze liegt für Kupfer bei 0,01 mg/m³ und für Zink bei 0,1 mg/m³. Diese für die arbeitsmedizinische Gefährdungs-Beurteilung am Arbeitsplatz geltenden Grenzwerte können für die Bewertung der Immissionssituation nur hilfsweise bei gleichzeitiger Division durch 100 zur Bewertung heran gezogen werden (1 %-Kriterium).

In den folgenden Tabellen sind die im ganzjährigen Beurteilungszeitraum analog der Nummer 4.6.3 der TA Luft [1] ermittelten Immissions-Jahres-Kenngrößen für die Parameter Kupfer und Zink im Schwebstaub PM10 dargestellt. Die analog der Nr. 4.6.3 der TA Luft [1] durchgeführte Auswertung zeigt, dass der genannte Beurteilungsmaßstab im Beurteilungszeitraum eingehalten wird,

d.h. dass alle Mittelwerte das Beurteilungskriterium für den Untersuchungszeitraum mit kleiner 6 % sicher unterschreiten. Die Kupferkonzentrationen im Schwebstaub an den beiden Messpunkten bewegen sich auf einem niedrigen (ländlichen) Niveau (Cu: 2-10 ng/m³, Zn: 5-50 ng/m³) [22].

Tabelle 13: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Kupfer**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
Empf. Arbeitsplatzgrenzwert AGW hier: AGW/100	100 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	4,6 ng/m ³	4,6 ng/m ³	5,2 ng/m ³	4,6%	4,6%	5,2%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	4,6 ng/m ³	11,6 ng/m ³	5,0 ng/m ³	4,6%	12%	5,0%	

Tabelle 14: Messergebnisse Schwebstaub PM10: **Zink**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
Empf. Arbeitsplatzgrenzwert AGW hier: AGW/100	1.000 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	27 ng/m ³	26 ng/m ³	48 ng/m ³	2,7%	2,6%	4,8%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 6	34 ng/m ³	32 ng/m ³	55 ng/m ³	3,4%	3,2%	5,5%	

6.2.3 Benzo(a)pyren im Schwebstaub PM10

Für den Parameter **Benzo(a)pyren** im Schwebstaub PM10 ist in der 39.BImSchV ein Immissionswert von 1 ng/m³ genannt. Dieses Kriterium wird für den Messzeitraum an beiden Messpunkten sicher unterschritten.

Das Land Niedersachsen gibt für seine Messstation Jadebusen (repräsentativ für ländliche Gebiete) einen Jahresmittelwert 2014 bzw. 2015 für Benzo(a)pyren von 0,19 bzw. 0,06 ng/m³ an [22] bzw. [26]. Die hier bestimmten Werte für Benzo(a)pyren liegen in dieser Größenordnung.

Tabelle 15: Schwebstaub PM10: **Benzo(a)pyren**
Messzeitraum: 2.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
39. BImSchV	1 ng/m ³ Jahresmittelwert	MP 1	0,16 ng/m ³	0,11 ng/m ³	0,20 ng/m ³	16%	11%	20%	Das Beurteilungskriterium wird <u>unterschritten</u>
		MP 6	0,14 ng/m ³	0,09 ng/m ³	0,21 ng/m ³	14%	9%	21%	

6.3 Staubniederschlag

Staubniederschlag als nicht gefährdender Staub findet in der TA Luft [1] unter Nr. 4.3.1 Berücksichtigung. Hier ist ein Immissionswert von 0,35 g/(m²·d) als Jahresmittelwert zum Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen festgelegt.

Die Auswertung nach Nr. 4.6.3 der TA Luft ist in der nachfolgenden Tabelle 16 dargestellt. In Tabelle 16 sind die Monatswerte und in Abbildung 7 die Quartalsmittelwerte der Staubniederschlagsmessung (Deposition) an den untersuchten Messstellen im Vergleich dargestellt. Es zeigt sich, dass an allen Beurteilungspunkten das geforderte Kriterium sicher unterschritten wird. Der Messpunkt 8 *Wetterstation Bremerhaven* ist mit bis zu 77% des Immissionswertes deutlich höher belastet als die anderen Beurteilungspunkte (11% - 32%), welches mit großer Wahrscheinlichkeit auf die unmittelbar neben dem Messpunkt durchgeführten Baumaßnahmen zurückzuführen ist.

Das Land Niedersachsen gibt für seine Messstationen im ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund Jahresmittelwerte für 2014 (bzw. 2015) für Staubniederschlag von 0,026 (0,023) g/m²d bis 0,070 (0,063) g/m²d an [22] bzw. [26]. Die Kenngrößen der Messpunkte im Untersuchungsgebiet Bremerhaven liegen mit Ausnahme von MP 7 und MP 8 bei Jahresmittelwerten zwischen 0,037 g/m²d und 0,074 g/m²d und damit in gleicher Größenordnung wie im ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund von Niedersachsen.

Tabelle 16: Messergebnisse der **Deposition**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014	2015	2016	7/2014	2015	2016	
			- 6/2015			- 6/2015			
TA Luft 4.3.1	0,35 g/m ² d Jahresmittelwert	MP 1	0,074 g/m ² d	0,064 g/m ² d	0,055 g/m ² d	21%	18%	16%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	0,060 g/m ² d	0,069 g/m ² d	0,050 g/m ² d	17%	20%	14%	
		MP 3	0,050 g/m ² d	0,055 g/m ² d	0,037 g/m ² d	14%	16%	11%	
		MP 4	0,062 g/m ² d	0,066 g/m ² d	0,041 g/m ² d	18%	19%	12%	
		MP 5	0,060 g/m ² d	0,047 g/m ² d	0,037 g/m ² d	17%	13%	11%	
		MP 6	0,073 g/m ² d	0,073 g/m ² d	0,058 g/m ² d	21%	21%	17%	
		MP 7	0,111 g/m ² d	0,083 g/m ² d	0,079 g/m ² d	32%	24%	23%	
		MP 8	0,124 g/m ² d	0,270 g/m ² d	0,086 g/m ² d	35%	77%	25%	
		MP 9	0,068 g/m ² d	0,060 g/m ² d	0,050 g/m ² d	19%	17%	14%	

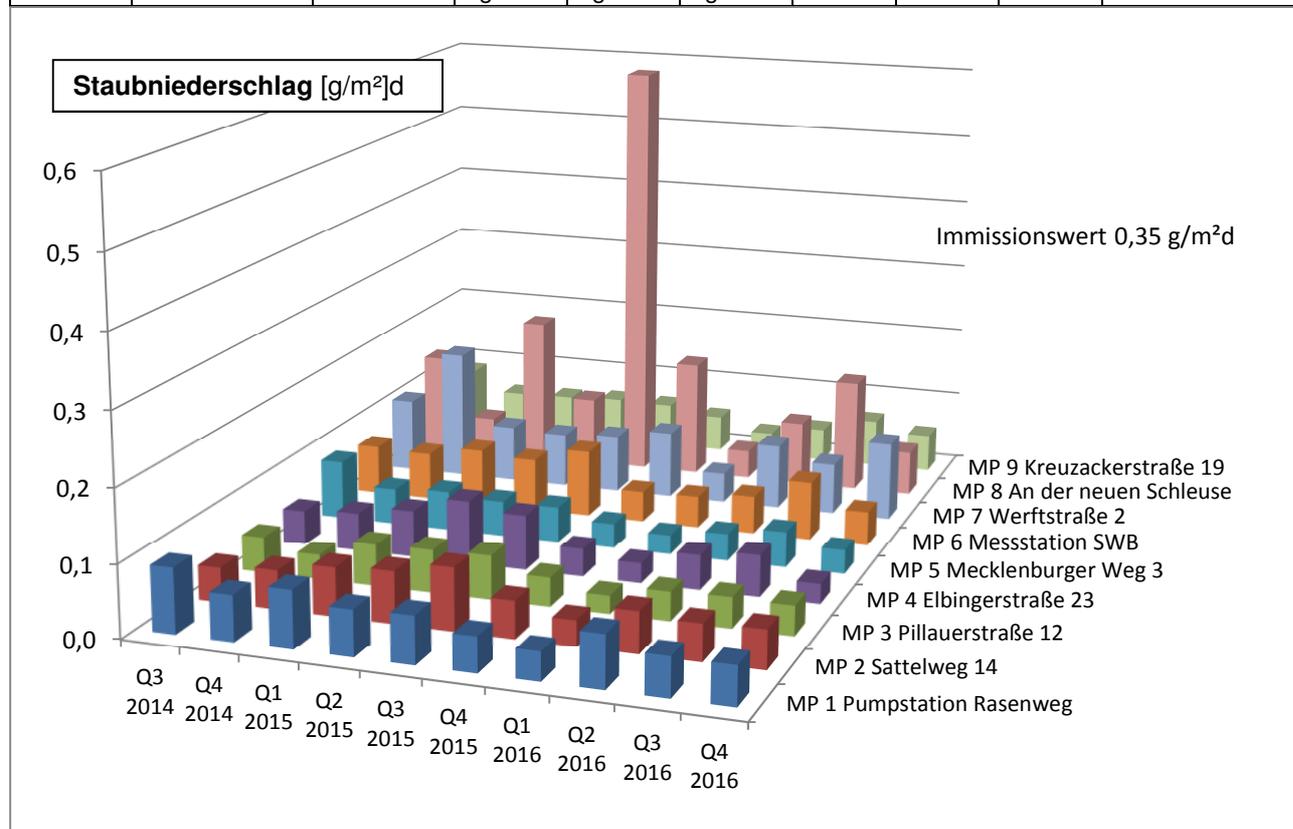


Abbildung 7: Messergebnisse der **Deposition** als Quartalsmittelwerte zusammengefasst
1.7.2014 bis 30.12.2016 (30 Monatsproben/Messpunkt)

6.4 Inhaltsstoffe des Staubniederschlages

6.4.1 Arsen, Cadmium, Blei und Nickel im Staubniederschlag

In der TA Luft [1] werden unter Nr. 4.5.1 Immissionswerte zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen aufgeführt. Diese betragen für Arsen $4 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, für Cadmium $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, für Blei $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ und für Nickel $15 \mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$. Die vorgenannten Immissionswerte gelten als Mittelwert der Deposition des jeweiligen Parameters über ein Jahr. Nach der TA Luft [1] ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch die Deposition der vorgenannten Stoffe, einschließlich dem Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen, sichergestellt, sofern die Gesamtbelastung am Beurteilungspunkt diese Werte unterschreitet.

Die Belastung des Staubniederschlags mit Arsen, Blei, Cadmium und Nickel ist in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Es zeigt sich, dass für alle Messpunkte die Beurteilungswerte der hier diskutierten Metalle im Staubniederschlag unterschritten werden; die Immissionswerte werden mit einer Ausnahme (Cadmium am MP 6 in 2016) zu maximal 35% ausgeschöpft. Wie die nachfolgende Übersicht zeigt, bewegen sich die Schadstoffwerte im Staubniederschlag an allen Messpunkten überwiegend auf einem niedrigen (ländlichen) Niveau [22].

Das Land Niedersachsen gibt für seine Messstationen im ländlichen, vorstädtischen oder städtischen Hintergrund (ohne die Messstation in Oker/Harlingerode) Jahresmittelwerte 2014 (bzw. 2015) für einige Metalle im Staubniederschlag an. Diese liegen für Arsen zwischen $0,17$ ($0,16$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ und $0,37$ ($0,35$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$, für Blei zwischen $2,0$ ($1,9$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ und $3,3$ ($3,8$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$, für Cadmium zwischen $0,06$ ($0,06$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ und $0,23$ ($0,30$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$, für Nickel zwischen $0,72$ ($0,51$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ und $1,26$ ($1,35$) $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ [22] bzw. [26]. Die hier bestimmten mittleren Depositionen von Arsen, Blei, Cadmium und Nickel liegen zum Teil oberhalb dieser Werte.

Übersicht: Messwerte As, Cd, Ni und Pb im Staubniederschlag in $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ im Vergleich

	Bremerhaven MP 1 – MP 9	Niedersachsen (siehe Text)	Ländliches Niveau nach VDI 2267 [22]	Immissionswert nach TA-Luft Nr. 4.5.1
Arsen	0,15 – 1,4	0,16 – 0,37	0,1 – 1,4	4
Blei	3,4 – 15	1,9 – 3,8	10 – 20	100
Cadmium	0,08 – 1,9*	0,06 – 0,30	0,2 – 0,6	2
Nickel	0,75 – 3,4	0,51 – 1,35	1 - 3	15

* nur ein Jahresmittelwert lag $> 0,50 \mu\text{g}/\text{m}^2\text{d}$ (MP 6 in 2016)

Tabelle 17: Messergebnisse der Deposition: **Arsen**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
			TA Luft Nr. 4.5.1	4 µg/(m²·d) Jahresmittelwert	MP 1	0,27 µg/m²d	1,34 µg/m²d	0,23 µg/m²d	
MP 2	0,26 µg/m²d	0,54 µg/m²d	0,23 µg/m²d	7%	14%	6%			
MP 3	0,23 µg/m²d	0,39 µg/m²d	0,15 µg/m²d	6%	10%	4%			
MP 4	0,28 µg/m²d	0,37 µg/m²d	0,19 µg/m²d	7%	9%	5%			
MP 5	0,21 µg/m²d	0,33 µg/m²d	0,20 µg/m²d	5%	8%	5%			
MP 6	0,79 µg/m²d	0,80 µg/m²d	0,31 µg/m²d	20%	20%	8%			
MP 7	0,40 µg/m²d	0,37 µg/m²d	0,45 µg/m²d	10%	9%	11%			
MP 8	0,59 µg/m²d	1,15 µg/m²d	1,36 µg/m²d	15%	29%	15%			
MP 9	0,55 µg/m²d	0,35 µg/m²d	0,36 µg/m²d	14%	9%	9%			

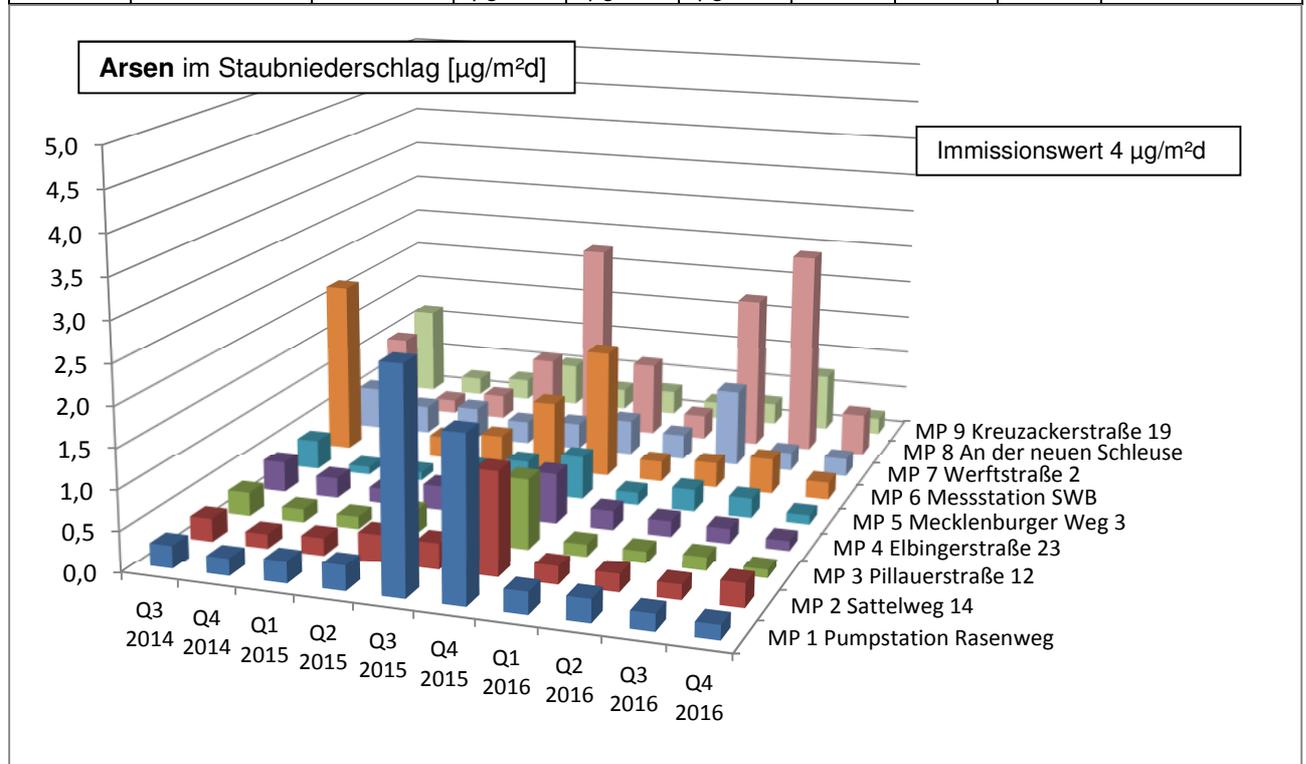


Abbildung 8: Messergebnisse Arsen im Staubniederschlag

Tabelle 18: Messergebnisse der Deposition: **Blei**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
TA Luft Nr. 4.5.1	100 µg/(m²·d) Jahresmittelwert	MP 1	6,1 µg/m²d	10,0 µg/m²d	4,5 µg/m²d	6%	10%	4%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	6,2 µg/m²d	5,3 µg/m²d	4,6 µg/m²d	6%	5%	5%	
		MP 3	6,1 µg/m²d	5,0 µg/m²d	3,4 µg/m²d	6%	5%	4%	
		MP 4	5,9 µg/m²d	5,2 µg/m²d	5,2 µg/m²d	6%	5%	5%	
		MP 5	4,0 µg/m²d	3,9 µg/m²d	3,6 µg/m²d	4%	4%	4%	
		MP 6	10,7 µg/m²d	9,6 µg/m²d	6,8 µg/m²d	11%	10%	7%	
		MP 7	7,0 µg/m²d	6,4 µg/m²d	9,2 µg/m²d	7%	6%	9%	
		MP 8	13,3 µg/m²d	14,0 µg/m²d	13,0 µg/m²d	13%	14%	13%	
		MP 9	15,4 µg/m²d	10,5 µg/m²d	10,6 µg/m²d	15%	11%	11%	

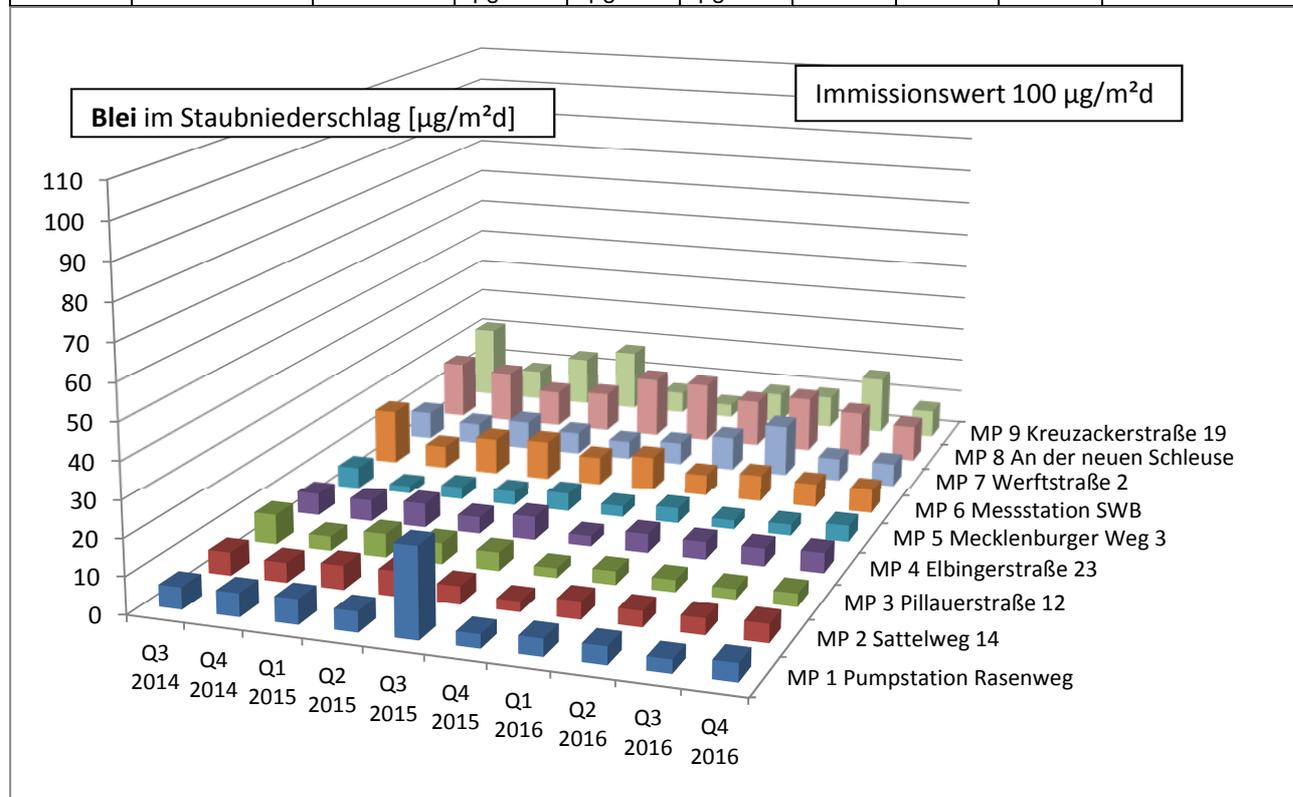


Abbildung 9: Messergebnisse **Blei** im Staubniederschlag

Tabelle 19: Messergebnisse der Deposition: **Cadmium**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
TA Luft Nr. 4.5.1	2 µg/(m²·d) Jahresmittelwert	MP 1	0,14 µg/m²d	0,12 µg/m²d	0,12 µg/m²d	7%	6%	6%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	0,22 µg/m²d	0,15 µg/m²d	0,43 µg/m²d	11%	7%	22%	
		MP 3	0,12 µg/m²d	0,11 µg/m²d	0,21 µg/m²d	6%	6%	10%	
		MP 4	0,15 µg/m²d	0,10 µg/m²d	0,10 µg/m²d	6%	5%	5%	
		MP 5	0,10 µg/m²d	0,08 µg/m²d	0,09 µg/m²d	5%	4%	4%	
		MP 6	0,36 µg/m²d	0,21 µg/m²d	1,87 µg/m²d	18%	10%	94%	
		MP 7	0,14 µg/m²d	0,12 µg/m²d	0,20 µg/m²d	7%	6%	10%	
		MP 8	0,36 µg/m²d	0,29 µg/m²d	0,24 µg/m²d	18%	15%	12%	
		MP 9	0,25 µg/m²d	0,21 µg/m²d	0,13 µg/m²d	13%	10%	7%	

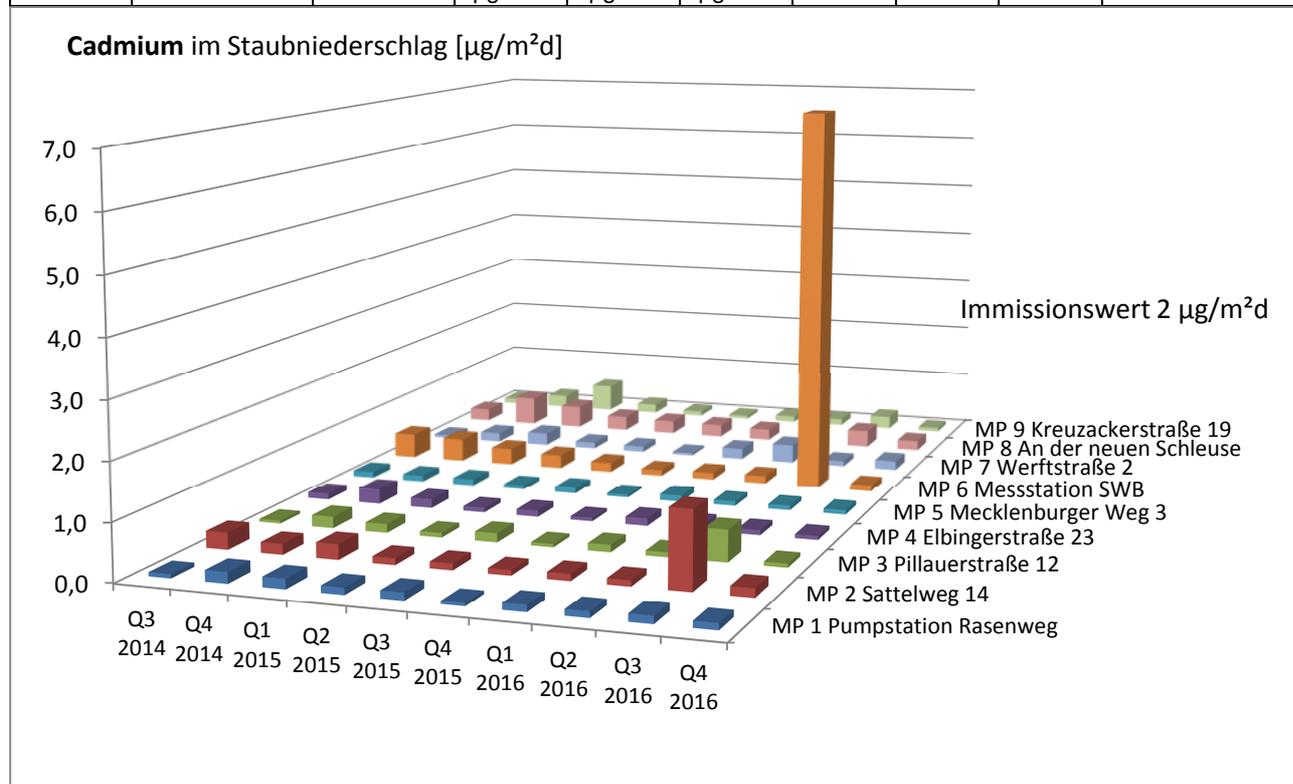


Abbildung 10: Messergebnisse **Cadmium** im Staubniederschlag

Tabelle 20: Messergebnisse der Deposition: **Nickel**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
TA Luft Nr. 4.5.1	15 µg/(m²·d) Jahresmittelwert	MP 1	1,3 µg/m²d	1,1 µg/m²d	0,98 µg/m²d	9%	7%	7%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	1,5 µg/m²d	1,3 µg/m²d	1,0 µg/m²d	10%	9%	7%	
		MP 3	1,2 µg/m²d	0,97 µg/m²d	0,75 µg/m²d	8%	6%	5%	
		MP 4	1,4 µg/m²d	0,83 µg/m²d	0,83 µg/m²d	9%	6%	6%	
		MP 5	1,2 µg/m²d	0,82 µg/m²d	0,75 µg/m²d	8%	5%	5%	
		MP 6	3,1 µg/m²d	1,9 µg/m²d	1,2 µg/m²d	21%	13%	8%	
		MP 7	1,3 µg/m²d	0,88 µg/m²d	1,3 µg/m²d	9%	6%	9%	
		MP 8	3,4 µg/m²d	1,5 µg/m²d	2,5 µg/m²d	23%	10%	17%	
		MP 9	1,7 µg/m²d	0,95 µg/m²d	1,2 µg/m²d	11%	6%	8%	

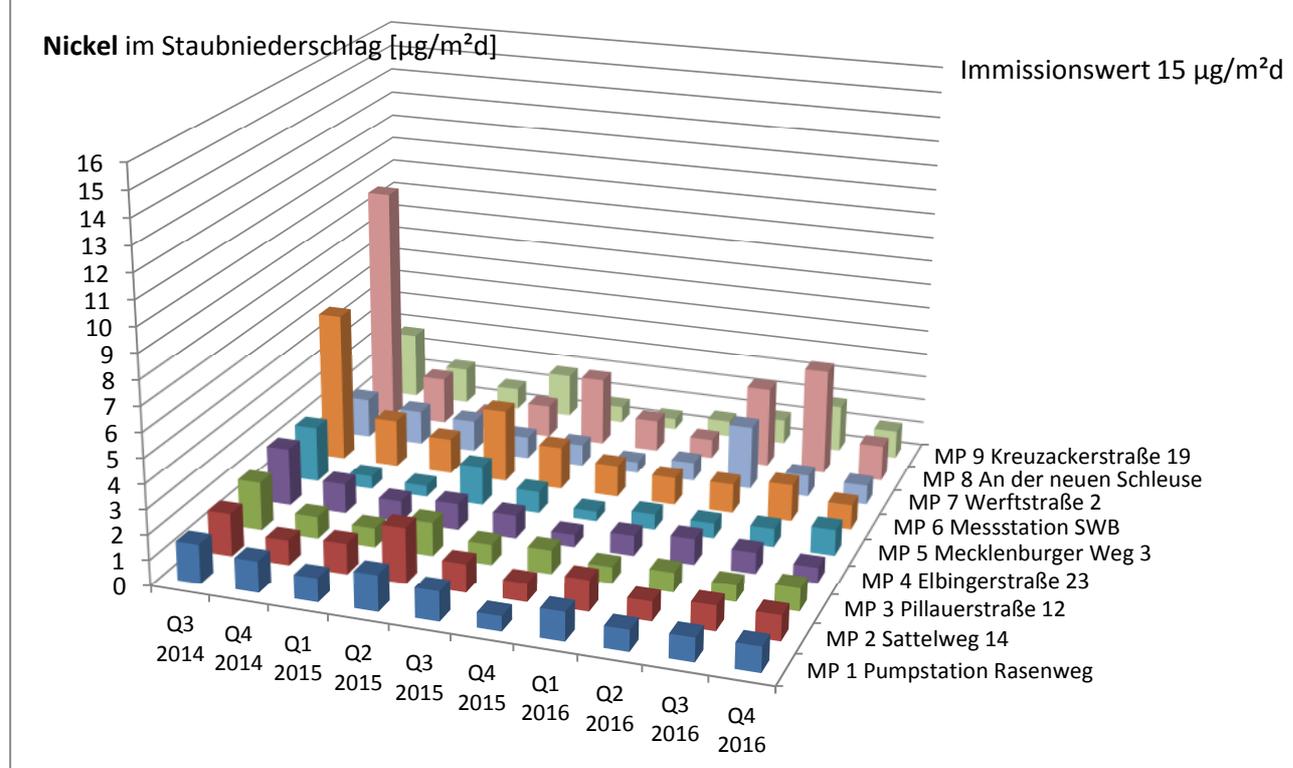


Abbildung 11: Messergebnisse **Nickel** im Staubniederschlag

6.4.2 Kupfer und Zink im Staubbiederschlag

Für die Parameter **Kupfer** und **Zink** im Staubbiederschlag sind in der TA Luft keine Beurteilungskriterien genannt. In Nummer 4.5.1 der TA Luft [1] wird angegeben, dass der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch die Deposition luftverunreinigender Stoffe, einschließlich des Schutzes vor schädlichen Bodenveränderungen, sichergestellt ist, wenn die maßgebenden Prüf- und Maßnahmenwerte des Anhang 2 der Bundes-Bodenschutzverordnung (BBodSchV) [13] eingehalten werden. Die in diesem Anhang aufgeführten zulässigen jährlichen Frachten an Schadstoffen beziehen sich dabei prinzipiell auf § 8 des Bundesbodenschutzgesetzes [14]; sie dienen der "Gefahrenabwehr von schädlichen Bodenveränderungen aufgrund von Bodenerosion durch Wasser" und sind demzufolge nur eingeschränkt als Bewertungsansatz nutzbar. Dies berücksichtigend sind die unter Nummer 5 des Anhanges 2 der BBodSchV [13] angegebenen "zulässigen, zusätzlichen, jährlichen Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade" im Folgenden nochmals dargestellt. Zur Berechnung der Bodenanreicherung über Staubbiedepositionen wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt: Die Dauer der Deposition wird mit 1 Jahr (365 Tage) angenommen und es findet kein Entzug der Stoffe durch Auswaschung, Aufnahme durch Vegetation, o.ä. statt. Aus den Berechnungen errechnet sich für den Parameter Zink eine tolerable Jahresfracht von 1200 g/(ha·a), entsprechend ca. 329 µg/(m²·d). Für den Parameter Kupfer errechnet sich eine tolerable Jahresfracht von 360 g/(ha·a), entsprechend ca. 99 µg/(m²·d) [13].

In den folgenden Tabellen sind die im ausgewerteten Beurteilungszeitraum analog der Nummer 4.6.3 der TA Luft [1] ermittelten Immissions-Jahres-Kenngrößen für die Parameter Zink und Kupfer im Staubbiederschlag an den Beurteilungspunkten aufgelistet und den nach der Nr. 5 des Anhanges 2 der BBodSchV [13] berechneten Werten gegenübergestellt.

Der Beurteilungswert für Kupfer im Staubbiederschlag wird an allen Messpunkten unterschritten. Die Belastung des Staubbiederschlags mit Kupfer bewegt sich auf dem Niveau von städtischen Belastungen (üblicherweise 10 bis 50 µg/m²d). Wie auch für andere Metalle ist die Belastung mit Kupfer an Messpunkt 6 (54 µg/m²d in 2016) am höchsten.

Der Beurteilungswert für Zink im Staubbiederschlag wird an allen Messpunkten deutlich unterschritten. Die Auswertung zeigt, dass sich Zink im Staubbiederschlag an allen Messpunkten auf einem niedrigen (ländlichen) Niveau bewegt (üblicherweise 10 bis 60 µg/m²d). Auch für Zink ist am Messpunkt 6 *Messstation Bremerhaven* die Belastung mit 76 µg/m²d (2015) am höchsten.

Tabelle 21: Messergebnisse der Deposition: **Kupfer**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
Nr. 5 Anhang 2 der BBodSchV	99 µg/(m²·d) Jahresmittelwert der Deposition bei einer tolerablen Jahresfracht nach BBodSchV	MP 1	8,9 µg/m²d	7,0 µg/m²d	6,8 µg/m²d	9%	7%	7%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	9,7 µg/m²d	8,3 µg/m²d	6,1 µg/m²d	10%	8%	6%	
		MP 3	8,9 µg/m²d	6,4 µg/m²d	4,5 µg/m²d	9%	6%	5%	
		MP 4	11 µg/m²d	7,7 µg/m²d	6,1 µg/m²d	11%	8%	6%	
		MP 5	7,0 µg/m²d	6,2 µg/m²d	4,7 µg/m²d	7%	6%	5%	
		MP 6	46 µg/m²d	54 µg/m²d	16 µg/m²d	46%	55%	16%	
		MP 7	9,7 µg/m²d	7,3 µg/m²d	11 µg/m²d	10%	7%	11%	
		MP 8	8,0 µg/m²d	8,7 µg/m²d	5,7 µg/m²d	8%	9%	6%	
		MP 9	16 µg/m²d	11 µg/m²d	13 µg/m²d	16%	11%	13%	

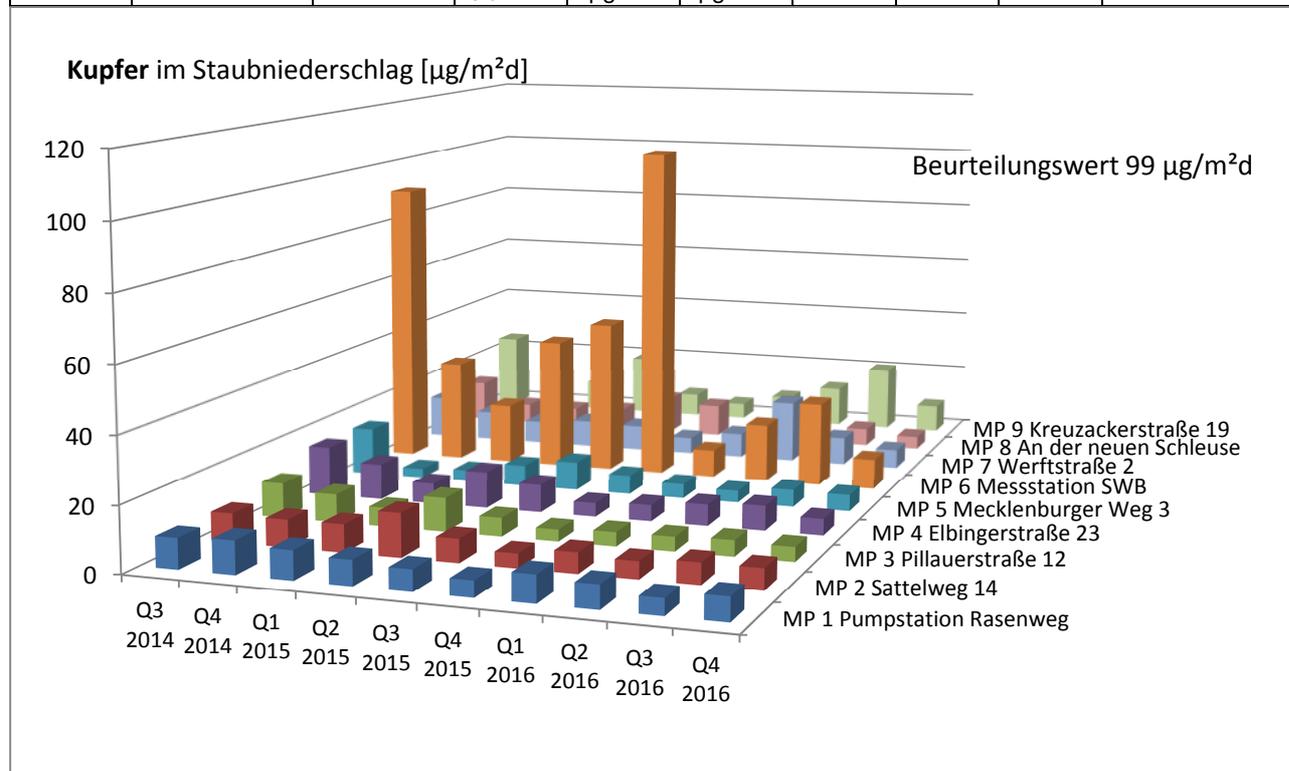


Abbildung 12: Messergebnisse **Kupfer** im Staubniederschlag

Tabelle 22: Messergebnisse der Deposition: **Zink**
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum			Verhältnis der Kenngrößen zum Beurteilungswert			Ergebnis
			7/2014 - 6/2015	2015	2016	7/2014 - 6/2015	2015	2016	
Nr. 5 Anhang 2 der BBodSchV	329 µg/(m ² ·d) Jahresmittelwert der Deposition bei einer tolerablen Jahresfracht nach BBodSchV	MP 1	29 µg/m ² d	27 µg/m ² d	28 µg/m ² d	9%	8%	9%	Das Beurteilungskriterium wird unterschritten
		MP 2	33 µg/m ² d	29 µg/m ² d	44 µg/m ² d	10%	9%	13%	
		MP 3	29 µg/m ² d	24 µg/m ² d	25 µg/m ² d	9%	7%	8%	
		MP 4	36 µg/m ² d	29 µg/m ² d	32 µg/m ² d	11%	9%	10%	
		MP 5	24 µg/m ² d	17 µg/m ² d	26 µg/m ² d	7%	5%	8%	
		MP 6	74 µg/m ² d	76 µg/m ² d	47 µg/m ² d	22%	23%	14%	
		MP 7	33 µg/m ² d	27 µg/m ² d	52 µg/m ² d	10%	8%	16%	
		MP 8	65 µg/m ² d	45 µg/m ² d	55 µg/m ² d	20%	14%	17%	
		MP 9	43 µg/m ² d	35 µg/m ² d	34 µg/m ² d	13%	11%	10%	

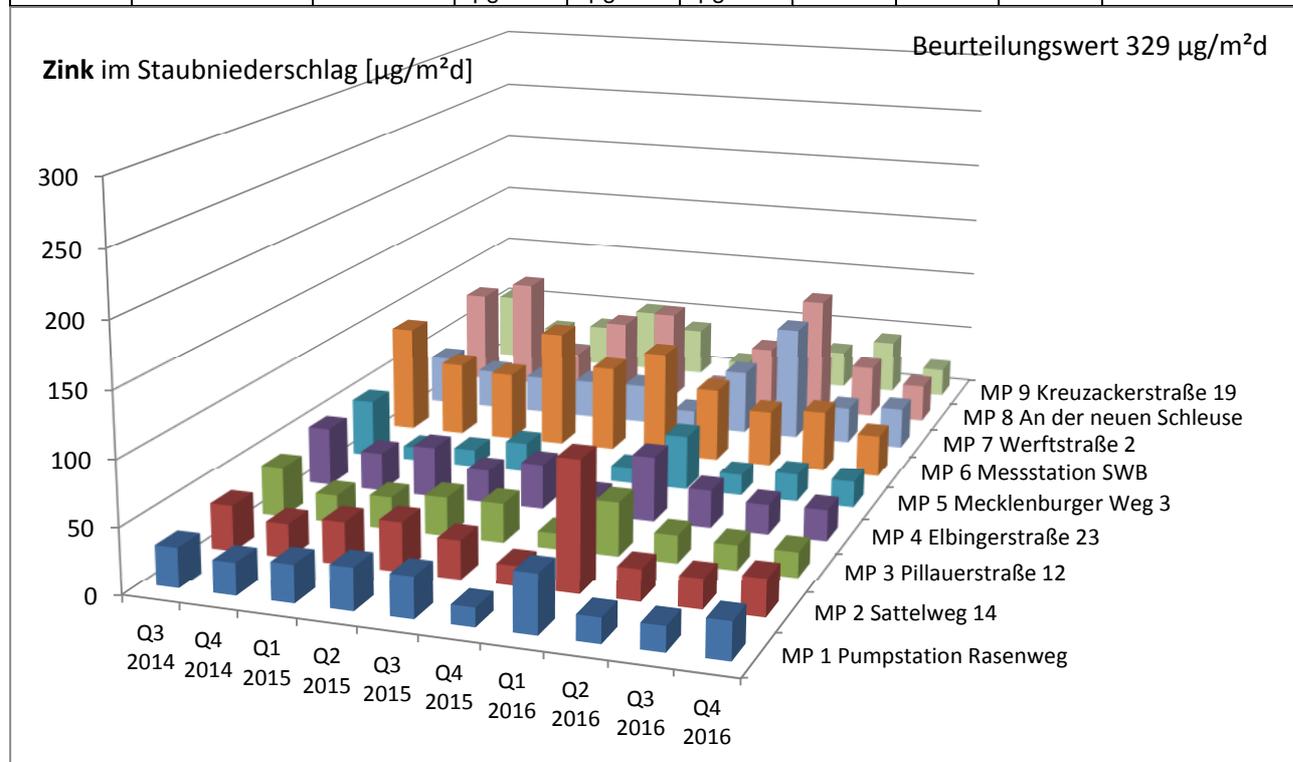


Abbildung 13: Messergebnisse **Zink** im Staubniederschlag

6.4.3 PCDD/PCDF und WHO PCB in Staubniederschlag

Immissionskonzentrationen und Depositionsraten für die Stoffgruppe der **polyhalogenierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF)** sind charakteristische Kenngrößen zur Beschreibung der Luftbelastung bzw. deren möglichen Übergang aus dem Kompartiment Luft z.B. in die Kompartimente Biota (Pflanzen) und Boden. Sie beschreiben damit einen Grundeintrag in diese Kompartimente an einem gegebenen Standort. Ähnlich wie die Immissionskonzentration an PCDD/F in der Außenluft hängt auch die Deposition von PCDD/F von verschiedenen Faktoren wie beispielsweise der Jahreszeit und Emittenteneinflüssen ab.

Aus den gemessenen Depositionswerten wird eine Berechnung der toxischen Äquivalenzwerte I-TEQ und WHO-TEQ unter Verwendung der Internationalen Toxizitätsäquivalentfaktoren (I-TEF von 1988) und Toxizitätsäquivalentfaktoren der WHO (WHO-TEF von 2005 [21]) durchgeführt. Gemäß 17.BImSchV [8] sind die Toxizitätsäquivalente (I-TEQ) ausschließlich als „Lower bound“-Werte auszuweisen, d.h. Kongenere unterhalb der Bestimmungsgrenze gehen mit dem Wert Null in die Toxizitätsäquivalenzberechnung ein. Die Mittelwerte über den Untersuchungszeitraum (I-TEQ und WHO-TEQ) werden aus diesem Grund hier als „Lower bound“-Werte ausgewiesen.

In der DIN EN 1948-3 [9] ist die Berechnung der TEQ-Werte unter Berücksichtigung der Bestimmungsgrenze, d.h. Kongenere unterhalb der Bestimmungsgrenze gehen mit dem vollen Wert der Bestimmungsgrenze in die Toxizitätsäquivalenzberechnung ein („Upper bound“-Ansatz), als auch unter Vernachlässigung der Bestimmungsgrenze („Lower bound“-Ansatz), beschrieben. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse in den Einzelwerttabellen im Anhang des Abschlussberichtes immer in beiden Varianten, d.h. sowohl als „Lower bound“ als auch als „Upper bound“ angegeben.

Für die Parameter PCDD/PCDF sowie WHO-PCB sind in der TA Luft [1] bisher keine Immissionswerte angegeben. Im Jahre 1994 hat der Unterausschuss „Wirkungsfragen“ des Länderausschuss für Immissionen (LAI) den Bericht „Immissionswerte für die Luftschadstoffe PCDD und PCDF“ [15] veröffentlicht, in dem er einen Depositionswert von 15 pg I-TEQ/m²d abgeleitet hat. Dioxinähnliche PCB (WHO- oder coplanare PCB) wurden seinerzeit nicht in die Bewertung miteinbezogen. Als weiterer Beurteilungswert wurde vom LAI im Bericht über die „Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind“ [16] vom September 2004 ein Zielwert für die langfristige Luftreinhalteplanung von 4 pg WHO TEQ/m²d definiert. Hierbei wurden auch die dioxinähnlichen PCB berücksichtigt. Der Depositionswert von 15 pg I-TEQ/m²d dient hingegen noch immer als Orientierungswert für die Sonderfallprüfung nach TA Luft [1]. Der Entwurf zur Überarbeitung der TA Luft vom 09.09.2016 sieht einen Immissionswert von 9 pg WHO TEQ/m²d vor. Dieser Wert berücksichtigt neben den PCDD/F auch die dioxinähnlichen PCB und ist hier der Vollständigkeit halber angegeben.

Die Belastung des Staubniederschlags mit Dioxinen und dioxinähnlichen PCB ist in der Tabelle 23 wie oben beschrieben dargestellt. Es zeigt sich, dass für beide Messpunkte der Beurteilungswert von 4 pg WHO TEQ/m²d deutlich unterschritten wird. Mit einer Ausschöpfung im Bereich von max. 35% bzw. 45% des Beurteilungswertes ist die Belastung an beiden Messpunkten als gering einzustufen.

Veröffentlichte Werte für die Deposition von Dioxinen und dioxinähnlichen PCB im Staubniederschlag an ländlichen und stadtnahen Messstationen für mehrere Messstellen in

Schleswig Holstein in 2009 liegen zwischen 0,5 und 1,5 pg WHO-TEQ_(PCDD/PCDF/PCB)/m²d [17]. Untersuchungen an 7 Messpunkten in Niedersachsen ergeben eine relativ homogene Belastung im Bereich 1,1 bis 1,5 pg WHO-TEQ/m²d [23].

Veröffentlichte städtische Jahresmittelwerte in Nordrhein Westfalen für 2014 bzw. 2015 liegen zwischen 4 bzw. 5 und 7 bzw. 9 pg WHO-TEQ_(PCDD/PCDF/PCB)/m²d [18] [27].

Im Vergleich zu diesen veröffentlichten Daten sind die an beiden Messpunkten ermittelten Belastungen an Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB als oberhalb von ländlichen Hintergrundwerten aber unterhalb von typischen städtischen Werten einzustufen.

Tabelle 23: Messergebnisse: PCDD/PCDF und WHO PCB in der Deposition
Messzeitraum: 1.7.2014 bis 30.12.2016

Bewertung gemäß	Immissionswert / Mittelungszeitraum	Beurteilungspunkt	Ermittelte Kenngrößen im Messzeitraum*			Verhältnis zu Beurteilungsmaßstab			Ergebnis
			7/2014 – 6/2015	2015	2016	7/2014 – 6/2015	2015	2016	
Länderausschuss für Immissionschutz (LAI)	Zielwert 4 pg WHO-TEQ _(PCDD/PCDF/PCB) /m ² d Jahresmittelwert	MP 2	1,2	1,2	1,4	30%	30%	35%	Das Beurteilungskriterium wird <u>unterschritten</u>
		MP 6	1,7	1,8	1,3	43%	45%	33%	

*Lower Bound, d.h. ohne Berücksichtigung von Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze (siehe Text)

7 Messunsicherheit

Neben dem ermittelten Wert der Messgröße ist es erforderlich eine Aussage über die Qualität des Ergebnisses zu machen. Hier gilt es zu beachten, dass der Wert der betrachteten Messgröße grundsätzlich nicht genau bestimmt werden kann. Das Ergebnis der Messung ist stets eine Schätzung für den wahren Wert, welcher grundsätzlich unbestimmbar bleibt. Aus diesem Grund ist eine Aussage über die Messunsicherheit zu machen, d.h. eine Angabe über die Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis der Messung mit dem "wahren" Wert übereinstimmt.

Die Eurofins GfA GmbH hat für die zur Verwendung gekommenen Messverfahren der GfA entsprechende Messunsicherheitsbeiträge ermittelt. Diese wurden auf Grundlage der DIN ENV 13005 [19] "Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen" und mit Hilfe der DIN EN ISO 20988 [20] "Luftbeschaffenheit – Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit" bestimmt. Im Qualitätsmanagementhandbuch der Eurofins GfA sowie in den Verfahrensbeschreibungen des Berichtes sind diese Messunsicherheitsbeiträge dokumentiert.

Eine Zusammenfassung des Untersuchungsberichtes ist im Kapitel 2 dem Bericht vorangestellt.

Eine abschließende Immissionsschutzrechtliche Bewertung obliegt der zuständigen Fach- bzw. Genehmigungsbehörde.

Hamburg, den 28.03.2017



Dr. Klaus Berger
(Projektleiter, fachlich Verantwortlicher)

8 Bibliographie

- [1] TA LUFT, "Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft)," 2002.
- [2] 39. BImSchV - Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes; Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (2010-08)
- [3] DIN EN 12341 „Außenluft – Gravimetrisches Standardmessverfahren für die Bestimmung der PM10- oder PM2,5-Massenkonzentration des Schwebstaubes“ von August 2014, Beuth Verlag
- [4] VDI Richtlinie 2267 Blatt 15. Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft: Messen der Massenkonzentration von Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mn, Ni, Pb, Sb, V und Zn als Bestandteile des Staubniederschlages mit Hilfe der Massenspektrometrie (ICP-MS). November 2005, Beuth-Verlag
- [5] DIN EN 15549: 2008-06: Luftbeschaffenheit - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Benzo[a]pyren in Luft, Beuth Verlag
- [6] VDI Richtlinie 4320 Bl.2 (2012-01) „Messung atmosphärischer Depositionen – Bestimmung des Staubniederschlages nach der Bergerhoff-Methode“, Beuth Verlag
- [7] VDI Richtlinie 2090 Bl. 1: 2001-01: Messen von Immissionen - Bestimmung der Deposition von schwerflüchtigen organischen Substanzen - Bestimmung der PCDD/F-Deposition; Bergerhoff-Probenahme und GC/HRMS-Analyse, Beuth Verlag
- [8] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV) vom August 2003 (zuletzt geändert 2013).
- [9] DIN EN 1948 Bl.3: 2006-06 Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von PCDD/PCDF und dioxin-ähnlichen PCB - Teil 3: Identifizierung und Quantifizierung von PCDD/PCDF, Beuth Verlag
- [10] DIN EN 17025 - Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien von August 2005, Beuth Verlag
- [11] VDI Richtlinie 2267 Blatt 1: 2012-10. Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft - Messen der Elementkonzentration nach Filterprobenahme - Bestimmung von Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ti, V und Zn mithilfe von Grafitrohr-Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS), optischer Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) und der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS), Beuth Verlag
- [12] DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft: MAK- BAT-Werte-Liste 2015, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe
- [13] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung – BBodSchV - Bekanntmachung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom Juli 1999; BGBl.I S.1554.

- [14] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BBodSchG) vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist.
- [15] Bericht des LAI „Immissionswerte für die Luftschadstoffe PCDD und PCDF“ von 1994.
- [16] Bericht des LAI „Bewertung von Schadstoffen, für die keine Immissionswerte festgelegt sind“ von September 2004
- [17] Landesamt für Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig Holstein. 2009. Abschlussbericht über die Bestimmung von PCDD/PCDF und dioxinähnlichen PCB als Bestandteil der Deposition über 6 Monate an den vier Standorten Altendeich, Nortorf, St. Peter Ording und Schleswig.
- [18] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Messergebnisse der Deposition, http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/ber_trend/SN-dioxine_PCB-Trend14-Internet.pdf; aufgerufen am 20.8.2015
- [19] DIN V ENV 13005 "Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen" vom Juni 1999, Beuth Verlag
- [20] DIN EN ISO 20988 "Luftbeschaffenheit - Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit" von September 2007, Beuth Verlag
- [21] van den Berg, M. et al.: The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors of Dioxins and Dioxin-like Compounds; Toxicology Sciences 93 (2006).
- [22] LÜN Jahresbericht 2014: Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen - Jahresbericht 2014. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim - Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG vom 28.05.2015.
- [23] Poster: „dl-PCB-, PCB- und PCDD/F-Immissionsmessungen in Niedersachsen“; Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim - Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG; http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/61908/Poster_zu_den_PCDD_F-Immissionsmessungen_in_Niedersachsen.pdf
- [24] Auskunft des Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim - Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG per email vom 21.08.2015 und 1.3.2017.
- [25] Das Bremer Luftüberwachungssystem – Luftqualität – Jahresbericht 2015. Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Freie und Hansestadt Bremen 2016.
- [26] LÜN Jahresbericht 2015: Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen - Jahresbericht 2015. Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim - Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe - ZUS LLG vom 5.08.2016.
- [27] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Messergebnisse der Deposition, https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/luft/immissionen/ber_trend/SN-dioxine_PCB-Trend15-Internet.pdf; aufgerufen am 10.3.2017