

Analysen
Gutachten
Planungen
Beratung



Integrierte Umweltüberwachung GbR

Ökotoxikologie
Biomonitoring
Umweltüberwachung
Naturschutz

Luftgüte-Rindenmonitoring für ein Screening der Immissionsbelastung Deponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven

von

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

**Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen**

Auftraggeber:

**Magistrat der Seestadt Bremerhaven
- Umweltschutzamt, Herr Lutz Becker
Wurster Str. 49, 27580 Bremerhaven**

Bremen/Dortmund, 28.9.2015

Das Gutachten ist nur in vollständiger Form zugänglich zu machen.

Teile und Auszüge nur mit schriftlicher Genehmigung von TIEM.

Das Gutachten besteht aus 79 Seiten und Anhängen.

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

TIEM Bremen
Ökologiebüro
Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Rennstieg 25 28205 Bremen
Tel.: 0421-706474 Fax: 0421-74106

TIEM Dortmund - Geschäftsstelle
Forstsachverständigenbüro
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen
Hohenzollernstr. 20 44135 Dortmund
Tel.: 0231-2239 5933 Fax: 0231-2239 6548

e-mail: tiem@arcor.de

TEIL I	ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG	1
1.	Einleitung	1
2.	Verfahrensgrundlagen	2
3.	Vorgehensweise	3
4.	Kernergebnisse	7
4.1	Elemente	7
4.2	PAK.....	10
4.3	PCDD/F und PCB (WHO).....	12
5.	Fazit.....	13
TEIL II	AUSFÜHRUNGEN	15
6.	Methodik.....	15
6.1	Luftgüte-Rindenmonitoring.....	15
6.2	Untersuchungsraum	17
6.3	Deponie „Grauer Wall“	20
6.4	Messplan	21
6.5	Probenahme	24
6.6	Analytik	26
6.6.1	Elemente.....	26
6.6.2	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	26
6.6.3	Dioxine und Furane (PCDD/F)	26
6.6.4	Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB)	27
6.7	Auswertung.....	28
6.7.1	Bewertungsgrundlagen	29
6.7.1.1	Abschätzung der bundesweiten Hintergrundbelastung (Basisverteilung)	29
6.7.1.2	Normierung der Immissionsbelastung als Vielfaches der Grundbelastung	30
6.7.1.3	Luftqualitätsindex.....	30
6.7.2	Immissions-Profile	31

6.7.3	Gradienten-Prüfung	31
6.7.4	Räumliche Verteilung der standörtlichen Belastung	33
6.7.5	Einzel-Gradienten in Transektdarstellung.....	34
6.7.6	Stoffmuster	34
7.	Ergebnisse mit Bewertung	35
7.1	Elemente	36
7.1.1	Stoffprofile	36
7.1.2	Mittlere Gradienten.....	36
7.1.3	Ergänzende Darstellungen	38
7.2	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	61
7.2.1	Stoffprofile	61
7.2.2	Gradienten	61
7.3	Dioxine und Furane (PCDD/F)	69
7.4	Polychlorierte Biphenyle (PCB).....	74
8.	Literaturverzeichnis	78
TEIL III	ANHANG.....	1
	Tabellen 4 bis 17	

Teil I Zusammenfassende Darstellung

1. Einleitung

Im Zuge der Erweiterung der Mülldeponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven befürchten Anwohner erhebliche Immissions-Belastungen. Von einer örtlichen Bürgerinitiative wurden Staubwischproben analysiert und darin erhöhte Werte, u.a. zu Pb, angeführt. Offizielle Immissions-Messdaten, auch seitens des Betreibers, lagen nicht vor. Im Hinblick auf eine Klärung der vom Deponiebereich möglicherweise ausgehenden Luftbelastung entschied sich der Magistrat der Seestadt Bremerhaven, die Sachlage über ein Sondermessprogramm näher zu untersuchen. Neben parallel laufenden Immissionsmessungen mit technischen Sammlern beauftragte das Umweltamt am 6.3.2015 *TIEM* Integrierte Umweltüberwachung mit der Durchführung eines Luftgüte-Rindenmonitorings für ein Screening der Immissionsbelastung Deponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven.

Ein derartiges Screening ermöglicht eine Überblicksuntersuchung zur Charakterisierung und Typisierung einer Immissionsbelastung, in der eine möglichst breite Stoffpalette berücksichtigt wird. Ziel ist es, mit einem begrenzten Aufwand zu prüfen, ob es Hinweise auf Belastungen gibt, denen gegebenenfalls dann gezielt für auffällige Stoffe nachgegangen werden kann. Die Kernfragen lauten:

- Sind in der Umgebung der Deponie erhöhte Immissionsbelastungen zu erkennen?
– Wenn ja
- Welche Stoffe sind betroffen?
- Wie hoch fällt die Belastung im Deponieumfeld in Relation zum städtischen, regionalen sowie überregionalen Hintergrund aus?
- Wie lässt sich die Belastung im überregionalen Vergleich zur Hintergrundbelastung von Deutschland bewerten?

Ein Screening stellt damit den ersten Schritt einer stufigen Vorgehensweise in einer Beweisführungskette dar. Eine toxikologische / ökotoxikologische Bewertung ist nicht mehr Bestandteil des Aufgabenbereichs eines Screenings. Das Screening mit dem Rindenmonitoring dient auch nicht dazu, die Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte einzelner Stoffparameter zu prüfen, da hierfür andere, technische Immissions-Messverfahren vorgeschrieben sind; vielmehr hat es Hinweischarakter und ergänzt diese sinnvollerweise.

2. Verfahrensgrundlagen

Die äußere Rinde von Bäumen eignet sich ideal für ein Monitoring von Luftschadstoffen. Sie ist über längere Zeit den Luftschadstoffen ausgesetzt und akkumuliert diese. Mit dem Rindenmonitoring lässt sich daher retrospektiv die über mehrere Jahre integrierte Immissions-Depositionsbelastung auf vergleichbare Weise erfassen und bewerten. Das Verfahren erlaubt einen Relativvergleich der standörtlichen Belastung für zahlreiche akkumulierbare Substanzen, so dass für eine breite Schadstoffpalette geprüft werden kann, inwieweit eine Immissionsbelastung, z.B. im Einflussbereich eines Emittenten, höher ausfällt als in Referenzbereichen. Darüberhinaus zeichnet sich das Luftgüte-Rindenmonitoring dadurch aus, dass eine statistische Abschätzung der Verteilung der bundesdeutschen Hintergrundbelastung für zahlreiche Elemente, PAK und Dioxine/Furane vorliegt, so dass eine entsprechende Einordnung und Bewertung im überregionalen Rahmen möglich wird in das, was in einem hochindustrialisierten Land wie der BRD „normal“ und was „auffällig erhöht“ ist, möglich ist. Seit den 90er Jahren erfolgt die Erfassung der räumlichen Verteilung für viele Stoffe häufig nur noch über Biomonitoringverfahren, hier in Europa und Deutschland in den Umweltbeobachtungsprogrammen des Bundes und der Länder durch das Moosmonitoring (Pesch et al. 2007, Thöni et al. 2013)¹. Das Luftgüte-Rindenmonitoring basiert auf diesen Erkenntnissen und wurde in mehreren FuE-Vorhaben, u.a. des Landes Bremen und des BMBF, in den 90er Jahren speziell für die Emittenten- und Raumüberwachung weiterentwickelt, wissenschaftlich publiziert und auf diversen nationalen und internationalen Fachtagungen präsentiert sowie mehrfach in Deutschland und im Ausland erfolgreich angewendet (Hofmann et al. 1998, 2001, 2010; Hofmann & Schlechtriemen 2014; Birke et al. 2009, 2011; Spangenberg et al. 2002; Guéguen et al. 2011, 2012a, 2012b).

¹ <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/bioindikatoren-von-luftverunreinigungen>

3. Vorgehensweise

Für die Prüfung einer vom Deponiebereich ausgehenden Immissionsbelastung wurde in Anlehnung an VDI 3957-8 (2012) eine Gradientenprüfung über 4 Distanz-Zonen von der näheren bis weiteren Umgebung der Deponie vorgenommen, in denen insgesamt 10 repräsentative Standorte ausgewählt und für das Rindenmonitoring im April 2015 beprobt wurden (Abb. 1). Des Weiteren wurde als überregionale Referenz (5. Zone) die statistische Verteilung der Hintergrundbelastung für Deutschland herangezogen (Hofmann et al. 2001). In den Messplan flossen Prognosen zur Immissionsbelastung der Deponie-Erweiterung gemäß Ausbreitungsrechnung aus den Genehmigungsverfahren ein, so dass die Verteilung von Windrichtung, -stärke und weiteren Faktoren berücksichtigt wurden (TÜV Nord 2010 [1], Abb. 8). Der Messplan wurde auf die Aufgabenstellung der Prüfung eines Immissionseinflusses vom Deponiebereich ausgehend ausgerichtet unter Berücksichtigung der Immissionsbelastung im städtischen und regionalen Umfeld von Bremerhaven und möglicher anderer Quellen im Raum.

Die Deponiefläche gliedert sich in mehrere Bereiche mit unterschiedlicher Nutzung, die zudem noch zeitlichen Veränderungen unterliegen. Weiterhin grenzen unmittelbar westlich andere Betriebe an. Für die anstehende Aufgabenstellung wird als Deponiebereich der räumliche Komplex als Ganzes ohne weitere Differenzierung angesprochen. Als nicht gefasste Flächenquelle mit veränderlicher Nutzung können somit Belastungen aus unterschiedlichen Deponiebereichen stammen, so dass stoffspezifisch Unterschiede im Nahbereich zu erwarten sind.

Das Screening ist kein Beweisverfahren. Es stellt eine Vorstufe mit Hinweischarakter dar, in dem mit begrenztem Aufwand geprüft werden soll, ob für bestimmte Stoffe Hinweise für erhöhte Immissionsbelastungen im Deponienahbereich zu erkennen sind. Im Screening wird bewusst eine breite Stoffpalette berücksichtigt, um in einer ersten Einschätzung Erkenntnisse zur Verteilung möglicher charakteristischer Stoffe in Bezug zum Deponiebereich zu erhalten. Diese können dann gezielt einer umfänglicheren, statistisch abgesicherten Betrachtung unterzogen werden. Zudem ist zu erkennen, wo möglicherweise noch Lücken im Messplan bestehen, die es für ein Gesamtbild zu schließen gälte. Das Screening kann damit auch als Lenkungsinstrument für eine möglichst effiziente und zielgerichtete Messnetzplanung dienen, d.h. Fokussierung auf die potentiell relevanten Stoffe und Optimierung eines Messnetzes. Das Screening ergibt Hinweise darauf, inwieweit ein Immissionseinfluss eines Stoffes erkennbar ist, so dass ein wesentlicher Einfluss nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Wesentlich bedeutet hierbei nicht notwendigerweise „alleinig“. Mögliche andere Quellen im Raum bestehen in der Regel bei den meisten Stoffen und Hinweise darauf werden als „Quereinflüsse“ angesprochen.

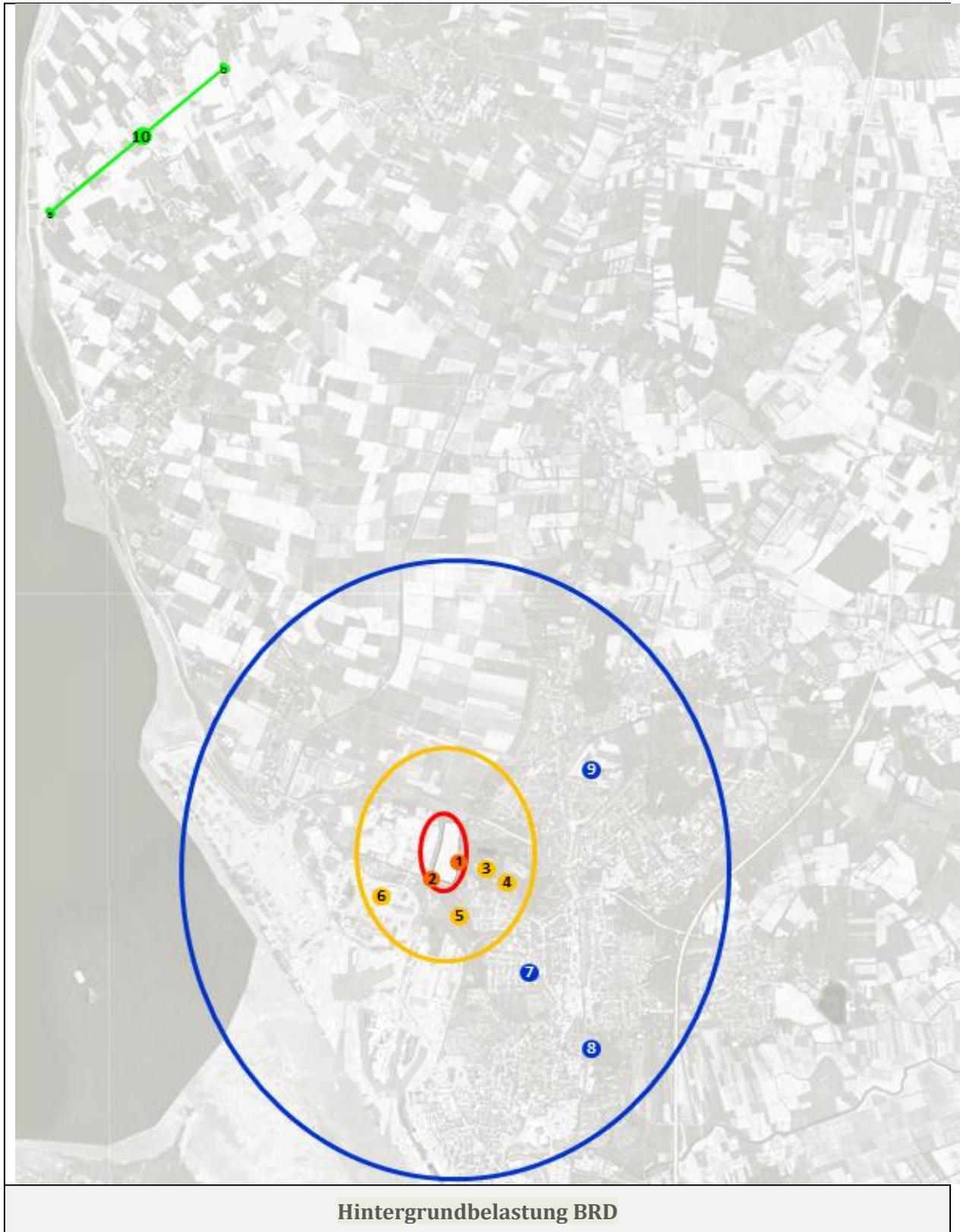


Abb. 1: Messplan Luftgüte-Rindenmonitoring

- | | | |
|---------|----------------|---|
| rot: | Distanzzone 1 | Deponie-Nahbereich < 100 m; |
| orange: | Distanzzone 2 | bis ca. 1 km, Prüfzone für Deponieeinfluss und Quereinflüsse; |
| blau: | Distanzzone 3 | städtischer Hintergrund bis ca. 4 km; |
| grün: | Distanzzone 4: | regionale Referenz > 10 km (norwestlich) |
- Sowie überregionale Hintergrundbelastung BRD (Hofmann et al. 2001)

- **Distanzzone I:** Nahbereich der Deponie bis ca. 100 m Entfernung (**Standorte RM 1 + 2**). Bereich einer Immissionsprognose, Beprobung südlich und östlich der Deponie, das Erholungsgebiet „Speckenbüttler Park“, der als „Gesundheitspark“ ausgewiesen ist, betreffend. Das Erholungsgebiet grenzt dort mit Siedlung und Freizeitanlagen, durch die Neue Aue getrennt, an die Deponie an.
- **Distanzzone II** bis ca. 1 km (**Standorte RM 3-6**). Die Zone stellt eine Prüfzone für erweiterten Deponieeinfluss und Quereinflüsse dar. In dieser Zone befinden sich neben dem Park ausgedehntere Wohnbereiche mit den Messpunkten MP 1-4 der parallelen technischen Immissionsmessungen sowie westlich in Richtung Hafen ausgedehnte Gewerbegebiete, die mit dem Messpunkt RM6 als Quereinfluss berücksichtigt wurden.
- **Distanzzone III** im weiteren Umfeld bis ca. 4 km zur Charakterisierung der städtischen Hintergrundbelastung (**Standorte RM 7-9**).
- **Distanzzone IV** als regionale Referenz in über 10 km Entfernung nördlich (**Standort RM 10**, Standortmischprobe)

Die Prüfung einer vom Deponiebereich ausgehenden Immissionsbelastung erfolgte hierbei über eine mittlere Gradientenprüfung, wobei folgende, voneinander unabhängige Kriterien angelegt wurden:

- Mittlere Gradientenprüfung über die Distanzzonen, d.h. vom Deponiebereich ausgehend über den städtischen Hintergrund zur regionalen Grundbelastung. Einzelständlichen Einflüssen soll im Screening nicht zuviel Gewicht beigemessen werden, so dass diese im mittleren Gradienten ausgeglichen werden und damit ein mittlerer Einfluss aus dem Deponiebereich beurteilt wird.
- Einordnung und Bewertung der Immissionsbelastung im Einflussbereich der Deponie in Relation zur statistischen Verteilung der bundesdeutschen Hintergrundbelastung.

Das Vorkommen der Stoffe in der Umwelt und auch in der Rinde bewegt sich stoffspezifisch in unterschiedlich hohen Konzentrationsbereichen. Für eine vergleichbare Darstellung und Beurteilung wird daher die Immissionsbelastung in Monitoringprogrammen normiert (Thöni et al. 2013) und hier als Vielfaches der Grundbelastung angegeben [Einheit IBR²]. Die Grundbelastung wird über das 10 %-Percentil der Hintergrundbelastung der BRD definiert und repräsentiert damit ein relativ unbelastetes Niveau für ein hochindustrialisiertes Land wie die BRD [IBR = 1]. Die Einheit IBR ist damit ein Maß, das die Umweltveränderung auf vergleichbare Weise anzeigt. Als Hintergrundbelastung wird die „normale“ Verteilung der Immissionsbelastung in der BRD abseits lokaler Spitzenwerte dominanter Emittenten verstanden (Pesch et al. 2007), es beschreibt sozusagen

² IBR Immissions-Belastung Rindenmonitoring

gen die „Immissionslandschaft“ der BRD von niedrig bis höher belasteten Bereichen und schliesst industrialisierte Ballungsräume mit ein. Die Hintergrundbelastung wurde in vorangegangenen Forschungsvorhaben über ein statistisches Schätzverfahren für jeden Stoff ermittelt und liegt als log-normal-Basis-Verteilung vor (Hofmann et al. 2001). Die Bewertung erfolgt hierbei über einen Index LQIR³, in dem die vorzufindende, stoffspezifische Schwankungsbreite der Hintergrundbelastung berücksichtigt wird. Der LQIR stellt ein quantitatives Maß dar, das sich an der Messwerte-Verteilung der BRD-weiten Hintergrundbelastung orientiert. Er erlaubt eine vergleichende Bewertung und Einordnung in die Percentilverteilung. LQIR-Werte bis 10 charakterisieren hierbei ein relativ niedriges Grundbelastungsniveau für ein industrialisiertes Land wie die BRD und geben ein stabiles Bezugsmaß für darüber hinausgehende Immissionsbelastungen an. Als „normale“ Belastung wird ein Bereich bis 90 definiert, d.h. 90% der Hintergrundbelastung für das industrialisierte Deutschland liegen darunter. Immissionsbelastungen, die über diesen normalen Belastungsbereich der BRD hinausgehen und LQIR-Werte über 90 aufweisen, werden als „auffällig erhöht belastet“ bezeichnet. Hierbei nehmen die LQIR Werte proportional zur log-Verteilung zu, so dass besonders hohe und extreme Belastungen entsprechend darstellbar sind.

Die Analyse umfasste ein breites Stoffspektrum, das auch die in den parallelen technischen Immissionsmessungen berücksichtigten Stoffe beinhaltet (6 Schwermetalle, das PAK BaP und die Dioxine mit Furane sowie WHO-PCB):

- **55 Elemente** per Multi-Element-Analytik ICP-MS und Element-Analysator:
Ag, Al, **As**, Ba, Be, Bi, Ca, **Cd**, Ce, Co, Cr, Cs, **Cu**, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hg, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nb, Nd, **Ni**, P, **Pb**, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Yb, **Zn**, Zr
- **17 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)** per GC-MS
Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, **Benzo(a)pyren**, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Coronen, Dibenz(a,h)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren sowie die Summe PAK nach EPA
- **Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)** mittels HRGC/HRMS
Angabe der 17 2,3,7,8-Kongenere, des internationalen Toxizitätsäquivalentes (I-TE) nach Nato/CCMS und des Toxizitätsäquivalentes (TEQ) nach WHO 1998 und 2005
- **Dioxinähnliche PCB (WHO-PCB)** mittels HRGC/HRMS
Angabe der PCB-Kongenere 77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189 und des Toxizitätsäquivalentes (TEQ) nach WHO 1998 und 1997

Das Screening ermöglicht damit eine umfangreiche Prüfung potenziell vom Deponiebereich ausgehender Belastungen. Ausgenommen ist Asbest, das nicht mit erfasst wird.

³ LQIR LuftQualitätsIndex Rindenmonitoring

4. Kernergebnisse

4.1 Elemente

Bei 42 der 55 untersuchten Elemente wurde kein deponieseitiger mittlerer Gradient festgestellt.

13 Elemente waren jedoch in der mittleren Gradientenprüfung auffällig und ließen einen höheren Immissionseinfluss vom Deponiebereich erkennen (Zone I), wobei der Gradient mit der Entfernung stetig über die Zonen in Richtung städtischen Hintergrund und regionaler Referenz abnimmt (Abb. 2). In der Rangfolge der IBR-Werte sind dies:

Molybdän (Mo), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Lithium (Li), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co)

Die Einordnung in die statistische Verteilung der bundesweiten Hintergrundbelastung ergab, dass bei 10 Elementen - **Mo, Sn, Pb, Li, Ni, Mn, Sb, W, Tl, Co** - die Immissionsbelastung im Deponienumfeld hierbei mit LQIR-Werten unter 90 noch einem **normalen, mittleren Belastungsbereich** zuzuordnen ist.

Bei 3 Metallen – **Zn, Cu, Cd** – wird mit LQIR-Werten über 90 eine höhere Immissionsbelastung in der Umgebung des Deponiebereiches festgestellt, die über das 90 %-Percentil der bundesweiten Hintergrundbelastung hinausgeht. Für diese Metalle muss die Immissionsbelastung in der Umgebung der Deponie als **auffällig erhöht** bewertet werden.

Ergänzend wäre noch **Bi (Wismut)** zu erwähnen, das in der Umgebung der Deponie auffällig erhöhte LQIR-Werte anzeigt. Für **Bi** werden allerdings weitere Belastungen in Zone II angezeigt, die im Mittel höher ausfallen, so dass der Gradient abweichend verläuft und primär nicht auf einen Deponieeinfluss hinweist.

Bei der Betrachtung der Grundbelastung der Region spiegelt sich die küstennahe Lage wider (relativ niedrige Belastung bei den meisten Stoffen Richtung Norden, hoher Einfluss bei meerbürtigen Stoffen wie Na (Spray) sowie Einfluss aus der landwirtschaftlichen Nutzung).

Erkennbar werden zusätzliche Immissionseinflüsse **aus anderen anthropogenen Quellen**, denen jedoch in dieser Untersuchung nicht weiter nachzugehen war.

Abb. 2: Auffällige Elemente mit deponieseitig erhöhten mittleren Gradienten der Immissionsbelastung

Molybdän (Mo), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Lithium (Li), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co)

ergänzend: Wismut (Bi) (Belastung im Deponieumfeld auffällig, Gradient abweichend)

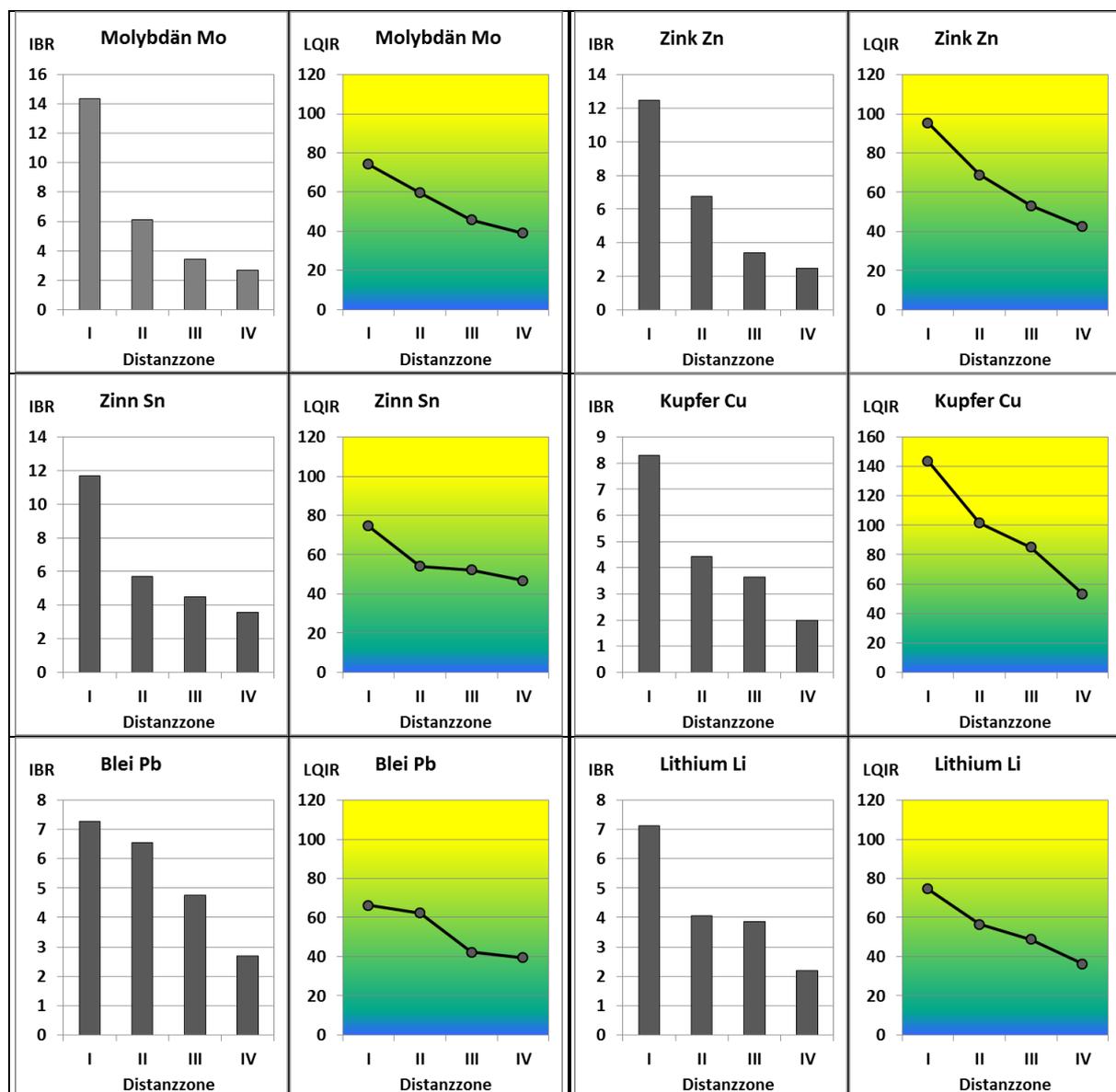
IBR: Immissionsbelastung in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung in der BRD)

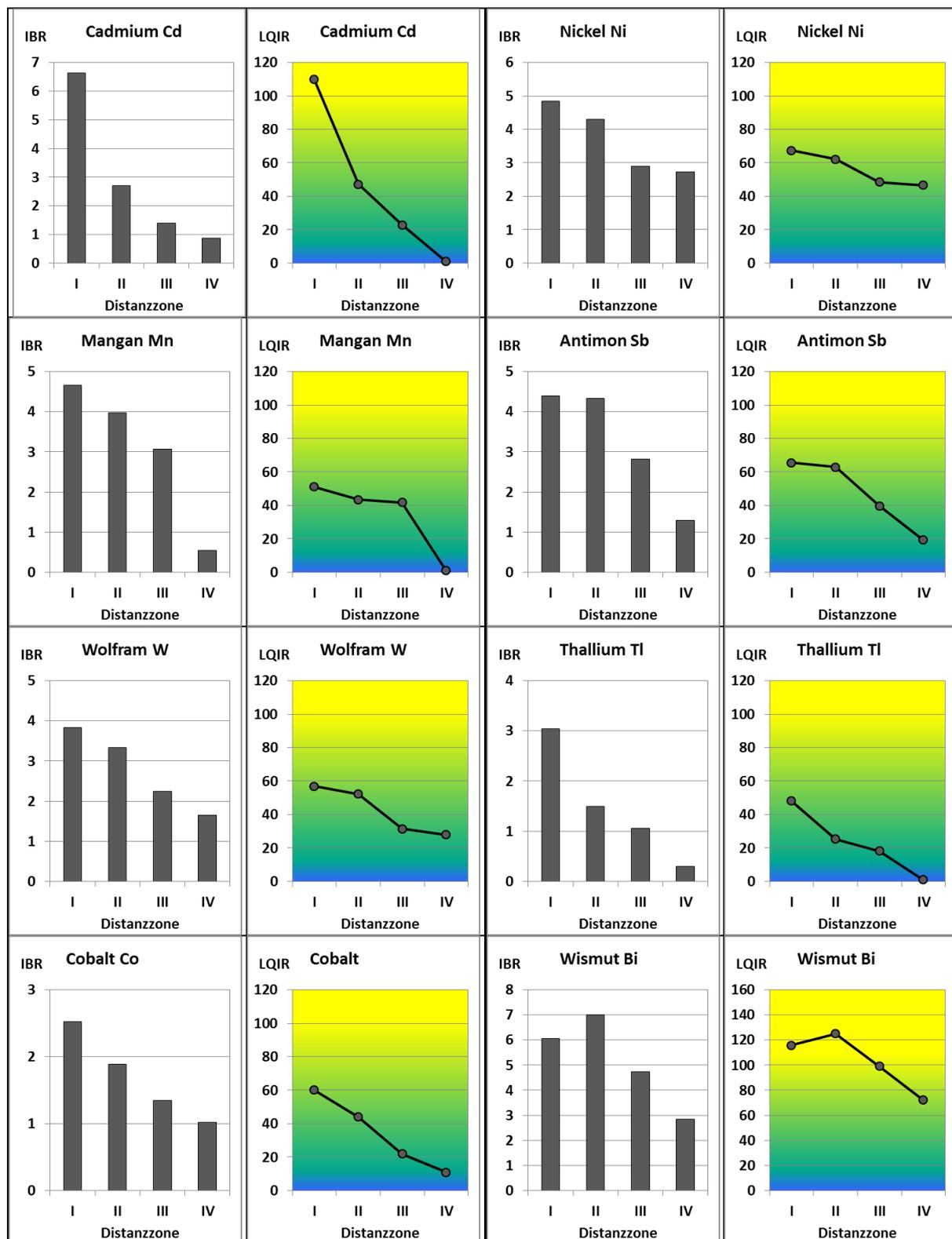
LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Bandbreite der Hintergrundbelastung in Deutschland

<10: Grundbelastung BRD (10%-Percentil) blau
 10-90: mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Percentil) grün, gradiert
 >90: auffällig erhöhte Belastung (>90%-Percentil) gelb

Distanzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis ca. 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)





4.2 PAK

Vorliegend zeigen die PAK insgesamt Schwerpunkte im städtischen Bereich (Zonen I-III) gegenüber der regionalen Referenz auf (Abb. 3, Summe PAK). Für einige wenige PAK ist ein deponieseitiger mittlerer Gradient zum städtischen Hintergrund erkennbar, doch die meisten PAK zeigen die höheren Werte in Zone II und im städtischen Umfeld. PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung mit oftmals quellentypischen Mustern, so dass die gegenläufigen Gradienten der PAK ein Hinweis auf unterschiedliche Einflüsse im Raum sind. Ein deponieseitiger mittlerer Gradient ist bei den PAK nur schwach erkennbar und fokussiert bei den Standortwerten auf den östlichen Nahbereich.

Die Bewertung der Immissionsbelastung im Luftqualitätsindex LQIR im Einflussbereich der Deponie erreicht im mittleren Gradienten LQIR-Werte bis 69, so dass die Belastung der PAK einem normalen, mittleren Belastungsbereich der BRD zugeordnet werden kann. Insgesamt weisen die PAK auf dominante Quereinflüsse abseits des Deponiebereiches bzw. im städtischen Bereich hin.

Abb. 3: Immissionsbelastung der PAK mit wechselseitigen Gradienten

Exemplarische Auswahl: Chrysen, Benzo(a)anthracen (mittlerer deponieseitiger Gradient);
 exemplarisch für andere Verläufe: Benzo(a)pyren, Summe PAK

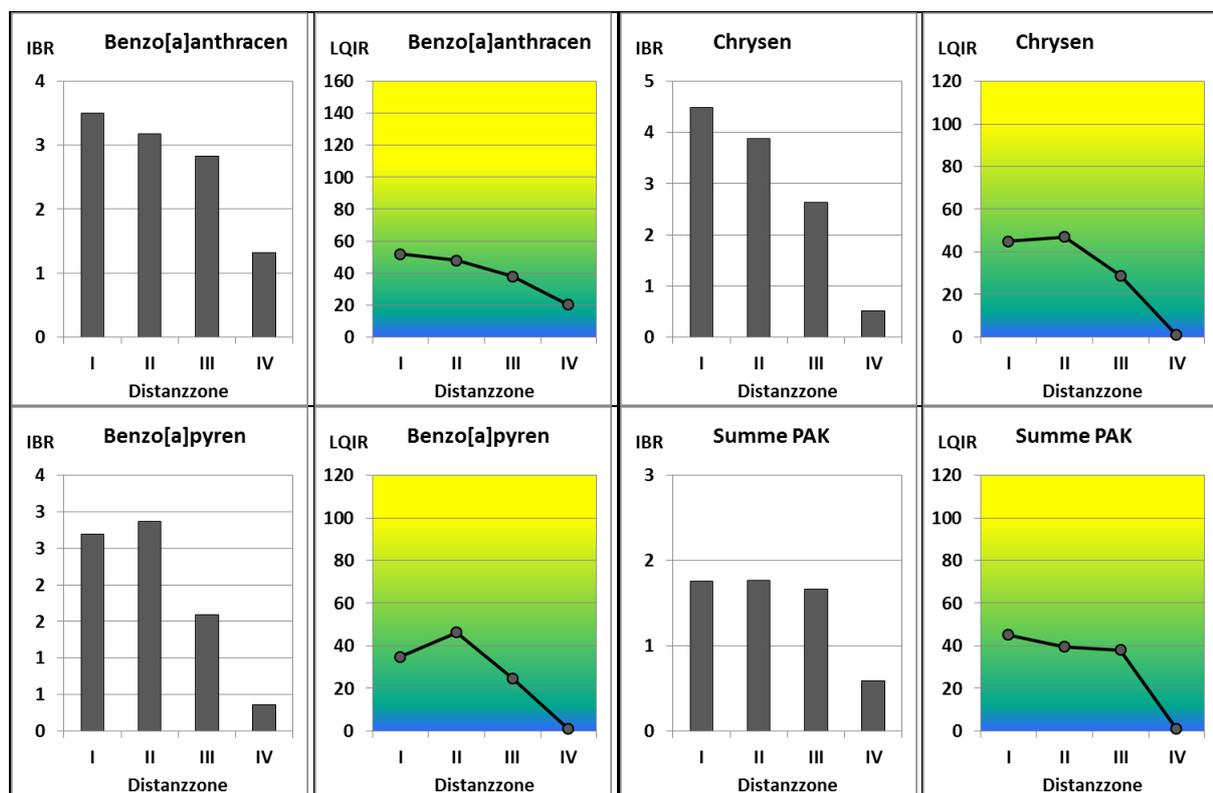
IBR: Immissionsbelastung in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung in der BRD)

LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Bandbreite der Hintergrundbelastung in Deutschland

<10: Grundbelastung BRD (10%-Percentil) blau
 10-90: mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Percentil) grün
 >90: auffällig erhöhte Belastung (>90%-Percentil) gelb

Distanzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis ca. 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)



4.3 PCDD/F und PCB (WHO)

Für die **Dioxine und Furane** sowie den dioxinähnlichen **PCB** wurde ein relativ einheitlich verlaufender Gradient ohne Bezug auf den Deponiebereich festgestellt (Abb. 4, über die Summenparameter dargestellt). Die Ergebnisse in Zone I, dem Nahbereich bis 100 m, liegen unterhalb von Zone II und III. In der mittleren Gradientenprüfung ist somit ein Deponieeinfluss nicht zu erkennen. Die Immissionsbelastung der PCDD/F ist hier nach den LQIR-Werten insgesamt eher als niedrig bis mittel einzustufen und als einem Normalbereich zugehörig zu bewerten.

Die räumlichen Belastungsmuster zeigen abseits der Deponie für einige Parameter der Dioxine und Furane erhöhte Belastungen an, die auf Einfluss aus anders gelagerten Quellen hinweisen.

Abb. 4: Gradienten der PCDD/F und PCB in der Immissionsbelastung ohne Hinweis auf Deponieeinfluss

Exemplarisch anhand Summenparameter: Summe PCDD+PCDF, PCB-TEQ (WHO 205) exkl. BG

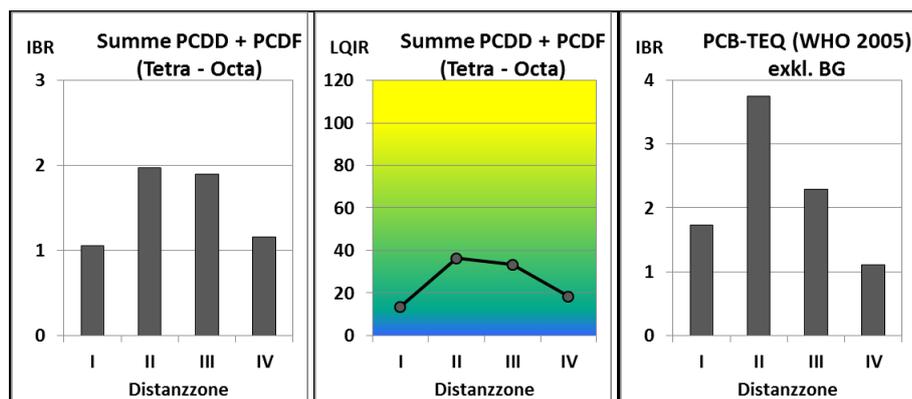
IBR: Immissionsbelastung in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung in der BRD)

LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Bandbreite der Hintergrundbelastung in Deutschland

<10:	Grundbelastung BRD (10%-Perzentil)	blau
10-90:	mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Perzentil)	grün
>90:	auffällig erhöhte Belastung (>90%-Perzentil)	gelb

Distanzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis ca. 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)



5. Fazit

Das Screening der Immissionsbelastung mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring erbrachte folgende Ergebnisse und Hinweise:

1. Für Dioxine, Furane, PCB, 42 der 55 Elemente und den meisten PAK waren im Screening des Luftgüte-Rindenmonitorings keine Anhaltspunkte für auffällige Belastungen in Bezug auf den Deponiebereich erkennbar.
2. Jedoch für die weiteren Elemente und einige PAK wurde in der Umgebung des Deponiebereiches erhöhte Messwerte festgestellt, die einen Einfluss der Deponie nicht ausschliessen lassen.
3. In der mittleren Gradientenprüfung waren bei 13 Elementen eine höhere Immissionsbelastung im Deponieumfeld gegenüber der städtischen Hintergrundbelastung, der regionalen Referenz und der bundesweiten Grundbelastung erkennbar sowie abgeschwächt für einige PAK:

Molybdän (Mo), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Lithium (Li), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co); z.B. Benzo(a)anthracen, Chrysen

4. Im Bewertungsrahmen des Luftgüte-Rindenmonitorings werden hierbei lediglich 3 Elementen eine Immissionsbelastung im Deponie-Nahbereich zugewiesen, die ein normales Maß der bundesdeutschen Hintergrundbelastung deutlich übersteigen (>90 %-Percentil) und auf eine auffällig erhöhte Belastung hinweisen, nämlich:

Zink (Zn), Kupfer (Cu), Cadmium (Cd)

5. Die Bewertung im Vergleich zur bundesweiten Hintergrundbelastung ergab weiterhin, dass die mittlere Belastung im Deponienahbereich für 10 der auffälligen Elemente und PAK noch in einem normalen, mittleren Belastungsbereich (< 90 %-Percentil) einzuordnen ist.

Molybdän (Mo), Zinn (Sn), Blei (Pb), Lithium (Li), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co); PAK

6. Ergänzend sei Wismut (Bi) zu erwähnen, das im Deponieumfeld auffällig erhöhte LQIR-Werte anzeigt, jedoch ein deponieseitiger Gradient nicht differenzierbar ist und damit auf dominante andere Quellen in der Umgebung hinweist.
7. Die Ergebnisse der räumlichen Verteilung der Immissionsbelastung deuten auf über den Deponiebereich hinausgehende, weitere Einflüsse anderer Quellen hin, insbesondere aus südwestlicher bis südöstlicher Richtung kommend und das Stadtgebiet betreffend, denen in dieser Untersuchung nicht weiter nachzugehen war.

8. Die Ergebnisse aus dem Luftgüte-Rindenmonitoring ergänzen die Erkenntnisse aus den bis dato vorliegenden technischen Immissionsmessungen der senatorischen Behörde in mehrfacher Hinsicht, nämlich: Stoffpalette, Messplan und Bewertungsansatz. Für eine aussagefähige Bewertung der Immissionsbelastung durch die Deponie bietet sich die Möglichkeit, die Verfahren zu einem integrierten Monitoring zusammenzuführen.

Teil II Ausführungen

6. Methodik

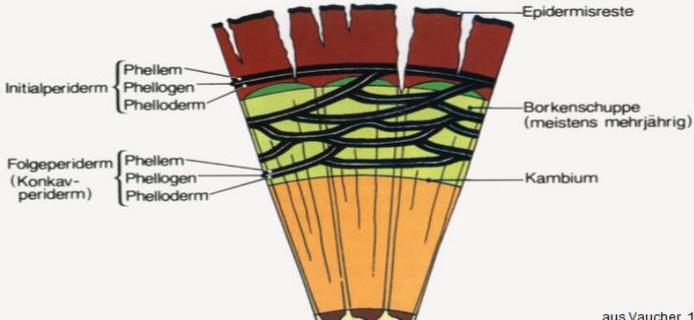
6.1 Luftgüte-Rindenmonitoring

Die äußere Rinde der Bäume ist über längere Zeit Luftschadstoffen ausgesetzt und akkumuliert diese in den äußersten Schichten. Dadurch ist es möglich, die Immissions-Depositionsbelastung in integrierter Weise über die letzten Jahre zu erfassen und mit einer Probenahme zu charakterisieren. Der relevante Akkumulationszeitraum hängt von der Verwitterungsrate der äußersten Rindenschicht ab und beträgt je nach Baumart mehrere Jahre. Durch die Verwitterung verblasst die Bedeutung zurückliegender Immissions-Ereignisse mit den Jahren.

Baumrinde als Akkumulations-Indikator

- Die äußere Rinde (Borke) ist totes Abschlussgewebe und weist gegenüber anderen pflanzlichen + tierischen Akkumulatoren keine Wachstums- und Jahreszyklen auf
 - Standardisierte ganzjährige Beprobung möglich, gute Reproduzierbarkeit
- Langzeit-Akkumulator mit einer langen Integrationszeit von über einem Jahr
 - Die standörtliche Immissionsbelastung lässt sich integrierend mit einer Probenahme rückblickend erfassen





aus Vaucher 1990

Die Luft-Schadstoffe werden vornehmlich in der äußersten Rindenschicht akkumuliert

Abb. 5: Baumrinde als Akkumulationsindikator für Luftbelastung

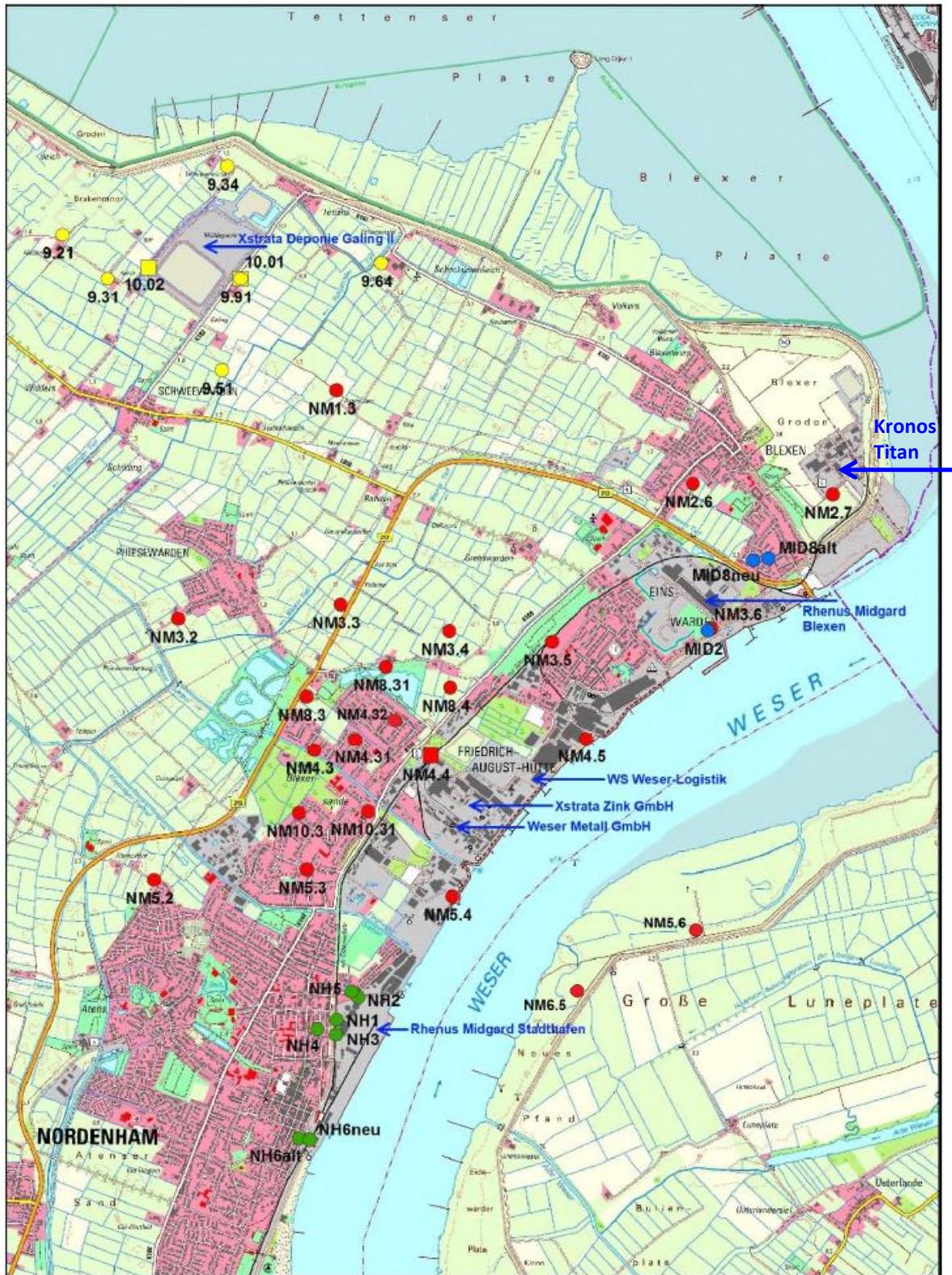
Gegenüber anderen Bioakkumulatoren, wie Blätter, Nadeln, Moose etc., zeichnet sich die äußere Rinde von Bäumen (Borke) dadurch aus, dass diese aus nicht mehr biologisch aktivem Abschlussgewebe besteht, d.h. keine Wachstums- und Stoffwechselfvorgänge mehr aufweist, die Ergebnisse verfälschen können. Im Luftgüte-Rindenmonitoring erfolgt die Probenahme mit einem speziellen Rindenprobenehmer, der eine standardisierte Entnahme von Baumrinde in definierter Schichtdicke unter pro-Analysis-Bedingungen erlaubt, so dass mit einer einzigen Beprobung die Bestimmung der standörtlichen Luftbelastung für zahlreiche akkumulierbare Stoffe auf vergleichbare Weise möglich wird.

In den zurückliegenden Projekten zeigte sich, dass das Verfahren ideal die technischen Immissionsmessverfahren nach TA-Luft/VDI zu ergänzen vermag, die ja erst implementiert und für sichere Aussagen dann noch über einen längeren Zeitraum durchgeführt werden müssen, bevor solide Ergebnisse erwartet werden können (in der Regel 1 Jahr und mehr). Das Luftgüte-Rindenmonitoring hingegen ermöglicht unmittelbare Ergebnisse nach einer Beprobung innerhalb kürzester Zeit. Das Verfahren bietet gegenüber den herkömmlichen Verfahren eine ganze Reihe weiterer Vorteile. Das Verfahren ist vergleichsweise sehr kostengünstig und damit effizient durchzuführen, weil der Aufwand der wiederholt anfallenden Probenahmen und Analytik entfällt und keine teuren Messsysteme und Installationen notwendig sind. Zudem liegen die Schadstoffe in der Rinde konzentrierter vor als in Luft- und Staubproben, was sich günstig auf die Nachweisgrenzen in der Analytik auswirkt. Während mit den Standard-Immissionsmessungen in der Regel nur ein sehr eng begrenztes Schadstoffspektrum dargestellt wird, lässt sich mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring die Immissionsbelastung für eine erheblich umfangreichere Schadstoffpalette mit einer einzigen Beprobung ermitteln (s. Stoffpalette in 6.6). Da das Verfahren im Vergleich zu den technischen Messverfahren kostengünstig ist, kann zudem eine größere Anzahl an Messpunkten einbezogen werden – praktisch überall dort, wo geeignete Bäume als Akkumulatoren stehen.

Aus umfangreichen Untersuchungen in verschiedenen Regionen und Belastungsbereichen in Deutschland liegt eine umfassende Datengrundlage vor, die eine Bewertung der standörtlichen Belastung in einem integrierten Index basierend auf der statistischen Verteilung in Deutschland erlaubt. Die entsprechenden Bewertungsgrundlagen sind in dem F+E-Bericht (Hofmann et al. 2001) ausführlich dargelegt. Das Luftgüte-Rindenmonitoring basiert auf Erkenntnissen u.a. des Moosmonitorings, das seit Anfang der 90er Jahre in Deutschland und zahlreichen europäischen Ländern zur Darstellung der räumlichen Verteilung der Immissionsbelastung angewendet wird (s.u.a Pesch et al. 2007, Thöni et al. 2013). Das Luftgüte-Rindenmonitoring wurde in den 90er Jahren in mehreren F+E-Vorhaben (Land Bremen, BMBF) weiterentwickelt, validiert und in den letzten Jahren mehrfach erfolgreich angewendet (Hofmann et al. 1998, 2001, 2010; Hofmann & Schlechtriemen 2014; Birke et al. 2009, 2011; Guéguen et al. 2011, 2012a, 2012b; Spangenberg et al. 2002). Die Reproduzierbarkeit des Verfahrens aus Doppelbeprobungen wurde im F+E-Vorhaben umfänglich geprüft und lässt sich im Mittel mit einem Varianzkoeffizienten von 14 % angeben (Hofmann et al. 2001). Hierbei konnte gezeigt werden, dass das Luftgüte-Rindenmonitoring sich mit Ausbreitungsrechnungen und anderen Immissions-Messverfahren zu einem integrierten Monitoring kombinieren lässt und über die ermittelten Stoffmuster ein Fingerprinting zur Differenzierung von Einflüssen ermöglicht.

6.2 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum ist gekennzeichnet durch die Küstenlage Bremerhavens an der Wesermündung (s. Übersichtskarte Abb. 6). Die Küstenlinie ist eingedeicht, prägend sind Marschen- und Geestbereiche, die vor allem land- und forstwirtschaftlich genutzt werden. Bremerhaven selbst wird durch ausgedehnte Hafenanlagen dominiert, die verwaltungstechnisch größtenteils Bremen zugeordnet sind. Früher wurde ein Teil des Hafenbereiches für Erzumschlag (mit Halden) genutzt, so dass entsprechende (historische) Immissionsbelastungen anzunehmen sind. Heute stehen Container-, Schwergut und Autoverladung sowie Werften im Vordergrund. Die Deponie „Grauer Wall“ befindet sich im Ortsteil „Speckenbüttel“ im nördlichen Teil Bremerhavens. Nördlich der Deponie verläuft tangential der Verschiebebahnhof der vom Hafen kommenden Bahnlinie, dahinter in Richtung Küste liegen die Landesgrenze und Marschenbereiche mit ausgedehnter landwirtschaftlicher Nutzung. An die Deponie westlich unmittelbar angrenzend befinden sich Gewerbeareale. Weiter westlich bis südwestlich der Küstenlinie entlang erstrecken sich die Hafenanlagen und ebenfalls Gewerbegebiete. Östlich an die Deponie grenzen als Gewässer die „Neue Aue“ und der „Speckenbütteler Park“, der als Gesundheitspark ausgewiesen ist. Hier finden sich im Nahbereich der Deponie diverse Freizeitanlagen, Tierheim, Vereine etc, die z.T. dauerhaft bewohnt sind. Nördlich des Parks liegen Wohngebiete. Weiter nord-östlich gelangt man an die Stadtgrenze und den Ort Langen. Die Autobahn A27 verläuft parallel zur Küste in ca. 3,5 km Abstand von der Deponie. Südlich der Deponie verläuft tangential die Wurster Straße und dahinter befindet sich der Grünzug „Neue Aue“, der durch die Hauptverkehrsader zum Hafen, der Cherbourger Straße, begrenzt wird, die ein hohes Schwerlastaufkommen aufweist und gerade mit umfangreichen Bauarbeiten umgestaltet wird. Größere Asphaltierungsarbeiten fanden jüngst auch auf der Wurster Straße statt. Südöstlich befinden sich Wohngebiete und weitergehend folgen zum Stadtzentrum hin Siedlungsbereiche des Stadtteils Lehe mit Gewerbe-Mischnutzungen, Kleingärten, Grünanlagen, süd-östlich parkähnliche Friedhöfe usw.. Auf der gegenüberliegenden Weserseite befindet sich Nordenham mit mehreren größeren Emittenten, u.a. dem bekannten Immissionsschwerbelastungsbereich um die Blei- und Zinkhütte im südlichen Teil und Blexen im nördlichen, wo auch heute noch regelmäßig Grenzwerte für Schwermetallimmissionen überschritten werden (ZUS LLG 2013, s. Abb. 7). Die Blei- und Zinkhütte liegt ca. 10 km südwestlich der Deponie, so dass potentielle Einflüsse über die Weser hinweg in den südlichen Bremerhavener Bereich und nach Norden abnehmend zu erwarten sind. Die Deponie Galen II und die Titanfabrik liegen am nördlichen Zipfel von Nordenham, ca. 7 km südwestlich der Deponie. Die Titanfabrik mit ihrem hohen Schornstein bewirkt eine großräumige Verteilung der Emissionen. In Bremerhaven selbst wäre die Müllverbrennungsanlage (MHK) mit einem ebenfalls hohen Schornstein zu erwähnen, die am östlichen Rande Bremerhavens an der Autobahn A27 gelegen ist (ca. 5 km süd-östlich der Deponie).



Quelle: Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, © 2011 Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung Niedersachsen (LGLN)

Abb. 7: Lage von Emittenten und Messpunkten des Sondermessprogrammes (SMP) in Niedersachsen zu Nordenham

(Abb. 1 aus ZUS LLG 2013, ergänzt: Kronos Titan)

6.3 Deponie „Grauer Wall“

Die Deponie „Grauer Wall“ wird von der BEG betrieben.⁴ Sie ist ein Unternehmen der Remondis AG & Co KG, die Stadt Bremerhaven ist mit 25 % an der Holding beteiligt. Der Deponiebereich gliedert sich in mehrere Abschnitte mit unterschiedlicher Klassifizierung (I, II) und weist einen bereits begrüneten Altteil sowie im nördlichen Teil ein offenes Zwischenlager für die Bremerhavener Müllverbrennungsanlage auf (Müllheizkraftwerk MHK) (Abb. 8). Die planungsrechtlich abgeschlossene Deponie-Erweiterung soll die Entsorgungssicherheit Bremerhavens über die nächste Dekade gewährleisten, wobei eine Erhöhung auf ca. 50 m geplant ist. Neben Haus- und Siedlungsabfällen werden Verbrennungsrückstände (Schlacke, Filterstäube) aus dem MHK sowie Asbestabfälle eingelagert. Die Einlagerung von Filterstäuben aus dem MHK erfolgt seit 2014 nicht mehr und ist auch nicht mehr zulässig. Zur Verminderung von Staubverdriftung werden die Fahrwege und Bereiche mit Schlackeaufbringung seit einiger Zeit systematisch bewässert. Aus dem Zwischenlager der BEG für die Müllverbrennungsanlage wurden mehrfach unkontrollierte Brandereignisse berichtet, die einen Löscheinsatz der Feuerwehr erforderlich machten⁵. Eine genaue Beschreibung mit umfangreichen Unterlagen zur Deponie und deren Erweiterung findet sich auf der Internetseite der Bremer Umweltbehörde.⁶ Bedenken aus Sicht der Bürgerinitiative gehen aus deren Website hervor.⁷ Für die Ergebnisse der technischen Immissionsmessungen des Sondermessprogrammes durch die Bremer Umweltbehörde siehe ⁸.

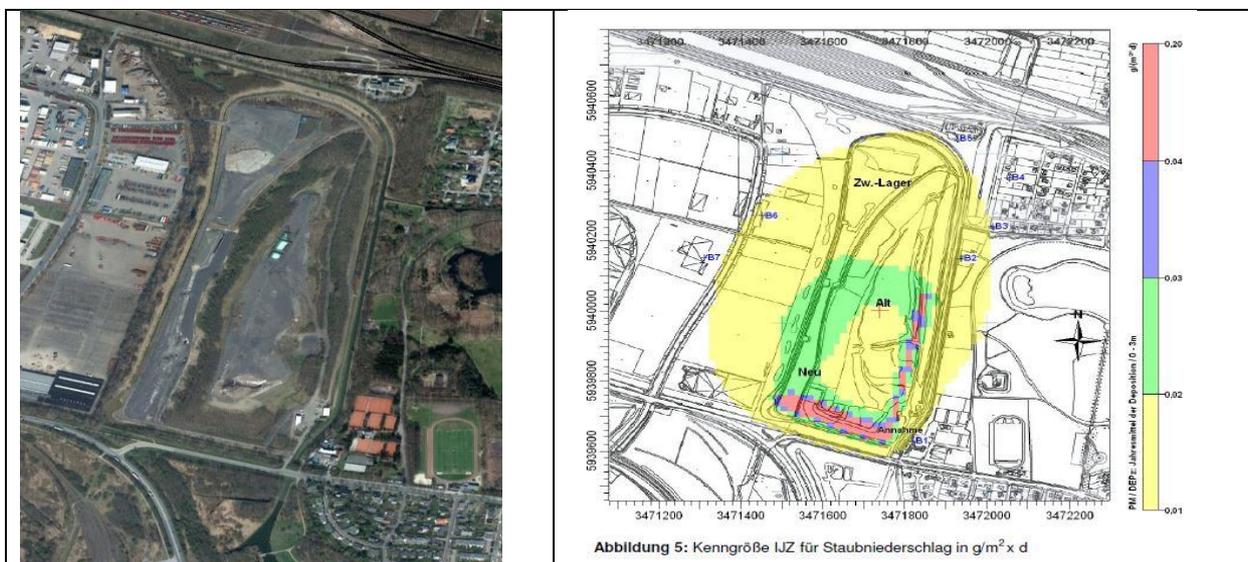


Abb. 8: Deponie „Grauer Wall“

links: Satellitenbild (Google Earth, 2010); rechts: Prognose Staubniederschlag (TÜV Nord 2012)

⁴ <http://www.beg-bhv.de/firmendaten.php>

⁵ https://www.bremische-buergerschaft.de/drs_abo/2015-09-09_Drs-19-59_da569.pdf

⁶ <http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.3573.de>

⁷ <http://www.bikeg.de/>

⁸ <http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.2721.de>

6.4 Messplan

Der Messplan orientiert sich an der Aufgabenstellung eines Screenings. Das Screening stellt eine Überblicksuntersuchung dar, in der mit einem angemessenen Aufwand zunächst einmal ein erster Eindruck über die Immissionssituation gewonnen werden soll und ob Hinweise auf eine Belastung ausgehend vom Deponiebereich zu erkennen ist. Hierbei ist es angezeigt eine breite Stoffpalette einzubeziehen. Ein Screening stellt daher noch kein umfängliches Beweisverfahren dar. Ziel ist sicherzustellen, dass Hinweise auf mögliche Immissionseinflüsse nicht übersehen werden. Diesen kann dann gegebenenfalls in weiteren Untersuchungen gezielt nachgegangen werden.

Für die Prüfung einer vom Deponiebereich ausgehenden Immissionsbelastung wurde in Anlehnung an VDI 3957-8 (2012) eine Gradientenprüfung über 4 Distanz-Zonen von der näheren bis weiteren Umgebung der Deponie vorgenommen. Hierfür wurden insgesamt 10 Standorte für das Screening mit dem Luftgüte-Rindenmonitoring im April 2015 ausgewählt und beprobt (Abb. 1, Abb. 6, Tab. 1, Tab. 4 im Anhang). Des Weiteren wurde als überregionale Referenz die statistische Verteilung der stofflichen Hintergrundbelastung für Deutschland herangezogen (Hofmann et al. 2001).

Der Messplan wurde auf die Aufgabenstellung einer konkreten Prüfung eines möglichen Immissionseinflusses des Deponiebereiches ausgerichtet. Hierbei wird geprüft, inwieweit sich eine höhere Immissionsbelastung im Deponie-Nahbereich gegenüber seiner Umgebung erkennen lässt. Hierzu wird das Umfeld des Deponiebereiches näher betrachtet, so dass sich Hinweise auf weitere Immissionsbelastungen von Bremerhaven und möglicher anderer Quellen im Raum ergeben können. In den Messplan flossen die Prognosen zur Immissionsbelastung der Deponieerweiterung gemäß Ausbreitungsrechnung aus den Genehmigungsverfahren ein (Abb. 8 rechts), so dass die Verteilung von Windrichtung, -stärke und weiteren Faktoren mit berücksichtigt wurden. Die Ausbreitungsrechnung baut vor allem auf dem Sachverhalt der Schlackeausbringung auf, u.a. auch auf die Fahrwege.

Der Deponiebereich stellt eine größere Flächenquelle dar, die in Teilbereiche strukturiert ist und die unterschiedliche Emissionen aufweisen können. Eine auf Messdaten basierte Charakterisierung der hiervon ausgehenden Emissionen war nicht verfügbar. Daher muss, abgesehen von der Windrichtungsverteilung, mit Unterschieden in den Immissionen im Nahbereich, sowohl was die stoffliche Zusammensetzung, als auch die Intensität angeht, gerechnet werden, je nachdem, aus welchem Deponiebereich diese stammen. Um dies zu berücksichtigen, wurden im Messplan zwei Messpunkte im Nahbereich außerhalb des Deponiegeländes (Distanzzone I < 100 m) in unterschiedlichen Windrichtungen berücksichtigt. Ausgehend hiervon wurden Messpunkte in unterschiedliche Richtungen und Entfernungen (Distanzonen II-IV) positioniert, so dass der Verlauf einzelner Gradienten in verschiedene Windrichtungen erkennbar ist. Diese können zu

zwei Transekten, die über den Deponiebereich laufen, zusammengefasst werden. Ein Transekt aus südwestlicher Richtung des Gewerbe- und Hafengebietes über den Deponiebereich in nordöstliche Richtung durch den Park nach Langen. Ein zweites Transekt quer dazu von Nordwesten (regionale Referenz) über den Deponiebereich ins Stadtgebiet nach Südosten. Hierdurch werden verschiedene Windrichtungen, die dominanten Abwindrichtungen, Gegen- und Querrichtungen sowie Quereinflüsse wie z.B. aus dem westlichen Gewerbe- und Hafengebiet berücksichtigt.

Die Messpunkte sind den 4 Distanzzonen wie folgt zugeordnet, so dass eine Gradientenprüfung ermöglicht wird:

- **Distanzzone I:** Nahbereich der Deponie bis ca. 100 m Entfernung. 2 Messorte, RM1 und RM2, im Bereich der Immissionsprognose. RM1 in östlicher Abwindrichtung der Deponie im Erholungsgebiet „Speckenbüttler Park“, der als „Gesundheitspark“ ausgewiesen ist. Das Erholungsgebiet grenzt dort mit Siedlung und Freizeitanlagen, durch die Neue Aue getrennt, an die Deponie an. RM2 liegt am südwestlichen Rand der Deponie.
- **Distanzzone II** bis ca. 1 km. Sie stellt eine Prüfzone für möglichen Einfluss aus dem Deponiebereich (erweiterter Einflussbereich) und potentiellen Quereinflüssen anderer Quellen dar. Einflüsse aus dem Deponiebereich sind hier abgeschwächer als in Zone I zu erwarten (fallender Gradient), während erhebliche Quereinflüsse anderer Quellen im Raum abweichende Gradienten im Raum erwarten lassen. Daraus können sich dann in Zone II Überlagerungen ergeben, die zu standörtlich höheren Werten führen können und sich dann mit Abweichungen im Gradientenverlauf bemerkbar machen. Die Messpunkte RM3 und RM4 liegen östlich im Speckenbüttler Park, der Messpunkt RM4 südöstlich im Park Neue Aue. In dem östlichen Bereich der Distanzzone II befinden sich auch Wohnsiedlungen, in denen die Messpunkte MP1-4 der technischen Immissionsmessungen liegen. Der Messpunkt RM6 wurde in einer Gegenwindrichtung südwestlich der Deponie im Gewerbegebiet Richtung Hafen gelegt, so dass Einflüsse von dort mit berücksichtigt sind.
- **Distanzzone III** im weiteren Umfeld bis ca. 4 km in südöstlicher bis nordöstlicher Abwindlage zur Charakterisierung der städtischen Hintergrundbelastung. 2 Messpunkte befinden sich auf dem südöstlichen Gradienten in das Stadtgebiet Richtung Lehe, RM7 beim Umweltamt und RM8 am Friedhof Lehe. Der Gradient zielt nach Südosten in Richtung Müllverbrennungsanlage, so dass erhebliche Einflüsse hieraus sich im Gradienten bemerkbar machen müssten. RM9 befindet sich auf dem Gradienten nach Nordosten im Stadtgebiet von Langen.
- **Distanzzone IV** dient als regionale Referenz zur Charakterisierung der Grundbelastung im Umland von Bremerhaven. Hierzu wurde ein Standortbereich in über 10 km

Entfernung in nordwestlicher Richtung bei Misselwarden ausgewählt, der eine regionale Referenz repräsentiert und mit einer Standortmischprobe aus 2 Unterstandorten beprobt wurde. Bei der Auswahl wurde die großräumige Verteilung der Hintergrundbelastung im Bremerhavener Umland berücksichtigt, die aus den umfangreichen Rastererhebungen des nationalen Moosmonitorings (Pesch et al. 2007) bekannt sind.

Die Prüfung einer vom Deponiebereich ausgehenden Immissionsbelastung erfolgte hierbei auf mehrfache Weise:

- Mittlere Gradientenprüfung über die Distanzzonen, d.h. vom Deponienahbereich der Zone ausgehend über die Distanzzonen II und III des städtischen Hintergrundes zur regionalen Grundbelastung der Zone IV. Einzelstandörtliche Einflüsse werden hierdurch in einem mittleren Gradienten ausgeglichen, so dass der mittlere Einfluss aus dem Deponiebereich herausgearbeitet wird. Erhebliche Querinflüsse anders lokalisierter Quellen machen sich mit standörtlich höheren Werten und damit im Verlauf des mittleren Gradienten bemerkbar.
- Eine Einordnung und Bewertung der im Nahbereich der Deponie gemessenen Immissionsbelastung in einen überregionalen, bundesweiten Bewertungsrahmen über den Luftqualitätsindex LQIR, der auf der statistischen Verteilung der bundesdeutschen Hintergrundbelastung beruht. Als Hintergrundbelastung wird die Bandbreite der Immissionsbelastung abseits starker lokaler Emittenten in Deutschland verstanden, wie sie z.B. in repräsentativen Rastererhebungen des nationalen Moosmonitorings erhoben wird. Sie umfasst alle Bereiche, von relativ gering belasteten (Grundbelastung) bis höher belasteten, industrialisierten Städten und Ballungsräumen.
- Ergänzende Darstellung der standörtlichen Ergebnisse in ihrer räumlichen Lage und über die Transsekte für die einzelnen Gradienten in unterschiedliche Richtungen.

Tab. 1: Distanzzonen der Gradientenprüfung mit Probenstandorte im Luftgüte-Rindenmonitoring

Distanzzonen			Probenstandorte Rindenmonitoring (RM)	
Distanzzone I	< 100 m	Deponie-Nahbereich, Bereich einer Immissions-Prognose gemäß Ausbreitungsrechnungen	1 2	Speckenbütteler Park Grünstreifen südl. Deponie
Distanzzone II	bis 1 km	Prüfzone für erweiterten Einflussbereich ⁹ und Quereinflüsse	3 4 5 6	Speck.Park, Mitte Speck. Park, Ost Grünzug Neue Aue Baumgruppen Grünfläche, Gewerbegebiet
Distanzzone III	bis ca. 4 km	Städtische Hintergrund-Belastung	7 8 9	Park Umweltamt Friedhof Lehe III Park Langen
Distanzzone IV	> 10 km	Regionale Referenz	10	Mischprobe (2 Unterstandorte) im ländlichen Umland > 10 km nordwestlich bei Misselwarden
		Bundesweite Hintergrund-Belastung		Statistische Verteilung der bundesweiten Hintergrundbelastung (Hofmann et al. 2001, Birke et al. 2009)

6.5 Probenahme

Die Probenahme wurde nach Freigabe im April bis Mai 2015 auf standardisierte Weise nach dem Verfahren des Luftgüte-Rindenmonitorings (Hofmann et al. 2001) durchgeführt (s. Tab. 4 im Anhang). Hierfür wird ein spezieller Probenehmer verwendet, der eine Entnahme der äußeren Rinde in einer definierten Schichtdicke bis 1 mm auf standardisierte Weise erlaubt. Die Entnahme erfolgte omnidirektional in ca. 1,5 m Höhe unter Vermeidung von Kontamination. Es wurden pro Standorte mehrere Bäume beprobt, so dass eine Mindestentnahmemenge von 30 g der äußeren Rinde gewährleistet wurde. Hierbei wurde auf eine möglichst vergleichbare Exposition geachtet, so dass der Relativ-

⁹ Im östlichen Bereich der Zone II (RM 3-5) befinden sich die Messstandorte MP1-4 des Immissionsmessprogrammes als Einflussbereich bezeichnet

vergleich in der Gradientenprüfung möglichst wenig beeinflusst wird. In dem Vorhaben wurden Bäume in parkartigen, meist gruppierten Verhältnissen berücksichtigt. Die Exposition ist im Standardbereich anzusiedeln (Expositionsgrad 3-4 auf 6-stufiger Skala). Beprobt wurden Standardbaumarten mit vergleichbarer Rindenstruktur und Akkumulationsverhalten wie Eiche, bei denen mit einer mittleren mehrjährigen Standzeit der äußeren Borkenschicht gerechnet werden kann (Hofmann et al. 2001), wobei der Einfluss geringer wird je weiter zurückliegend. In Abb. 9 wird die Probenahme veranschaulicht.



Abb. 9: Standardisierte Entnahme der äußeren Rinde zum Luftgüte-Rindenmonitoring mit dem Rindenprobenehmer (Standort RM1)

6.6 Analytik

Die Rindenproben wurden im Labor Indikator GmbH getrocknet, homogenisiert und dann für die verschiedenen Analyseverfahren entsprechend aufgeteilt. Die Ergebnisse sind auf Trockengewicht (TG) bezogen. Bei den Stoffgruppen mit auffälligen Gradienten (Elemente, PAK) wurden Parallelenproben analysiert, so dass Messfehler des Verfahrens mit berücksichtigt wurden.

6.6.1 Elemente

Es wurden insgesamt 55 Elemente in den Rindenproben als Parallelproben analysiert, mit enthalten waren auch die 6 Metalle der technischen Immissions-Messungen des Sondermessprogrammes (fett):

Ag, Al, **As**, Ba, Be, Bi, Ca, **Cd**, Ce, Co, Cr, Cs, **Cu**, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ge, Hg, Ho, K, La, Li, Lu, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nb, Nd, **Ni**, P, **Pb**, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sm, Sn, Sr, Tb, Th, Ti, Tl, Tm, U, V, W, Yb, **Zn**, Zr

Die Multi-Element-Analytik per ICP-MS wurde im akkreditierten und mit der Matrix erfahrenen Labor Indikator GmbH (M. Duve) vorgenommen. Hierzu wurden ca. 1 g des homogenisierten und gefriergetrockneten Probenmaterials verwendet. Die Analytik auf S und N erfolgte per Elementanalysator (LECO) im Thünen-Institut (A. Giesemann [S]) und im UFT (T. Eickhorst [N]). Eine ausführliche Beschreibung der Analytik findet sich bei Hofmann et al. (2001). Die Analysenwerte sind zur Einhaltung einer optimalen relativen Genauigkeit über einen mitlaufenden internen Rindenstandard (RS2) kalibriert und in mg/kg TG (Trockengewicht) bezogen angegeben.

6.6.2 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Analysiert wurden die 17 polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) nach EPA vom Bremer Umweltinstitut, das nach DIN EN 45001 für die Prüfverfahren PAK in Holz und Staub akkreditiert (DACH, Deutsche Akkreditierungsstelle Chemie) und mit der Matrix erfahren ist. Die Analyse erfolgte als Parallelprobe mittels GC-MS unter Angabe folgender Parameter; die Analyseergebnisse sind über den internen Rindenstandard (RS2) kalibriert und in der Einheit mg/kg TG angegeben:

Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(g,h,i)perylene, Benzo(k)fluoranthen, Chrysen, Coronen, Dibenz(a,h)anthracen, Fluoranthen, Fluoren, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren sowie die Summe PAK nach EPA

6.6.3 Dioxine und Furane (PCDD/F)

Die Bestimmung der Dioxine und Furane (PCDD/F) erfolgte durch das akkreditierte Labor Wessling, das mit der Matrix vertraut ist. Hierzu wurden ca. 10 g getrocknetes und

homogenisiertes Probenmaterial verwendet und mittels HRGC/HRMS analysiert. Angabe der 17 2,3,7,8-Kongenere, der Homologensumme der tetra-bis heptachlorierten Dibenzodioxine und -furane, des internationalen Toxizitätsequivalentes (I-TE) nach Nato/CCMS, des Toxizitätsequivalentes (TEQ) nach WHO 1998 und 2005. Die Analyseergebnisse wurden über den internen Rindenstandard (RS2) kalibriert und in der Einheit ng/kg TG angegeben. Die rechnerischen Werte betreffen stoffgruppenbezogene Summenwerte sowie nach Toxizitätsäquivalenten gewichtete Summen, die sich in ihrer Wichtung unterscheiden.

POLYCHLORDIBENZO-DIOXINE	POLYCHLORDIBENZO-FURANE	RECHNERISCHE WERTE
Summe Tetra-CDD	Summe Tetra-CDF	PCDD (Tetra - Octa)
Summe Penta-CDD	Summe Penta-CDF	PCDF (Tetra - Octa)
Summe Hexa-CDD	Summe Hexa-CDF	Summe PCDD + PCDF
Summe Hepta-CDD	Summe Hepta-CDF	Summe TE (BGA)
Octa-CDD	Octa-CDF	Summe TE (I-TE)
2,3,7,8-TCDD	2,3,7,8-TCDF	TEq (WHO 1997)
Übrige TCDD	Übrige TCDF	
1,2,3,7,8-PeCDD	1,2,3,7,8-PeCDF	
Übrige PeCDD	2,3,4,7,8-PeCDF	
1,2,3,4,7,8-HxCDD	Übrige PeCDF	
1,2,3,6,7,8-HxCDD	1,2,3,4,7,8-HxCDF	
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1,2,3,6,7,8-HxCDF	
Übrige HxCDD	2,3,4,6,7,8-HxCDF	
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1,2,3,7,8,9-HxCDF	
Übrige HpCDD	Übrige HxCDF	
	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	
	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	
	Übrige HpCDF	

6.6.4 Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die Bestimmung der dioxinähnlichen PCB (WHO-PCB) erfolgte durch das akkreditierte Labor Wessling. Hierzu wurden ca. 10 g getrocknetes und homogenisiertes Probenmaterial aufgeschlossen und mittels HRGC/HRMS analysiert. Die Analyse erfolgt in Zusammenhang mit der PCDD/F-Analytik. Die Analyseergebnisse wurden in der Einheit ng/kg TG angegeben. Die PCB werden erst neuerdings mit analysiert, so dass hier keine bundesweiten Vergleichswerte vorliegen. Angabe folgender PCB-Kongenere:

77, 81, 126, 169, 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189

Toxizitätsäquivalent (TEQ) nach WHO 1998 und 1997

6.7 Auswertung

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte nach den Vorgaben aus dem Forschungsvorhaben zum Luftgüte-Rindenmonitoring (Hofmann et al. 2001).

Artspezifische Unterschiede im Akkumulationsverhalten werden durch einen Bezug der Rindengehalte auf eine Standardbaumart berücksichtigt. Dies erfolgt für die Stoffkonzentrationen über Äquivalenzfaktoren (EF), mit denen die Konzentrationswerte multipliziert werden (Hofmann et al. 2001). In der vorliegenden Untersuchung wurden nur Baumarten mit vergleichbarem Akkumulationsverhalten zur Standardbaumart Eiche beprobt, so dass keine Äquivalenzfaktoren anzulegen waren (EF = 1).

Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurden in der Auswertung mit $\frac{2}{3}$ der NWG berücksichtigt.

Für eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse wird die Immissionsbelastung für jeden Stoff normiert als ein Vielfaches der Grundbelastung in der Einheit IBR angegeben (IBR: Immissionsbelastung Rindenmonitoring). Die Grundbelastung der BRD ist über den 10 %-Perzentilswert der statistischen Verteilung der bundesweiten Hintergrundbelastung definiert. Dies stellt ein objektives Maß für die Veränderung der Umweltbelastung unter Immissionseinfluss gegenüber einem relativ unbelasteten Zustand dar und ist als ein übliches Verfahren in den Umweltwissenschaften anerkannt, das normierte Vergleiche erlaubt. Unter Hintergrundbelastung wird die Immissionsbelastung abseits starker lokaler Emittenten verstanden. Die Hintergrundbelastung wurde in vorangegangenen Forschungsvorhaben statistisch für jeden Stoff ermittelt, über eine log-normal-Basis-Verteilung exakt definiert und liegt damit vor (Elemente, PAK: Hofmann et al. 2001; PCDD/F: Birke et al. 2009). Die Bewertung erfolgt hierbei über einen Index LQIR (Luftqualitätsindex Rindenmonitoring), in dem die vorzufindende, stoffspezifische Schwankungsbreite der Hintergrundbelastung berücksichtigt wird. Der LQIR stellt ein quantitatives Maß dar, das sich an der Messwerte-Verteilung der BRD-weiten Hintergrundbelastung orientiert. Diese bezieht die Bandbreite der Immissionsbelastung, von relativ niedrig bis hoch belasteten Bereichen von industrialisierten Städten und Ballungsräumen ein. Sie wurde unter Einbeziehung repräsentativer Standorte der Immissionsmessnetze des Bundes, der Länder, des Level II-Monitoringprogrammes ermittelt. Der Index erlaubt darüber eine vergleichende Bewertung und Einordnung. LQIR-Werte bis 10 charakterisieren ein niedriges Grundbelastungsniveau (10 %-Perzentil). Als „normale“ Belastung wird in dieser Untersuchung ein Bereich bis 90, dem 90 %-Perzentil entsprechend, angenommen, d.h. 90 % der bundesweiten Hintergrundbelastung liegen darunter. Immissionsbelastungen, die über diesen normalen Belastungsbereich der BRD hinausgehen und LQIR-Werte über 90 aufweisen, werden als „auffällig belastet“ bezeichnet. Hierbei nehmen die LQIR Werte proportional zur log-Verteilung zu, so dass besonders hohe und extreme Belastungen entsprechend darstellbar sind.

Die folgende Abb. 10 veranschaulicht die Normierung in der Einheit IBR für eine stoffübergreifende Darstellung der Immissionsbelastung und die Grundlagen des Bewertungsverfahrens, weitere Ausführungen finden sich bei Hofmann et al. (2001):

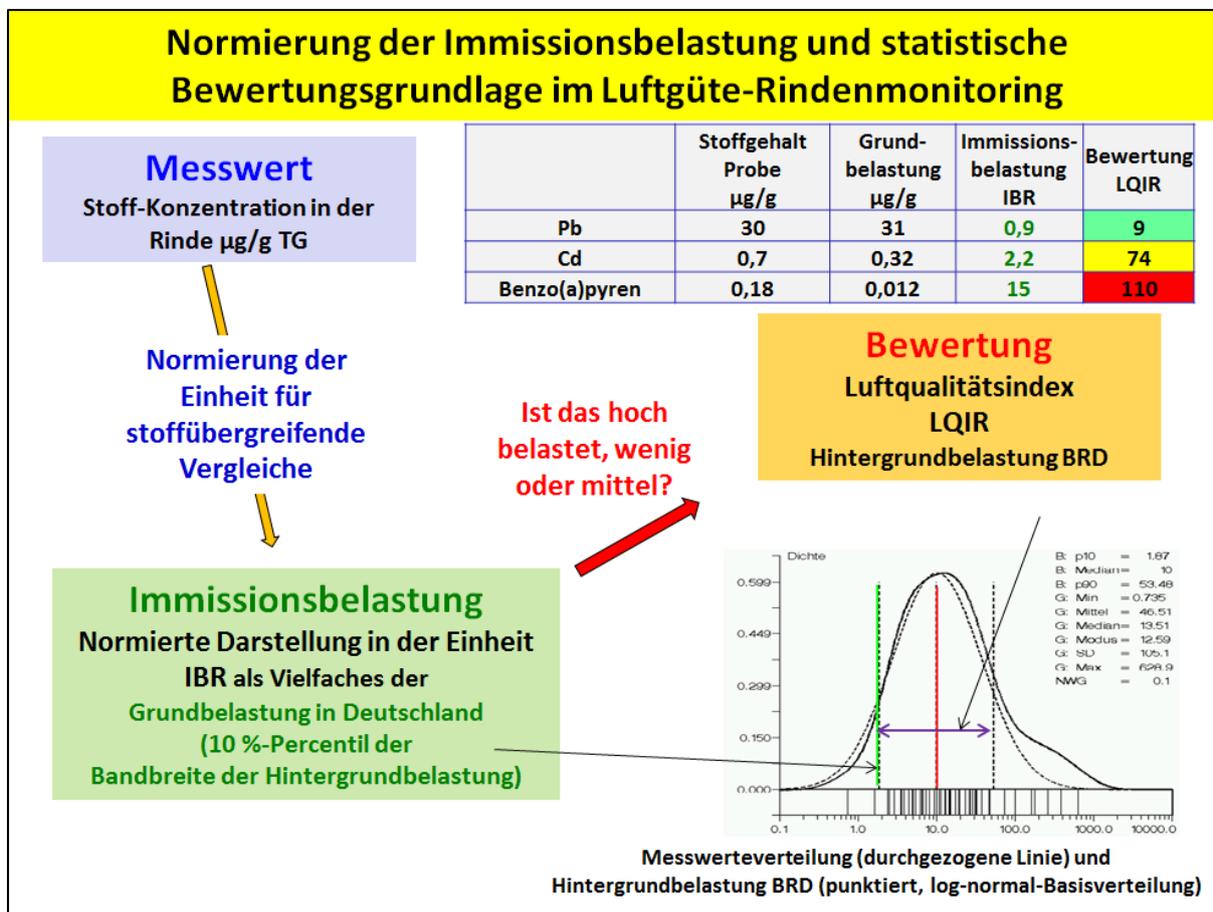


Abb. 10: Normierung der Immissionsbelastung und Bewertung in Relation zur Hintergrundbelastung der BRD im Luftgüte-Rindenmonitoring

Für eine stoffübergreifend vergleichbare Darstellung der Immissionsbelastung erfolgt eine Normierung der Stoffgehalte als Anreicherungsfaktor (IBR); der Index LQIR bewertet die Immissionsbelastung in Relation zur Streubreite der Immissionsbelastung in Deutschland (statistische Verteilung der Hintergrundbelastung).

6.7.1 Bewertungsgrundlagen

6.7.1.1 Abschätzung der bundesweiten Hintergrundbelastung (Basisverteilung)

Als Hintergrundbelastung wird die allgemeine Immissionsbelastung in einem Raum abseits lokal dominanter Emittenten verstanden. Die Basisverteilung beschreibt die statistische Verteilung der Hintergrundbelastung, hier für die BRD. Sie zeigte sich in dem FuE-Vorhaben für die meisten Stoffe als linksschief verteilt und konnte näherungsweise über eine logarithmische Normalverteilung (log-Normal-Basis-Verteilung) beschrieben werden. Diese muss an der linken Flanke der Gesamtverteilung liegen, während über die Basisverteilung hinausgehende Immissionseinflüsse lokaler Emittenten die rechte Flanke

beeinflussen, so dass diese dort die Basisverteilung übersteigen. Die Basisverteilung wurde in dem FuE-Vorhaben deswegen durch Anpassung der linken Flanke einer Normalverteilung an die linke Flanke der zuvor als Dichteschätzung bestimmten Gesamtverteilung auf log-Basis ermittelt. Damit ist die Basisverteilung eindeutig charakterisiert durch Angabe ihres Mittelwerts und ihrer Standardabweichung. Das 10 %-Percentil der Basisverteilung, abgekürzt durch P10, eines Stoffs dient als Maßzahl für die allgemeine Grundbelastung durch diesen Stoff, d.h. relativ unbelasteter Bereiche. Der Mittelwert der Basisverteilung, der mit dem Median und dem 50 %-Percentil (P50) zusammenfällt, dient als Maßzahl für eine mittlere Belastung.

6.7.1.2 Normierung der Immissionsbelastung als Vielfaches der Grundbelastung

Die aus der angepassten Basisverteilung ermittelte Grundbelastung als 10%-Percentil dient zur Darstellung eines skalenunabhängigen und damit stoffübergreifend interpretierbaren Maßes für die Immissionsbelastung eines Standorts, bezeichnet als Immissionsbelastung Rindenmonitoring [IBR]. Diese Maßeinheit gibt die vorgefundene Belastung als Vielfaches der Grundbelastung (des 10 %-Percentils der angepassten log-Normal-Basisverteilung) an.

$$IBR = \frac{C_{Probe}}{C_{Grund}}$$

IBR: Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR als Vielfaches der Grundbelastung

C_{Probe} : Stoffkonzentration der Rindenprobe

C_{Grund} : Grundbelastung als 10 %-Percentil der log-normal-Basisverteilung BRD (P10)

6.7.1.3 Luftqualitätsindex

Um die Immissionsbelastung in Bezug auf die Bandbreite der vorgefundenen Werte in der BRD einordnen zu können, wurde, basierend auf der Messwertverteilung, der daraus abgeleiteten Dichteschätzung und der IBR ein Luftqualitätsindex LQIR in logarithmischer Skalierung nach folgender Formel berechnet:

$$LQIR = \lg(x - c_1) \cdot c_2$$

$$c_1 = \frac{50 \lg P10 - 10 \lg P50}{40}$$

$$c_2 = \frac{40}{\lg P50 - \lg P10}$$

Für LQIR-Werte unter 10 gilt

$$LQIR = 10 \cdot e^{(c_2 \lg(x - c_1) - 10)} \quad \text{mit Limiterung auf 1.}$$

Ein Wert von LQIR = 10 entspricht der Grundbelastung (P10 = 10 %-Percentil), und LQIR=50 entspricht einer mittleren Normalbelastung (P50=50 %-Percentil = Median = Modus der Basisverteilung). Der LQIR beruht auf dem Abstand P50-P10 auf logarithmischer

scher Skala und ist deswegen nach oben nicht begrenzt, so dass Extrembelastungen gegenüber der reinen Percentilswert-Darstellung besser erkennbar sind.

Tab. 2: Bewertung im LQIR

LQIR	Percentilswert	Bedeutung
< 10	10 %	Bereich niedriger Grundbelastung, 10 % der Hintergrundbelastung für BRD liegt darunter
50	50 %	mittlere Belastung BRD, 50 % der Hintergrundbelastung liegt darüber und darunter
< 90		Normaler Belastungsbereich, 90 % der Werte der BRD-Hintergrundbelastung
> 90	> 90 %	auffällig hohe Belastung, übersteigt: 90 % der Werte der BRD-Hintergrundbelastung
101	95 %	95 % der Hintergrundbelastung
115	98 %	98 % der Hintergrundbelastung
123	99 %	99 % der Hintergrundbelastung

6.7.2 Immissions-Profile

Die Immissionsbelastung an Standorten/Bereichen lässt sich als Profil über ein Stoffspektrum vergleichend beurteilen. Die Stoffprofile der Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR geben die Erhöhung gegenüber Grundbelastung an und zeigen damit das Ausmaß einer Umweltveränderung an. Eine Bewertung erfolgt über den Luftqualitätsindex LQIR, in dem eine Einordnung der Belastung in die Verteilung in der BRD vorgenommen wird. Die Immissionsbelastung von Stoffen lässt sich so stoffübergreifend vergleichend in Form von Immissionsprofilen darstellen. Dies ermöglicht besondere Belastungen zu identifizieren.

Die mittlere Profilbelastung dient als integraler Index einer standörtlichen Immissionsbelastung über ein Stoffspektrum hinweg. Dies ergänzt die Betrachtung von Einzelstoffen mit einem Index, der die summarische Belastungen über alle Stoffe berücksichtigt.

Auf Grund des sehr ähnlichen chemischen Verhaltens fließen bei den Elementen die Stoffgruppe der Lanthaniden hier als ein Gruppenparameter (Mittelwert) ein.

6.7.3 Gradienten-Prüfung

Den Aufgaben des Screenings entsprechend, erfolgt die Prüfung des Immissions-Einflusses einer bestimmten Quelle/Emittenten, hier des Deponiebereiches, über eine

mittlere Gradientenprüfung. Hierdurch werden einzelstandörtliche Einflüsse ausgeglichen, so dass im mittleren Gradienten ein Einfluss eines Emittenten zu erkennen ist.

Die an einem Standort gemessene Immissionsbelastung für jeden Stoff setzt sich zusammen aus:

$$I_{\text{gesamt}} = I_{\text{Grund}} + I_{\text{Deponie}} + \sum I_{\text{alle anderen lokal wirksamen Einflüsse}}$$

Die Einflüsse sind bei einer einzelstofflichen Betrachtung nur bedingt trennbar. Während die überregionale und regionale Referenz sich messtechnisch über weitere Standorte abschätzen lässt, verbleiben zwei Unbekannte in der Gleichung, die sich ohne weitere Kenntnisse nicht voneinander differenzieren lassen, d.h. der spezifische Immissionseinfluss eines bestimmten Emittenten (Zusatzbelastung), hier des Deponiebereiches, ist nicht von der Summe anderer, lokal wirksamer Einflüsse abgrenzbar (Vorbelastung). Differenziert man den Raum nach plausiblen Kriterien in Einflusszonen, die eine unterschiedliche Belastung des gefragten Emittenten erwarten lassen, wie hier als Distanzzonen, dann ist zu erwarten, dass sich ein Einfluss in einem von der Quelle abfallenden mittleren Gradienten zeigt. Erhebliche Quereinflüsse aus anderen, abseits befindlichen Quellen, weisen entsprechend anders verlaufende Gradienten im Raum auf, die sich mit dem Gradienten der zu prüfenden Quelle schneiden und durch damit höher ausfallende standörtliche Werte und Abweichungen im Verlauf des mittleren Gradienten bemerkbar machen. Damit gilt eine derartige Gradientenprüfung als stabilere Prüfung gegenüber Einzelwertvergleichen, wenngleich der Einfluss an einzelnen Orten durchaus höher ausfallen kann.

Hierbei ist das Ausbreitungsverhalten der Stoffe zu berücksichtigen. Während schwere Partikel bei niedrigen Quellhöhen bereits im Nahbereich ihr Maximum haben und einen stetig fallenden Gradienten mit der Entfernung aufweisen, kann dies bei leichten Partikeln und Gasen, hohen Quellen sowie thermischen Effekten (Überhöhung) dazu führen, dass der Aufschlagbereich mit den höchsten Gehalten sich nach außen verlagert und im unmittelbaren Nahbereich niedrigere Belastungen auftreten. Die im Genehmigungsverfahren erstellte Ausbreitungsrechnung weist eher auf den ersten Fall hin.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Deponie keine gefasste Punktquelle, sondern eine Flächenquelle darstellt, die strukturiert ist und auch dynamischen Veränderungen unterliegt. Dies bedeutet, dass mit Unterschieden in der Immissionsbelastung im Nahbereich zu rechnen ist. Im Screening wird die Quelle als „Deponiebereich“ angesprochen. Eine weitere Differenzierung, auch zu den im Bereich befindlichen unmittelbaren Nachbarbetrieben, würde entsprechende Detailuntersuchungen und Zugang zur Deponie erfordern, was nicht in den Möglichkeiten des Screenings lag.

Die Ergebnisse der mittleren Gradientenprüfung erlauben eine Selektion an Stoffen. Für Stoffe, die keine Anhaltspunkte aufweisen, kann ein Einfluss als unwahrscheinlich ange-

nommen werden. Stoffe, die einen vom Deponiebereich ausgehenden, abfallenden mittleren Gradienten aufweisen, sind diesbezüglich auffällig und geben damit Hinweis auf einen Einfluss, so dass für diese Stoffe ein Immissionseinfluss aus dem Deponiebereich nicht ausgeschlossen werden kann.

Gemäß dem Hinweischarakter des Screenings bewegt sich die Beurteilung auf der Ebene des mittleren Gradienten. Eine Zunahme der Variabilität standörtlicher Belastung tritt im Nahbereich von Emittenten häufig auf (siehe Erklärung oben), so dass aus unterschiedlich festgestellten Belastungen im Nahbereich kein Ausschlusskriterium abgeleitet werden kann. Vielmehr ist in eine Bewertung die Variabilität und eine maximal im Nahbereich erfasste einzelstandörtliche Belastung (möglichst nahe dem Aufschlagbereich maximaler Immissionen) mit in Betracht zu ziehen. Im Screening wird allerdings primär der mittlere Einfluss bewertet. Aus den Ergebnissen des Screenings kann der Aufwand für statistisch abgesicherte Aussagen für gegebenenfalls erforderliche Nachweisverfahren abgeschätzt werden.

Die Ergebnisse für die mittleren Gradienten über die 4 Zonen wurden für die auffälligen Stoffe grafisch in den Abb. 2ff im Kurzbericht dargestellt. Hierbei wird der mittlere Gradient in der Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR in Form eines Balkendiagrammes (Teilgrafiken links) dargestellt. Die Darstellung zeigt die Relationen in der Immissionsbelastung der Zonen untereinander an und ist Einheiten-unabhängig, d.h. diese würde bei Angaben in mg/kg genau die gleichen Relationen ergeben. Über die Einheit IBR wird zusätzlich das Ausmaß der Umweltveränderung angegeben, d.h. wie hoch die Immissionsbelastung in Relation zur Grundbelastung der BRD ausfällt. Die jeweils rechts zugeordneten Grafiken zeigen den mittleren Gradienten für den Luftqualitätsindex LQIR. Hier wird die Immissionsbelastung bewertet und mit der Percentilverteilung der bundesdeutschen Verhältnisse verglichen und eingeordnet. Daraus geht hervor, ob die in den jeweiligen Distanzzonen erreichte Belastung einem niedrigen Grundbelastungsniveau (<10 %-Percentil), einem mittleren (50 %-Percentil) oder einer auffällig erhöhten Belastung über dem 90%-Percentil zugeordnet werden kann.

Im ausführlichen Berichtsteil wurden zusätzlich die Ergebnisse zur standörtlichen Immissionsbelastung aufgenommen und bei den mittleren Gradienten mit der Standardabweichung der Parallelmessungen verzeichnet, so dass jeweilige Messfehler daraus hervorgeht. Hierdurch lassen sich standörtliche Abweichungen in der Immissionsbelastung vom Messfehler trennen und Hinweise auf Quereinflüsse deutlicher ausmachen.

6.7.4 Räumliche Verteilung der standörtlichen Belastung

Zusätzlich wurde für die auffälligen Stoffe die Immissionsbelastung an den Einzelstandorten in ihrer räumlichen Verteilung dargestellt, wobei die Größe der Blasen (Durchmesser) dem IBR-Wert entsprechen. Hierdurch lassen sich - unter Beachtung der in den

vorigen Kapitel genannten Aspekte – einzelne Gradienten im Raum verfolgen und weitere Hinweise für ein Gesamtbild der Immissionsituation gewinnen sowie Hinweise auf Quereinflüsse aus anderen Quellen im Raum erkennen.

6.7.5 Einzel-Gradienten in Transsektendarstellung

Ergänzend zum mittleren Gradienten werden die standörtlichen Messwerte zur Immissionsbelastung über die 2 Transsekte dargestellt, die über die Deponie gelegt wurden. Hierdurch kann geprüft werden, inwieweit einzelne Gradienten von der Deponie in verschiedene Richtungen zu erkennen sind.

6.7.6 Stoffmuster

Das Luftgüte-Rindenmonitoring ermöglicht über die Stoffmuster eine Abschätzung eines spezifischen Einflusses von bestimmten Quellen (Hofmann et al. 2001). Hierzu werden, über die einzelstoffliche Betrachtung hinaus, charakteristische Stoffmuster (Stoffprofile) identifiziert, anhand dieser sich der spezifische Einfluss von der Summe der anderen Quellen im Raum differenzieren lässt. Diese Vorgehensweise wird Fingerprinting genannt. Wenngleich ein Fingerprinting nicht mehr Bestandteil eines Screenings ist, so wird eine Voraussetzung im Screening mit vorabgeprüft. Diese besteht darin, inwieweit sich in der Gradientenprüfung charakteristische Stoffmuster (Profile) für den Quellbereich sowie für die Summe der anderen Einflüsse im Raum abzeichnen.

7. Ergebnisse mit Bewertung

Die Ergebnisse zu den Stoffgehalten der Rindenproben für die Elemente, PAK, PCDD/F und den dioxinähnlichen PCB sind im Anhang in den Tab. 5 bis Tab. 10 dokumentiert. Mit aufgeführt sind die jeweiligen Bestimmungsgrenzen, die Mittelwerte der 4 Distanz-zonen I bis IV sowie die Referenzwerte aus der Log-Normal-Basisverteilung für die bundesweite Grundbelastung.

Die Ergebnisse zur Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR, die die Umweltveränderung als Vielfaches der Grundbelastung anzeigen, gehen aus den Tab. 11 bis Tab. 14 (s. Anhang) hervor. Die entsprechende Bewertung im Luftqualitätsindex LQIR in Relation zur bundesdeutschen Hintergrundbelastung findet sich im Anhang in den Tab. 15 bis Tab. 17 für Elemente, PAK und PCDD/F. Für PCB ist eine derartige Bewertung derzeit noch nicht möglich.

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse des Screenings zur Immissionsbelastung mit Hilfe tabellarischer und grafischer Darstellungen erläutert, aus denen die Verhältnisse der ermittelten Immissionsbelastung im Deponie-Nahbereich in Relation zur städtischen, regionalen und bundesweiten Hintergrundbelastung hervorgehen.

Die mittlere Gradientenprüfung im Screening stellt hierbei eine abstrahierende Darstellung dar. Durch die Mittelung, die unterschiedliche Windrichtungen einbezieht, werden einzelstandörtliche Einflüsse ausgeglichen und mittlere Tendenzen betont. Aus dem Verlauf der mittleren Gradienten ergeben sich für den erfahrenen Betrachter Hinweise auf mögliche Einflüsse aus dem Deponiebereich sowie potentieller Quereinflüsse, denen dann bei Bedarf vertieft nachgegangen werden kann. Um eine allgemeinere Nachvollziehbarkeit, nicht zuletzt auch zum Zwecke eventuell weiterführender Analysen, zu ermöglichen, werden hier in diesem Abschnitt ergänzend, primär für auffällige Stoffe, deren Einzelergebnisse gezeigt. Hierbei kommen verschiedene Darstellungen zum Einsatz, die möglichst verständlich unterschiedliche Aspekte und Blickweisen und die daraus gewonnenen Hinweise und Erkenntnisse zu verdeutlichen vermögen.

- Bei der mittleren Gradientendarstellung sind die standörtlichen Werte mit eingezeichnet und die Standardabweichungen aus den Parallelmessungen zur Kennzeichnung des Messfehlers mit angegeben.
- Die standörtlichen Ergebnisse werden in ihrer räumlichen Lage in Form eines Blausendiagrammes und Angabe der IBR-Werte grafisch veranschaulicht.
- Ergänzend zum mittleren Gradienten werden die Verläufe über die beiden Transekte grafisch dargestellt, so dass einzelne Gradienten in unterschiedliche Richtungen erkennbar sind.

7.1 Elemente

7.1.1 Stoffprofile

Die Ergebnisse zur Immissionsbelastung der 55 Elemente sind über die Stoffprofile in Abb. 11 für die 4 Distanzbereiche gemittelt in der normierten Einheit IBR als Vielfaches der Grundbelastung der BRD dargestellt. Aus der Grafik geht hervor, dass die Immissionsbelastung im untersuchten Bereich von Bremerhaven (Distanzbereiche I-III) für die meisten Elemente sich vom regionalen Referenzbereich (grüne Kurve) abhebt und auch den IBR-Wert von 1 als bundesweite Grundbelastung übersteigt. Einige Elemente aus meerbürtigem Einfluss, am markantesten Na, sind in der Region insgesamt erhöht und weisen die Küstennähe aus. Die Bewertung über den Luftqualitätsindex LQIR in Abb. 12 zeigt an, dass für die meisten Elemente im Raum eine im mittleren Normal-Bereich anzusiedelnde Belastung gemessen an der BRD vorliegt, für einige Elemente fällt allerdings die Belastung höher aus.

Im deponienahen Bereich (rote Kurve) sowie in Zone II ist bei mehreren Elementen eine höhere Immissionsbelastung gegenüber dem städtischen Hintergrund (blau) und der regionalen Referenz (grün) feststellbar.

7.1.2 Mittlere Gradienten

Die Ergebnisse zu den mittleren Gradienten sind für die auffälligen Stoffe im vorangestellten Kurzbericht (Teil I) in den Abb. 2 bis Abb. 4 dargestellt.

Für 42 Elemente wurden im mittleren Gradienten keine höheren Werte im Deponienahbereich gemessen, so dass hier wesentliche Einflüsse aus der Deponie nicht festzustellen sind.

Für 13 Elemente sind mittlere Gradienten über die 4 Distanzzonen mit abnehmender Belastung von deponienah bis in den regionalen Referenzbereich erkennbar. Eine tabellarische Zusammenfassung wird in Tab. 3 gegeben. Durch die Betrachtung der mittleren Gradienten werden einzelstandörtliche Einflüsse ausgeglichen, so dass der hier relevante mittlere Einfluss vom Deponiebereich ausgehend erkennbar wird. Maßgebliche Quereinflüsse externer Quellen machen sich hierbei über anders verlaufenden Gradienten im Raum bemerkbar.

Als im **mittleren Gradienten auffällige Elemente** mit im Deponie-Nahbereich höheren und nach außen abfallenden Messwerten zeigen sich in Rangfolge der IBR-Werte:

Molybdän (Mo), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Lithium (Li), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co)

Aus Tab. 3 gehen die Relationen zu den Mittelwerten der Zonen II bis IV hervor. Im Deponie-Nahbereich (Zone I) wird im Verhältnis zur städtischen Hintergrundbelastung in Zone III das 1,5fache bis zum 4,8fachen (Cd) erreicht und zur regionalen Referenz (Zone IV) bis zum 10fachen (Tl). Die IBR-Werte zeigen an, dass die Immissionsbelastung vom 2,5fachen (Co) bis 14,3fachen (Mo) höher als die Grundbelastung der BRD ausfällt.

Die Bewertung der Immissionsbelastung im Luftqualitätsindex LQIR berücksichtigt die Verteilung der Hintergrundbelastung in der BRD. Die LQIR-Werte weisen aus, dass für die Elemente **Tl, Mn, W, Co, Sb, Pb, Ni, Li, Mo und Sn** zwar ein mittlerer Gradient in Bezug auf den Deponie-Bereich zu erkennen ist, die Belastung im Nahbereich der Deponie – mit ansteigender Relevanz – **noch einer mittleren Belastung** der BRD zugeordnet werden kann (LQIR-Werte von 48 bis 75). In dieser Reihe befindet sich auch das in Bezug auf eine Immissionsbelastung in der Diskussion befindliche Blei (Pb) mit einem LQIR-Wert von 66. Hier ist zwar ein Gradient vom Deponiebereich wegführend auszumachen, die Belastung im Nahbereich kann aber noch in einem mittleren Bereich eingeordnet werden.

Lediglich für die Elemente **Kupfer (Cu), Cadmium (Cd) und Zink (Zn)** werden im Deponie-Nahbereich der Zone I LQIR-Werte von >90 im Mittel erreicht, die eine **auffällig erhöhte**, deutlich über einem mittleren Niveau liegende Immissionsbelastung indizieren. LQIR-Wert von über 90 zeigen eine Belastung an, die über dem 90 %-Percentil der bundesdeutschen Hintergrundbelastung liegt und damit als auffällig erhöht bewertet werden kann.

Aus den IBR-Werten in Tab. 3 geht hervor, dass bei **Cu** die Belastungen im Nahbereich der Deponie in Zone I im Mittel die Werte der umgebenden Zone II um das 1,9fache, die der Zone III des städtischen Hintergrundes um das 2,3 fache und die der regionalen Referenz um das 4,2fache übersteigen. Der mittlere IBR-Wert der Zone I weist das 8,3fache der Grundbelastung der BRD aus. Der LQIR-Wert von 144 indiziert hierbei eine Belastung, die über das 98 %-Percentil der bundesweiten Hintergrundbelastung hinausgeht.

Für **Cd** wird in Zone I das 6,6fache der Grundbelastung ermittelt, der LQIR-Wert von 110 zeigt eine Belastung über dem 95 %-Percentil an. Die Werte in Zone I überragen die der umgebenden Zone II um das 2,4fache, der Zone III des städtischen Hintergrundes um das 4,8fache und die regionale Referenz um das 7,7fache.

Bei **Zn** wird ein IBR-Wert von 12,5 ermittelt. Die Zone I weist hierbei gegenüber Zone II eine 1,8fach höhere Belastung auf, gegenüber Zone III eine 3,6fache und zur regionalen Referenz das 5fache. Der zugeordnete LQIR-Wert von 96 weist auf eine Belastung in Zone I hin, die über dem 90 %-Percentil der bundesdeutschen Hintergrundbelastung liegt.

Zusätzlich wäre noch Bi (Wismut) zu erwähnen, das im Deponie-Einflussbereich auffällig erhöhte Belastungen mit LQIR-Werten über dem 90 %-Percentil erkennen lässt. Al-

lerdings zeigt Bi einen anders verlaufenden Gradienten mit höheren Werten in Zone II, so dass dies auf überwiegende Quereinflüsse anderer Quellen hinweist.

7.1.3 Ergänzende Darstellungen

Ergänzend zur Darstellung der Ergebnisse der mittleren Gradienten für das Screening in Teil I werden hier in Abb. 13 zusätzlich die standörtlichen Werte und die Standardabweichung aus den Parallelmessungen zur Kennzeichnung des Messfehlers angegeben. In Abb. 14 erfolgt die Darstellung der standörtlichen Immissionsbelastung in ihrer räumlichen Verteilung. In Abb. 15 sind die Standorte entlang der beiden Transsekte angeordnet, so dass der Verlauf der Immissionsbelastung über den Deponiebereich laufend in unterschiedliche Richtungen dargestellt wird. Hieraus ergeben sich Hinweise, inwieweit höhere Belastungen im Deponie-Nahbereich auch in einzelnen Gradienten zu erkennen sind.

Molybdän (Mo): Die Darstellung weist deutliche Gradienten sowohl in den mittleren als auch in den Maximalwerten aus. Der Maximalwert in der einzelstandörtlichen Immissionsbelastung ist am Standort RM1 im Deponie-Nahbereich festzustellen. Die Standardabweichung zeigt an, dass es sich bei der standörtlichen Belastung um einen getrennten Wert handelt, der nicht auf einen Messfehler zurückzuführen ist und somit im Screening nicht ausgeschlossen werden kann. Die räumliche Verteilung ergibt zudem ein schlüssiges Bild, indem ein Belastungsgradient in östliche Richtung in den Speckenbütteler Park erkennbar ist. In der Transsekt-Darstellung wird dies im Gradienten nach NO (Transsekt 1) verdeutlicht.

Zink (Zn): Bei Zn sind ebenfalls Gradienten sowohl in den Mittel- als auch Maximalwerten erkennbar, wobei das Maximum hier am Standort RM2 im Deponie-Nahbereich in Erscheinung tritt. Ein deutlicher Quereinfluss aus südwestlicher Richtung (Hafenbereich) ist erkennbar, wobei die Belastung im Deponienahbereich überwiegt und damit einen eigenständigen Einfluss indiziert. Die einzelnen Gradienten gehen deutlich aus beiden Transsekten hervor.

Zinn (Sn): Bei Sn zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei Molybdän. Der Maximalwert in der einzelstandörtlichen Immissionsbelastung wird am Standort RM1 im Deponie-Nahbereich erfasst, von wo Gradienten nach Nord- und Südosten erkennbar sind, die in den Transsektedarstellungen verdeutlicht werden. Die nach außen wieder leicht ansteigenden Gradienten geben Hinweis auf Quereinflüsse, die den Deponienahbereich allerdings nur geringfügiger beeinflussen.

Kupfer (Cu): Bei Cu werden die beiden höchsten Werte der einzelstandörtlichen Immissionsbelastung an den Standort RM1 und RM2 im Deponie-Nahbereich erfasst, der Gradient hebt sich damit markant von der Umgebung in in allen Darstellungen sowohl der Einzel- als auch mittleren Werte von der Umgebung ab. Bei Cu sind Hinweise auf

Quereinflüsse aus südwestlicher und in südöstlicher Richtung zu erkennen, wobei die Belastung im Nahbereich der Deponie deutlich überwiegt.

Blei (Pb): In der Pb-Belastung zeigen sich neben dem Deponienahbereich auch deutliche Quereinflüsse anderer Quellen im Südwesten (Hafenbereich) und Südosten in ähnlicher Größenordnung, wie sie sich auch im mittleren Gradienten bemerkbar machen. In der Darstellung der räumlichen Verteilung und in den Transsekten ist ein Gradient vom östlichen Deponie-Nahbereich ausgehend nach allen Richtungen abgrenzbar und weist auf einen eigenständigen Einfluss hin.

Lithium (Li): Bei Li sind Gradienten vom Deponiebereich ausgehend sowohl im mittleren Verlauf als auch in den Einzelwerten in allen Darstellungen klar erkennbar. Bei Li zeigt sich ein Quereinfluss mit wieder ansteigenden Werten in südöstliche Richtung über Lehe hinausweisend, was sich in Zone III im mittleren Verlauf des Gradienten widerspiegelt.

Cadmium (Cd): Bei Cd sind allseits deponieseitige Gradienten sowohl in den Mittel- als auch den Einzelwerten und in östliche und südöstliche Richtung ausgeprägt erkennbar. Hinweis auf einen Quereinfluss aus südwestlicher Richtung ist erkennbar, die Belastung im Deponienahbereich überragt deutlich und hebt sich als eigenständiger Einfluss ab.

Nickel (Ni): Ni weist einen mittleren deponieseitigen Gradienten auf mit deutlich erkennbaren Quereinflüssen. Die Einzelwerte indizieren einen Quereinfluss aus südwestlicher Richtung, der dort noch höher ausfällt und eine Störung im mittleren Gradienten in Zone II bewirkt. In Transsekt 1 wird ein ausgeprägter Gradient von SW in die östlichen Richtungen angezeigt, aus dem der Deponienahbereich nicht mehr trennbar erscheint. Im Transsekt 2 zeigen sich jedoch deutliche Gradienten vom Deponienahbereich ausgehend, die auf eigenständigen Einfluss hinweisen. Für eine eindeutige Differenzierung in einzelstofflicher Betrachtung bedarf es hier weiterer Messpunkte.

Mangan (Mn): Bei Mn ist ein mittlerer Gradient mit erheblichen Quereinflüssen erkennbar, die sich in Zone II und III bemerkbar machen. Die Standortwerte zeigen ein Maximum südöstlich bei RM5, das höher ausfällt als im Deponie-Nahbereich. In den Transsekten sind allseitige Gradienten erkennbar, die auf eigenständigen Einfluss hinweisen. Eine weitere Quelle erscheint noch im Südosten.

Antimon (Sb): Bei Sb verstärkt sich das Bild erheblicher Quereinflüsse. Der Gradient ist zwar noch im Mittel gegenüber der Zone III und IV erkennbar, jedoch nicht mehr in den Einzelwerten. Standortlich höhere Belastungen treten in Zone II südwestlich und südöstlich in Zone III auf. Der Stadtbereich insgesamt weist deutlich höhere Werte gegenüber der regionalen Referenz im Umland auf. In Transsekt 1 zeigt sich die höchste Belastung im SW (Hafenbereich), der nach NO abfallende Gradient wird im Deponie-Nahbereich durch höhere Werte im Verlauf gestört, was ein Indiz für eine Überlagerung

durch eigenständigen Einfluss ist. Im Transsekt 2 tritt dies noch deutlicher in Erscheinung.

Wolfram (W): W weist sowohl in den Zonenmittelwerten als auch bei den Standortwerten einen deponieseitigen Gradienten auf. Der Gradient ist allerdings nur schwach ausgeprägt und die Messfehler bei W sind relativ hoch; zusätzliche Quereinflüsse erscheinen in Zone II und III. In den beiden Transsekten sind vom Deponiebereich ausgehende, abgrenzbare Gradienten erkennbar, die Hinweis auf einen eigenständigen Einfluss geben.

Thallium (Tl): Ausgeprägte Gradienten vom Deponie-Nahbereich ausgehend sind bei Tl in allen Darstellungen auszumachen; dieser Bereich hebt sich mit dem Maximalwert deutlich ab. Der Messfehler ist gering. In Transsekt 1 wird ein stetig fallender Gradient in östliche Richtung angezeigt, so dass keine einzelstandörtliche Belastung anzunehmen ist. Nach Südosten steigt der Gradient wieder leicht an.

Kobalt (Co): Bei Co ist der Gradient in allen Darstellungen, sowohl in den Mittel- als auch den standörtlichen Werten, konsistent erkennbar.

Wismut (Bi): Bi weist einen abweichenden Gradienten, sowohl im Mittel als auch bei den standörtlichen Werten auf. Der Anstieg mit höheren Werten in Zone II sowie die Transsektdarstellungen weisen auf mehrere Quellen hin. Bi ist ergänzend auf Grund der hohen LQIR – Werte >90, die auf eine auffällig erhöhte Belastung hinweisen, hier mit aufgeführt.

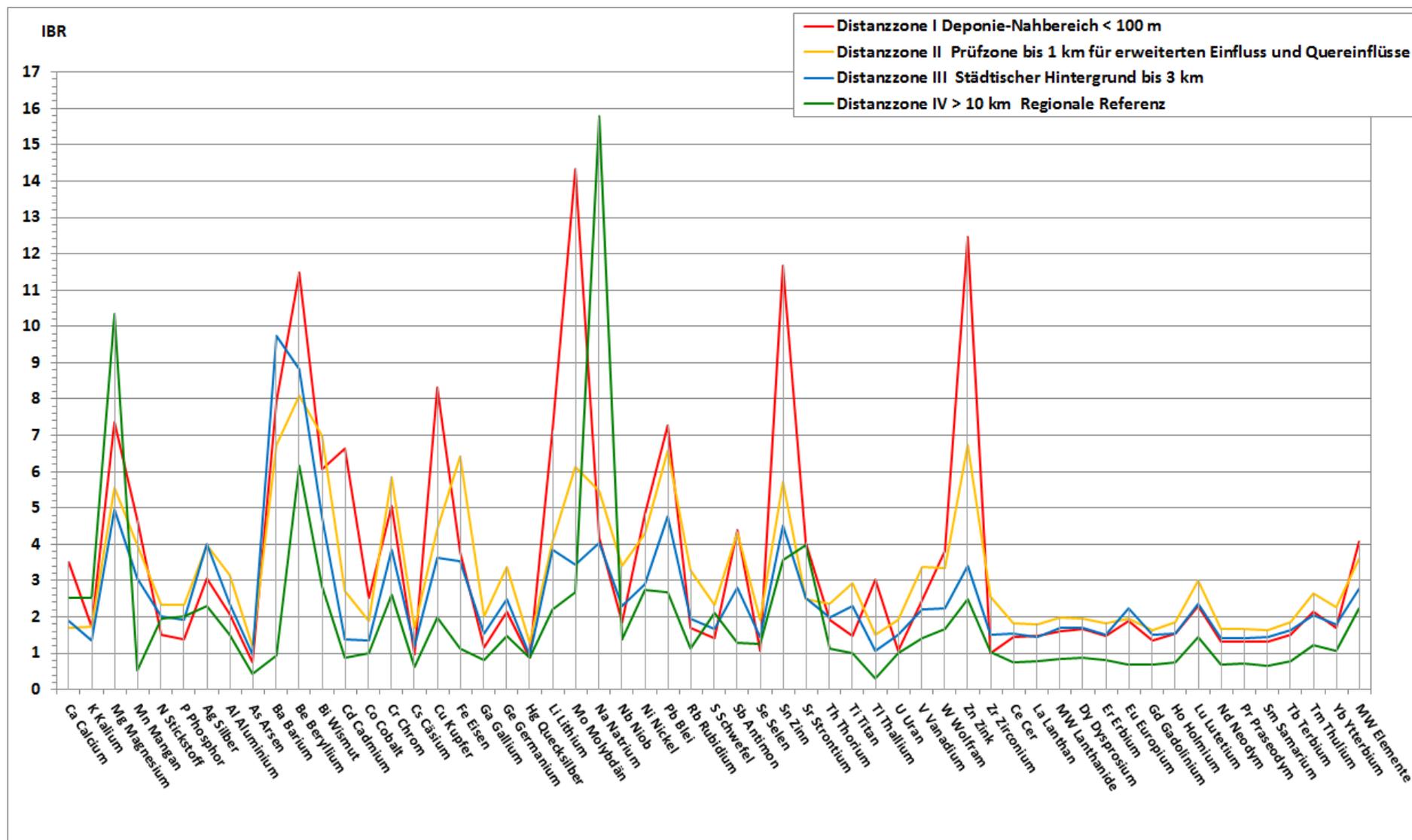


Abb. 11: Immissionsbelastung der 4 Distanzbereiche für die Elemente in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

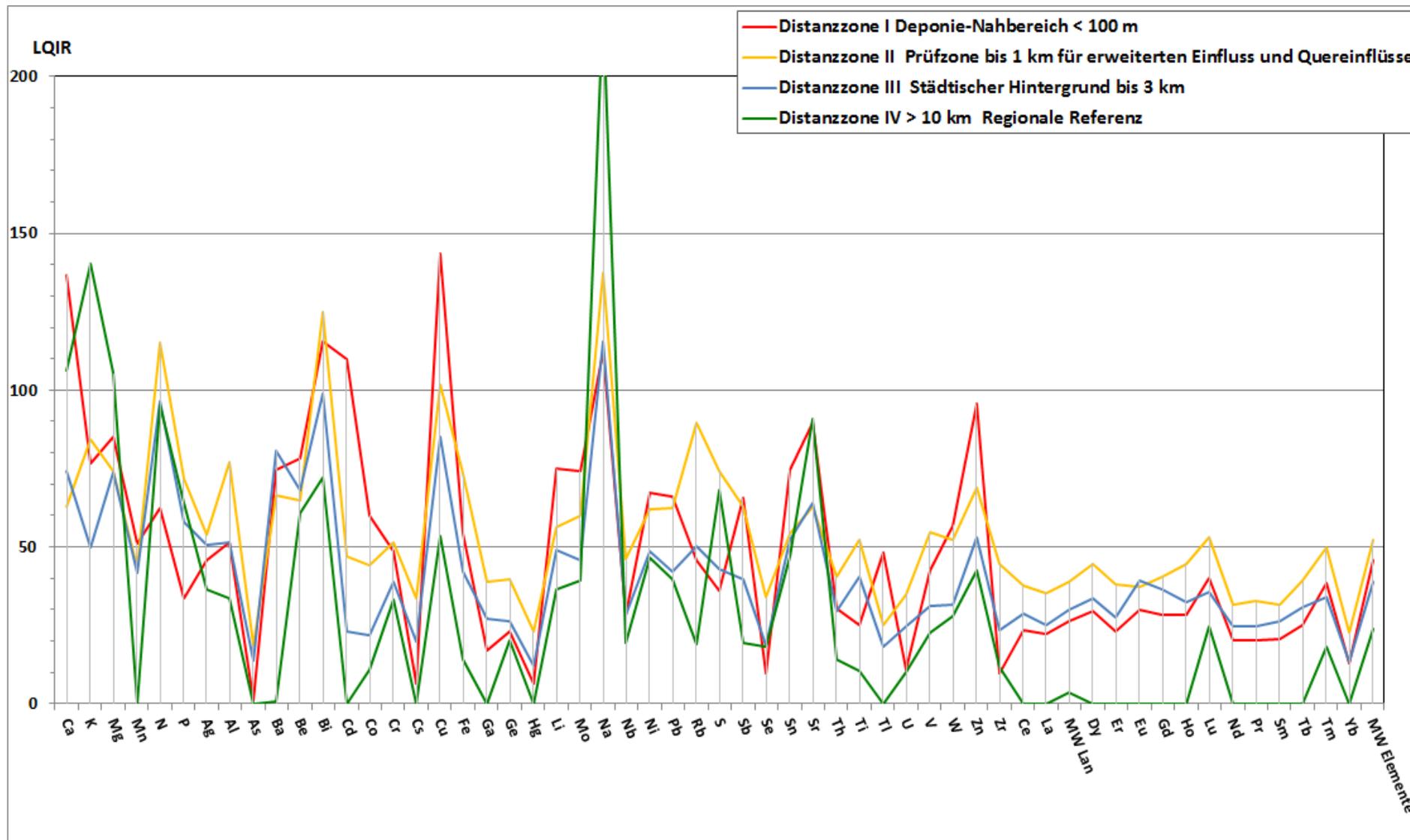


Abb. 12: Bewertung der Immissionsbelastung in den 4 Distanzbereichen für die Elemente im Luftqualitätsindex LQIR

Tab. 3: Auffällige Elemente in der mittleren Gradientenprüfung mit erhöhter Immissionsbelastung im Deponie-Nahbereich
Distanzzonen:

- Zone I Deponie-nah bis 100 m;
- Zone II bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse;
- Zone III städtischer Hintergrund bis 3 km;
- Zone IV: regionale Referenz >10 km nordwestlich

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

LQIR: Luftqualitätsindex Rindenmonitoring

<10: Grundbelastung BRD (10 %-Percentil der -Hintergrundbelastung) dunkelblau

50: 50 %-Percentil Median

90: 90 %-Percentil

bis 90: Normaler Belastungsbereich (blau - hellblau – grün - hellgrün)

>90: >90 %-Percentil, auffällig erhöht belastet (gelb-orange)

Ergänzend ist Bi aufgeführt (auffällig erhöhte Belastung im Nahbereich, Gradient abweichend)

		Immissionsbelastung Rindenmonitoring normierte Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)				Luftqualitätsindex Rindenmonitoring Bewertung in Relation zur Verteilung der Hintergrundbelastung in der BRD			
		Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
		IBR	IBR	IBR	IBR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR
Mo	Molybdän	14,3	6,1	3,4	2,7	74	60	46	39
Zn	Zink	12,5	6,7	3,4	2,5	95	69	53	42
Sn	Zinn	11,7	5,7	4,5	3,6	75	54	52	47
Cu	Kupfer	8,3	4,4	3,6	2,0	144	102	85	53
Pb	Blei	7,3	6,6	4,8	2,7	66	62	42	40
Li	Lithium	7,1	4,1	3,9	2,2	75	57	49	36
Cd	Cadmium	6,6	2,7	1,4	0,9	110	47	23	1
Ni	Nickel	4,8	4,3	2,9	2,7	67	62	48	47
Mn	Mangan	4,7	4,0	3,1	0,5	51	43	42	1
Sb	Antimon	4,4	4,3	2,8	1,3	65	63	40	19
W	Wolfram	3,8	3,3	2,2	1,7	57	52	31	28
Tl	Thallium	3,0	1,5	1,1	0,3	48	25	18	1
Co	Cobalt	2,5	1,9	1,3	1,0	60	44	22	11
Bi	Wismut	6,1	7,0	4,7	2,9	116	125	99	72

Abb. 13: Darstellung der mittleren Gradienten der Immissionsbelastung mit einzelstandörtlichen Werten für auffällige Elemente mit deponieseitig höheren Werten

Molybdän (Mo), Zink (Zn), Zinn (Sn), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Lithium (Li), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Mangan (Mn), Antimon (Sb), Wolfram (W), Thallium (Tl), Kobalt (Co)

IBR: Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Mittlerer Gradient: Balkendiagramm, Mittelwerte der Distanzzonen (alle Richtungen)

Standörtliche Immissionsbelastung (blaue Punkte) mit Standardabweichung aus Parallelmessung

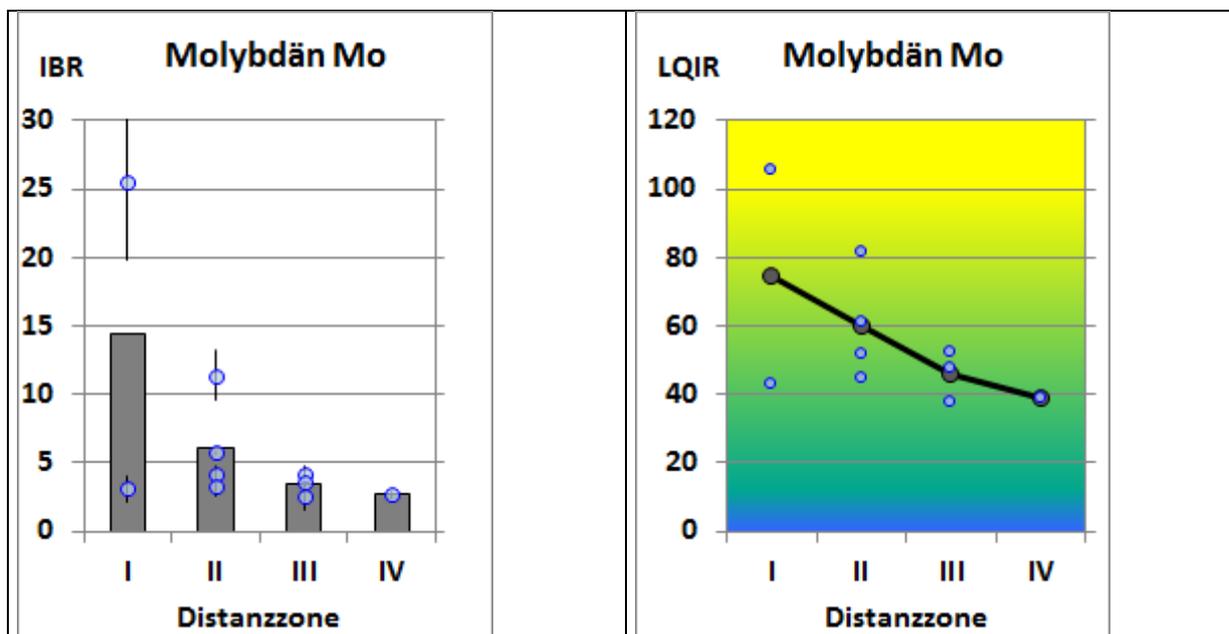
LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Hintergrundbelastung BRD

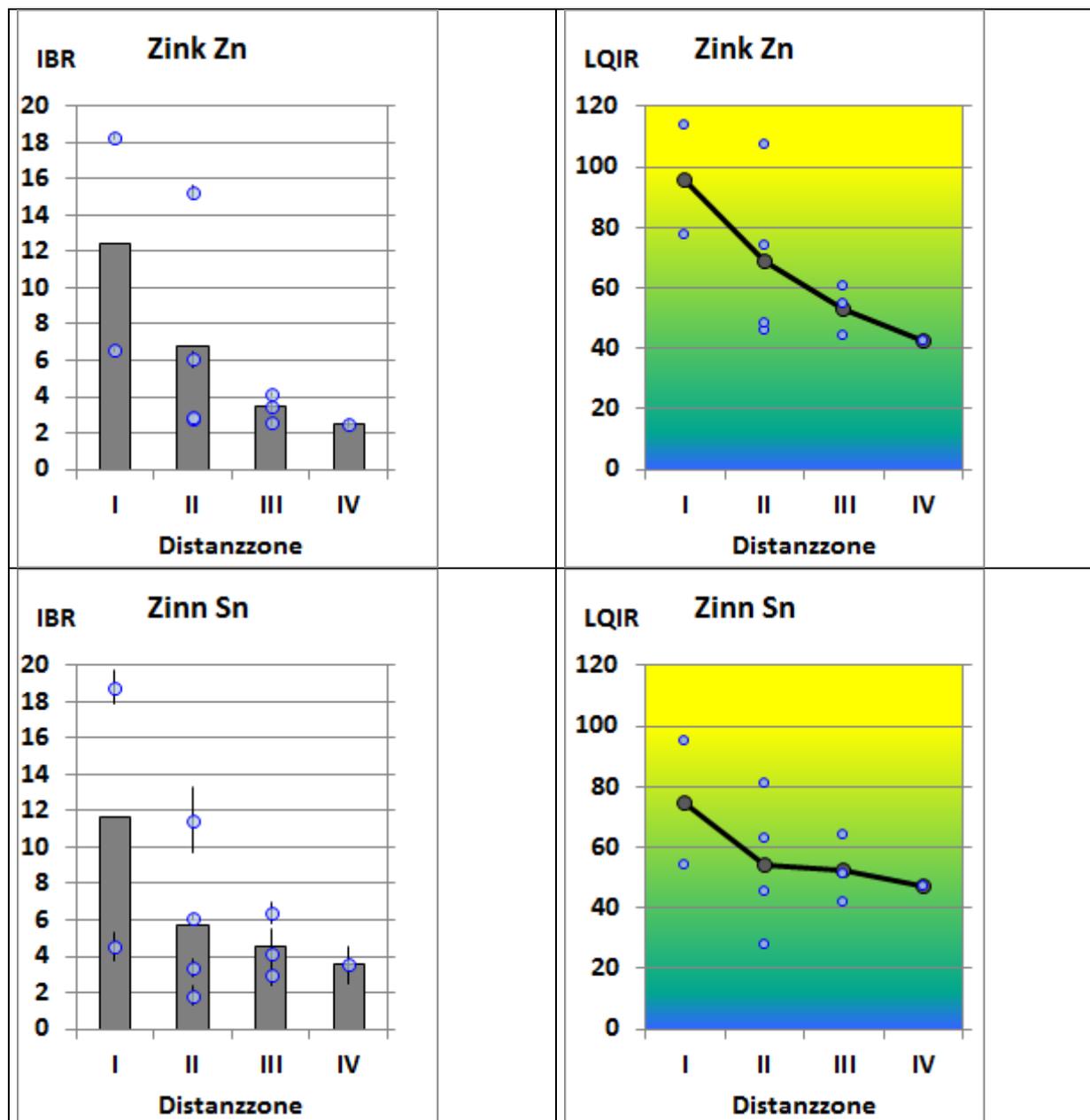
Mittlerer Gradient (Linie), Standortwerte (blaue Punkte)

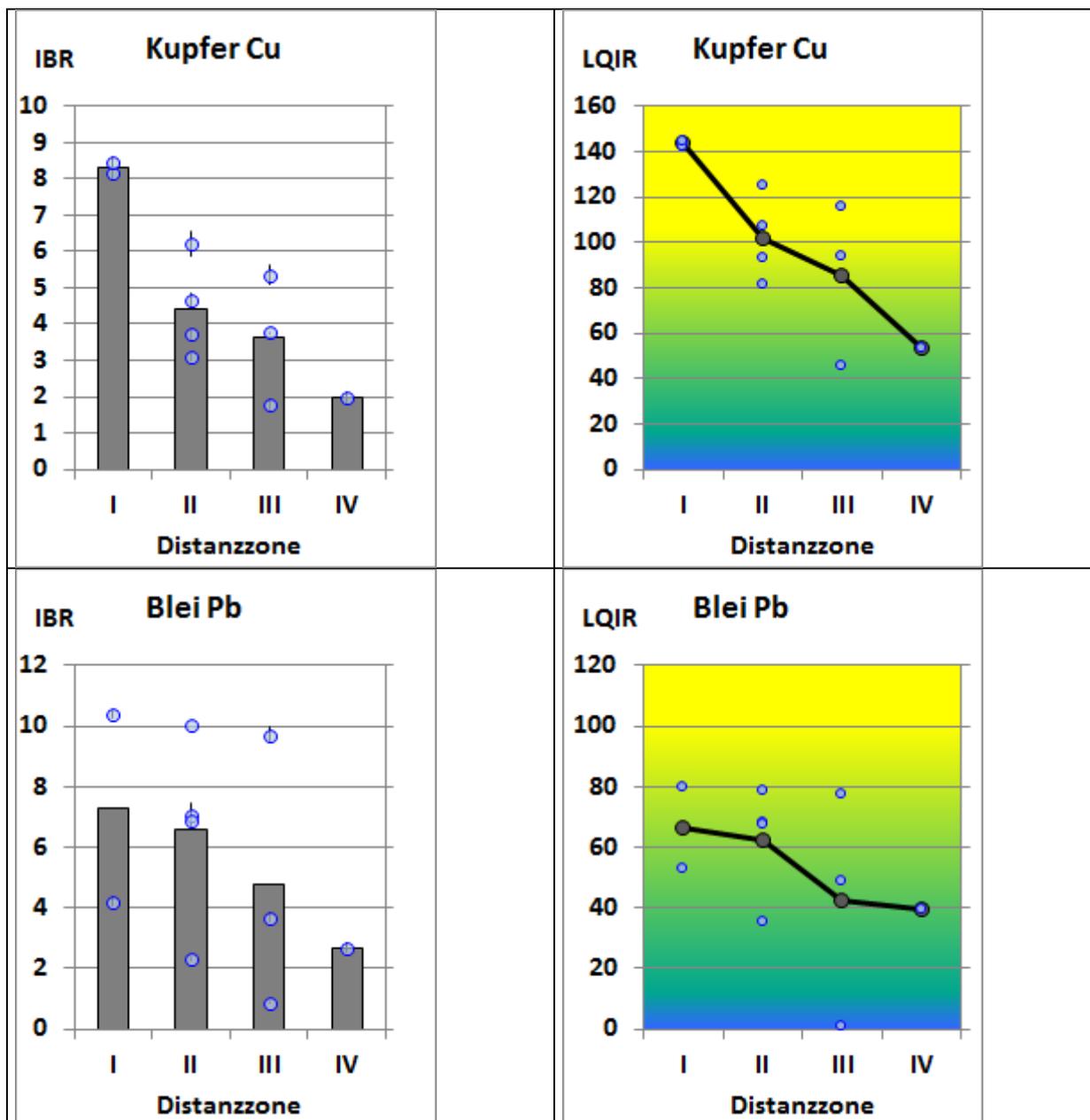
- | | | |
|--------|---|----------------|
| <10: | Grundbelastung BRD (10 %-Perzentil) | blau |
| 10-90: | mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Perzentil) | grün, gradiert |
| >90: | auffällig erhöhte Belastung (>90 %-Perzentil) | gelb |

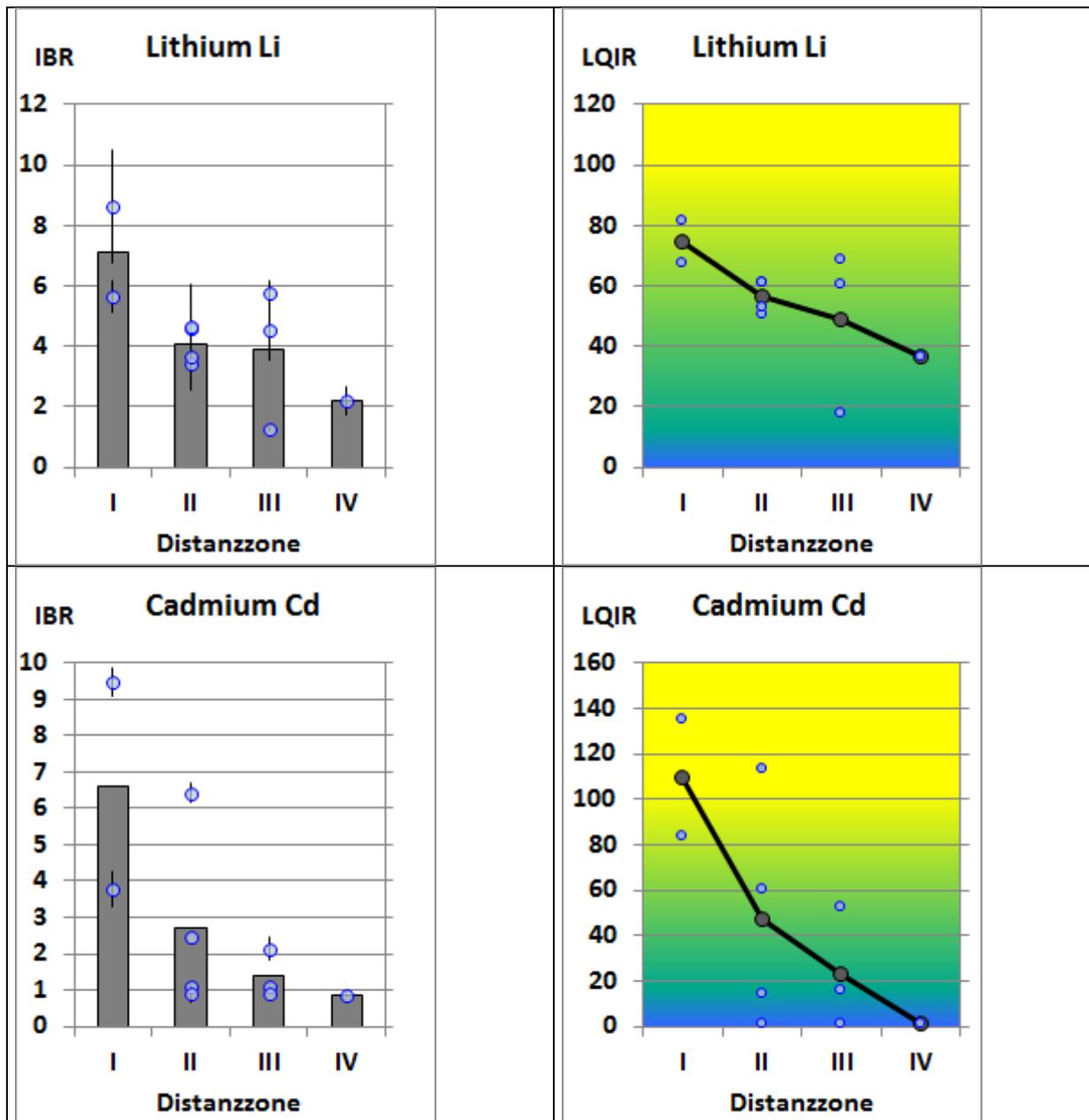
Distanzzonen:

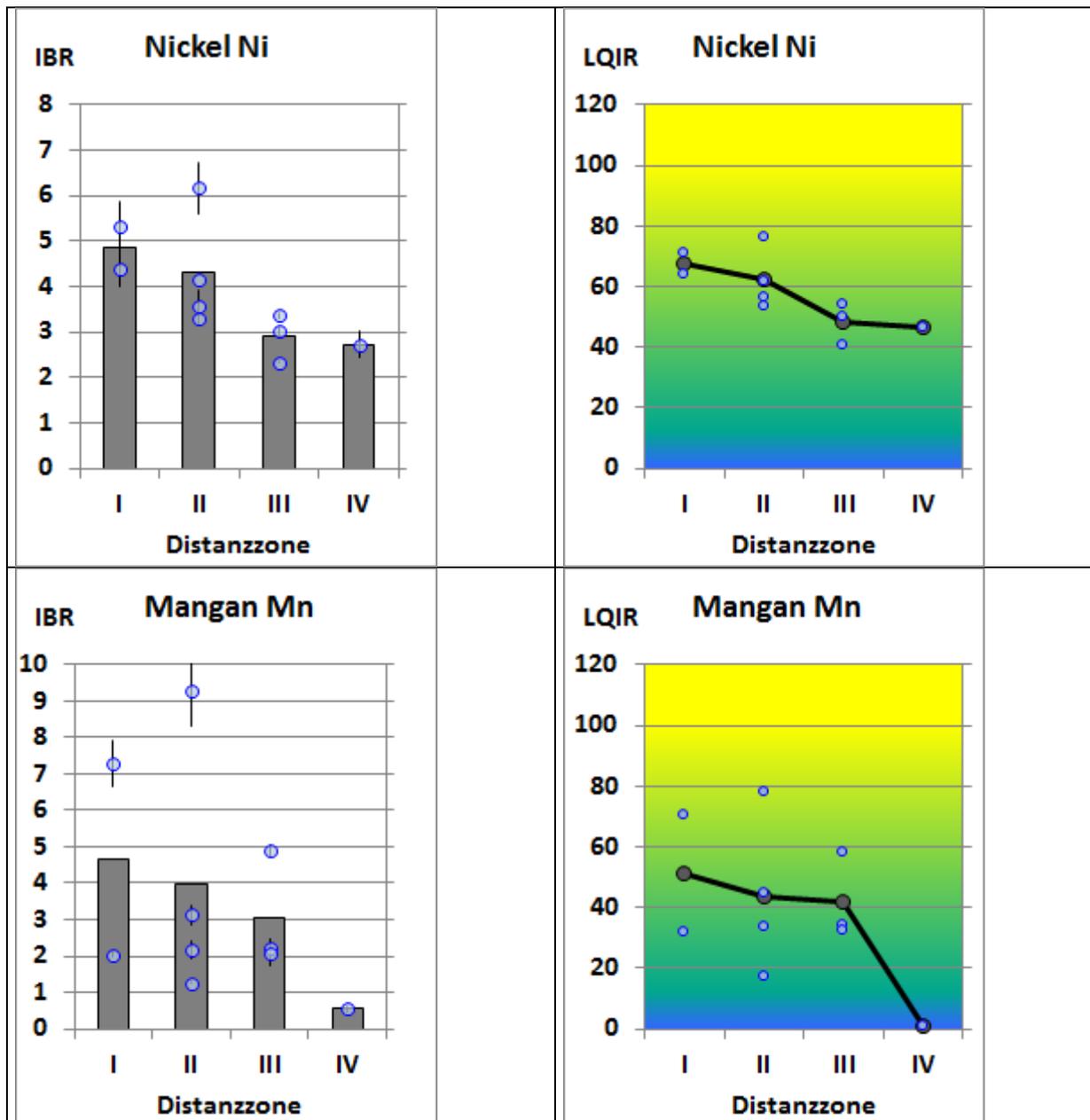
- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse;
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)

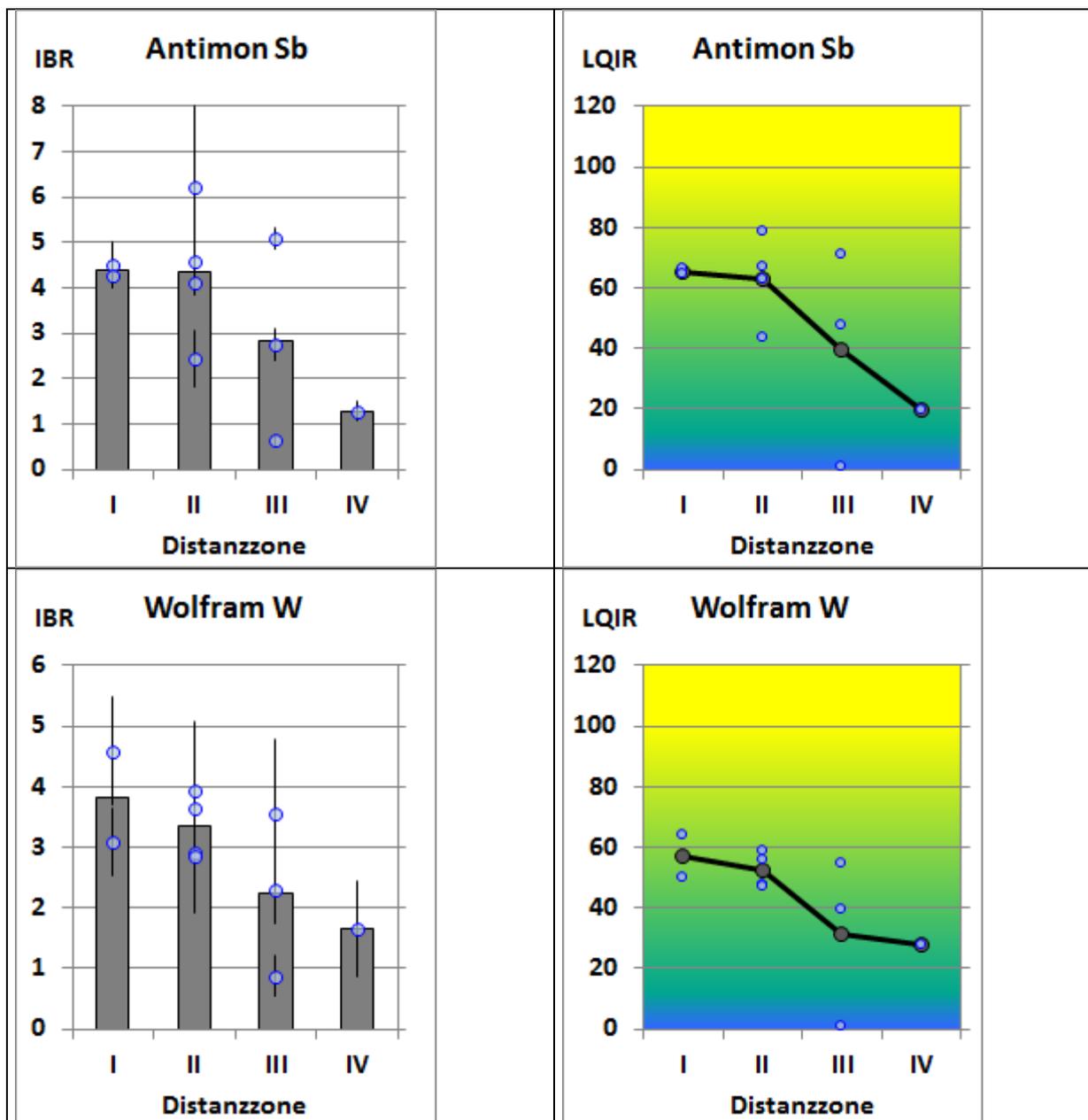


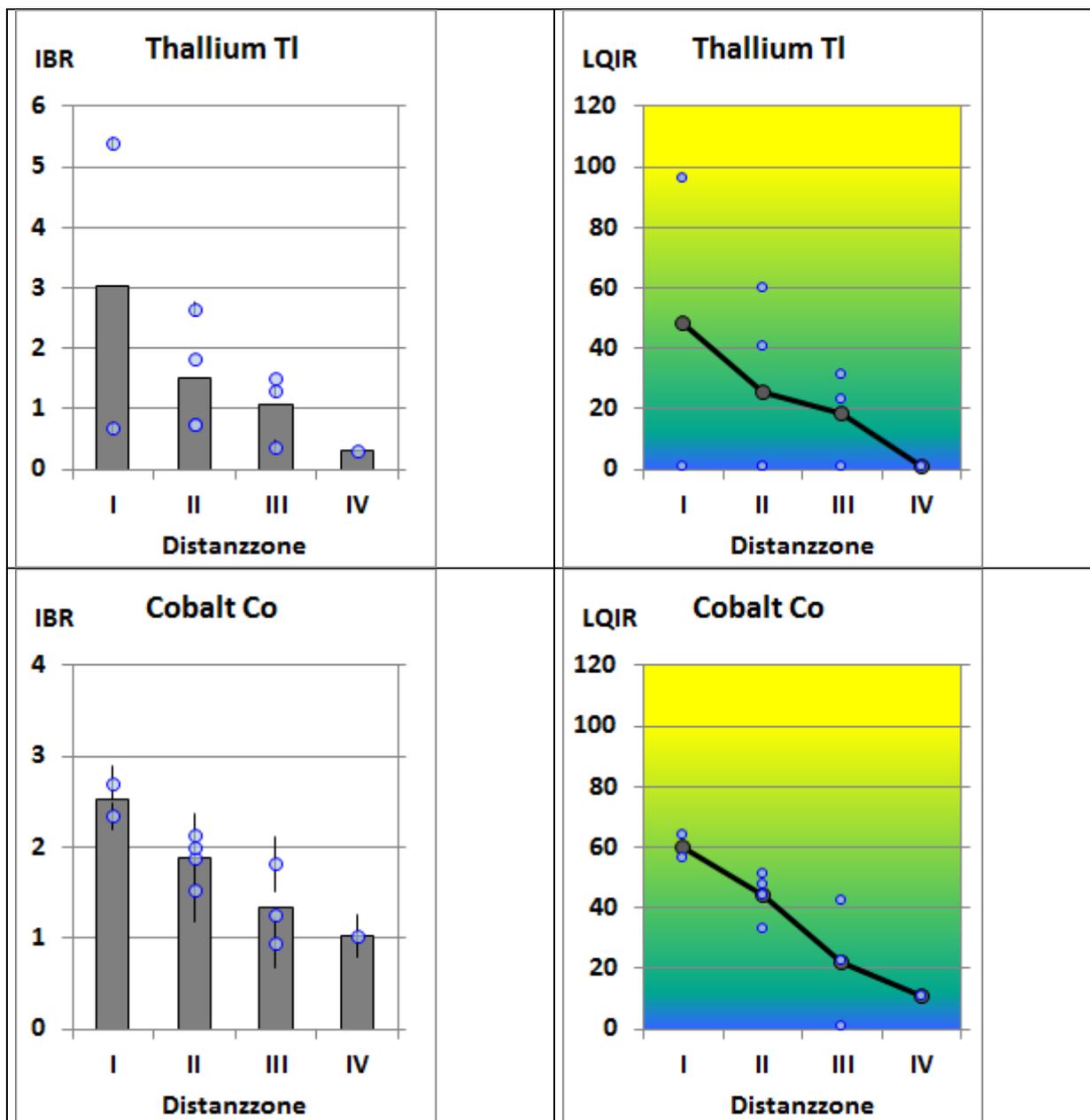












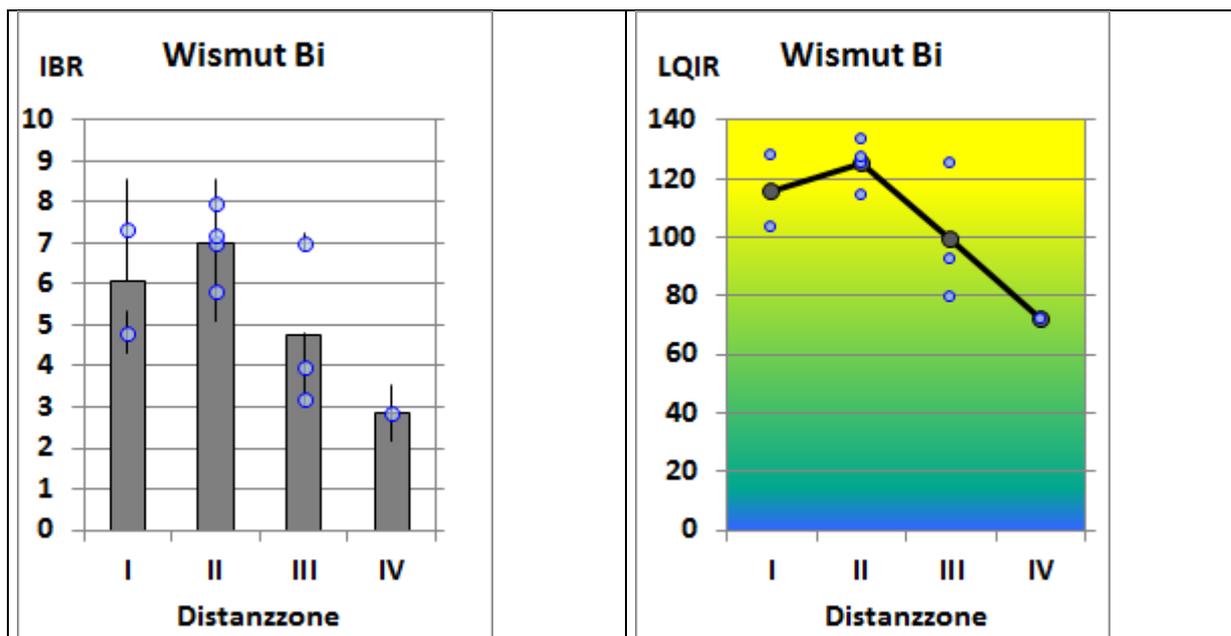


Abb. 14: Standortliche Immissionsbelastung in der räumlichen Verteilung

Mo, Zn, Sn, Cu, Pb, Li, Cd, Tl, Co Ni, Mn, Sb, W (deponieseitiger mittlerer Gradient),
ergänzend: Bi (hoher LQIR-Wert im Nahbereich, aber anderer Gradient)

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR

Größenverhältnisse entsprechend den IBR-Werten

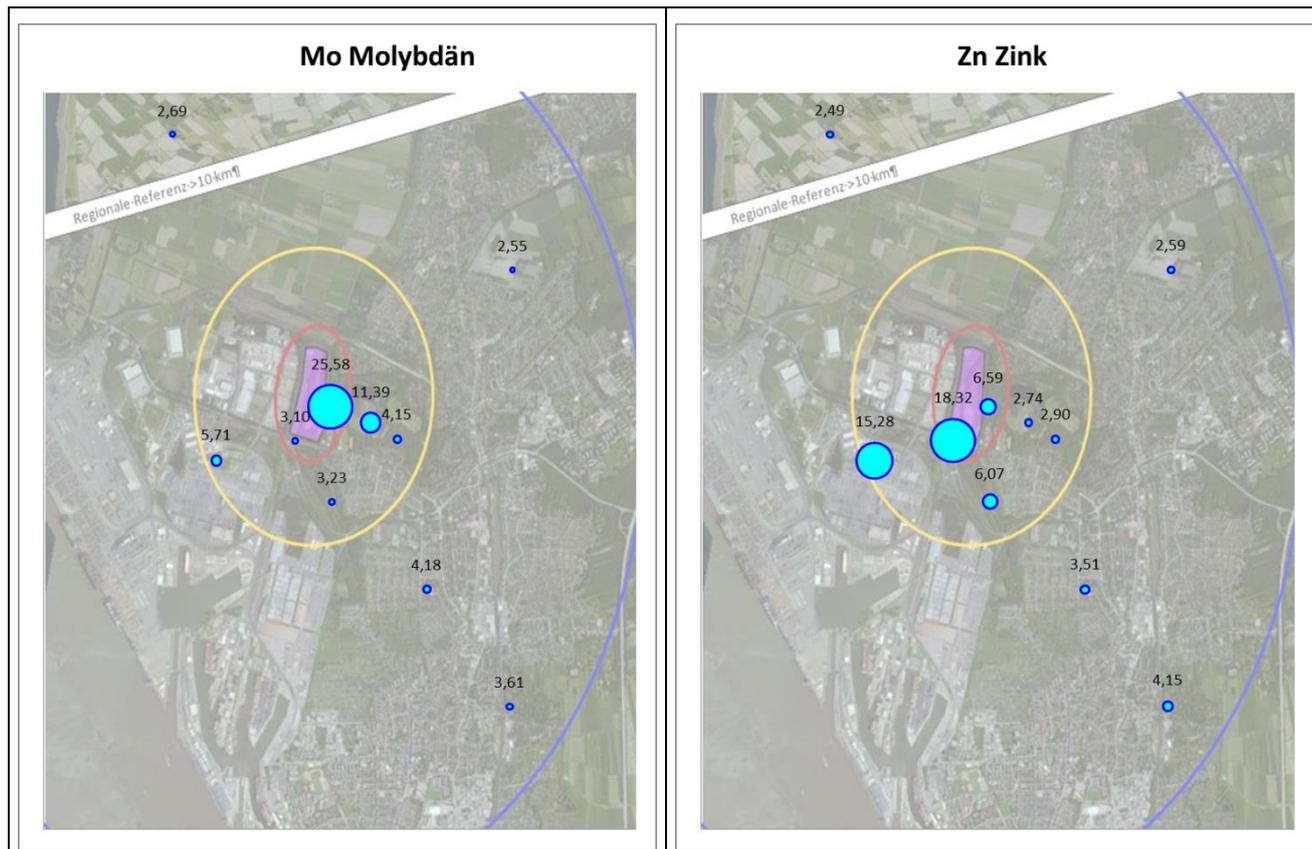
Distanzzonen sind folgendermaßen verzeichnet:

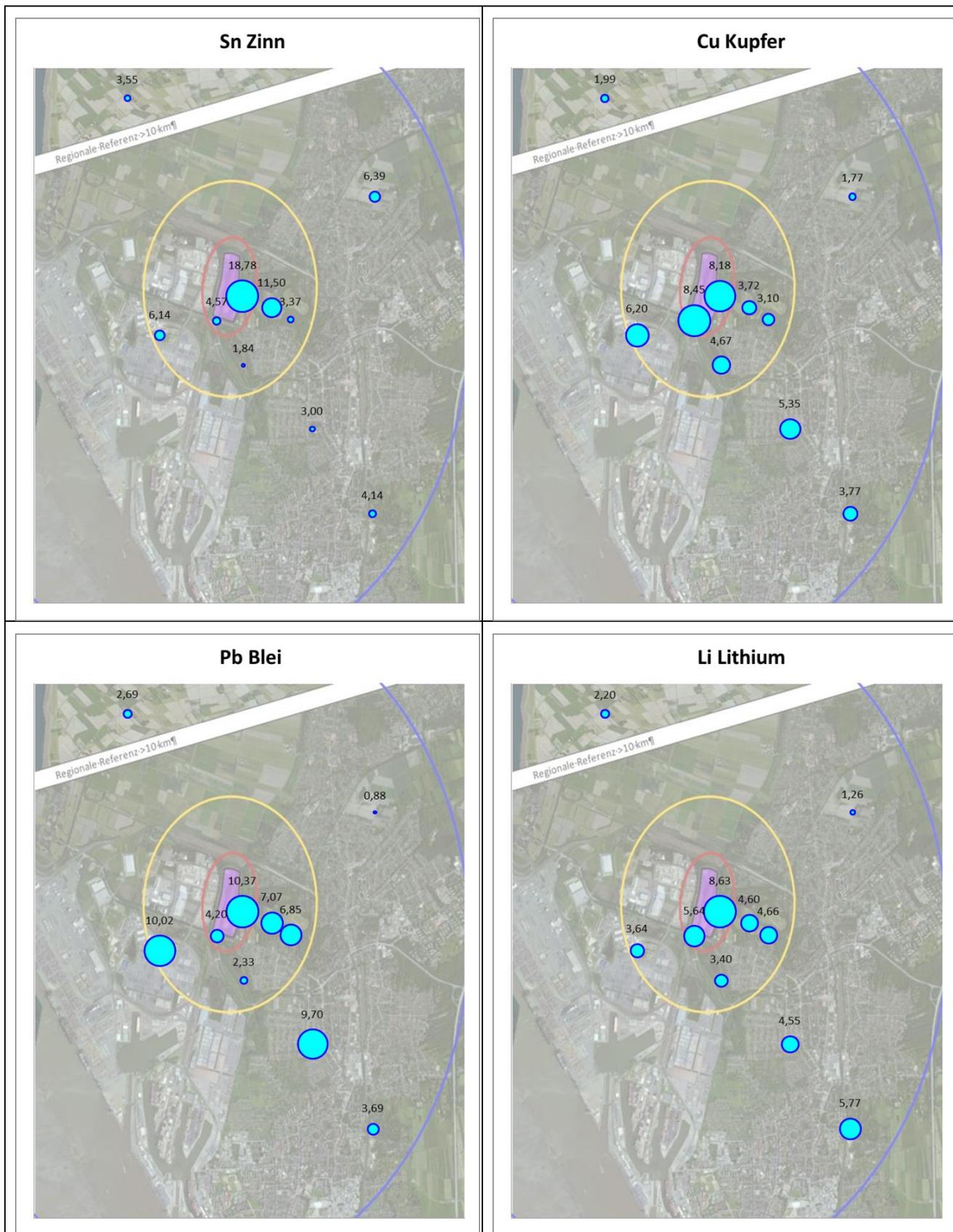
rot: Deponie-Nahbereich < 100 m

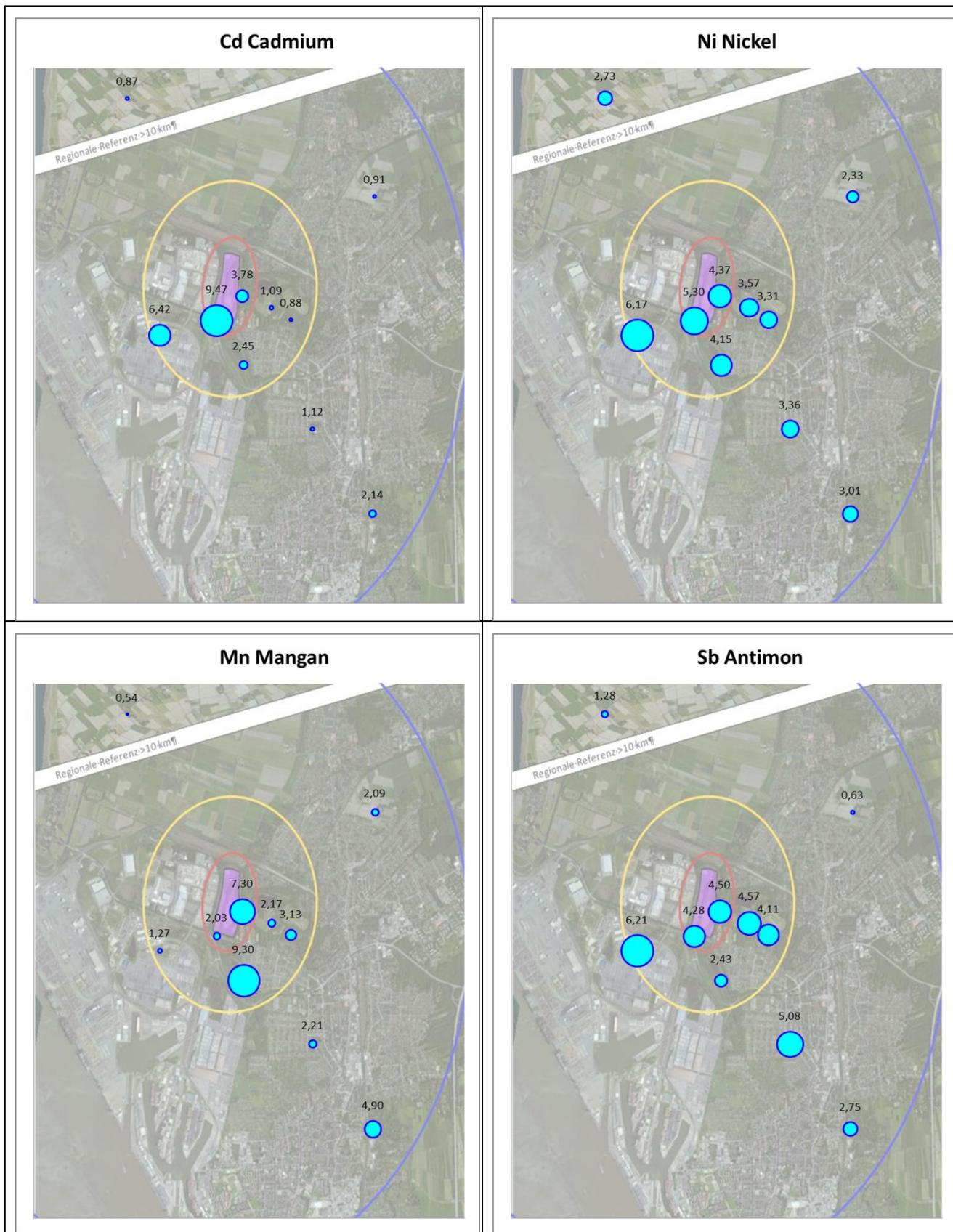
gelb: bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse

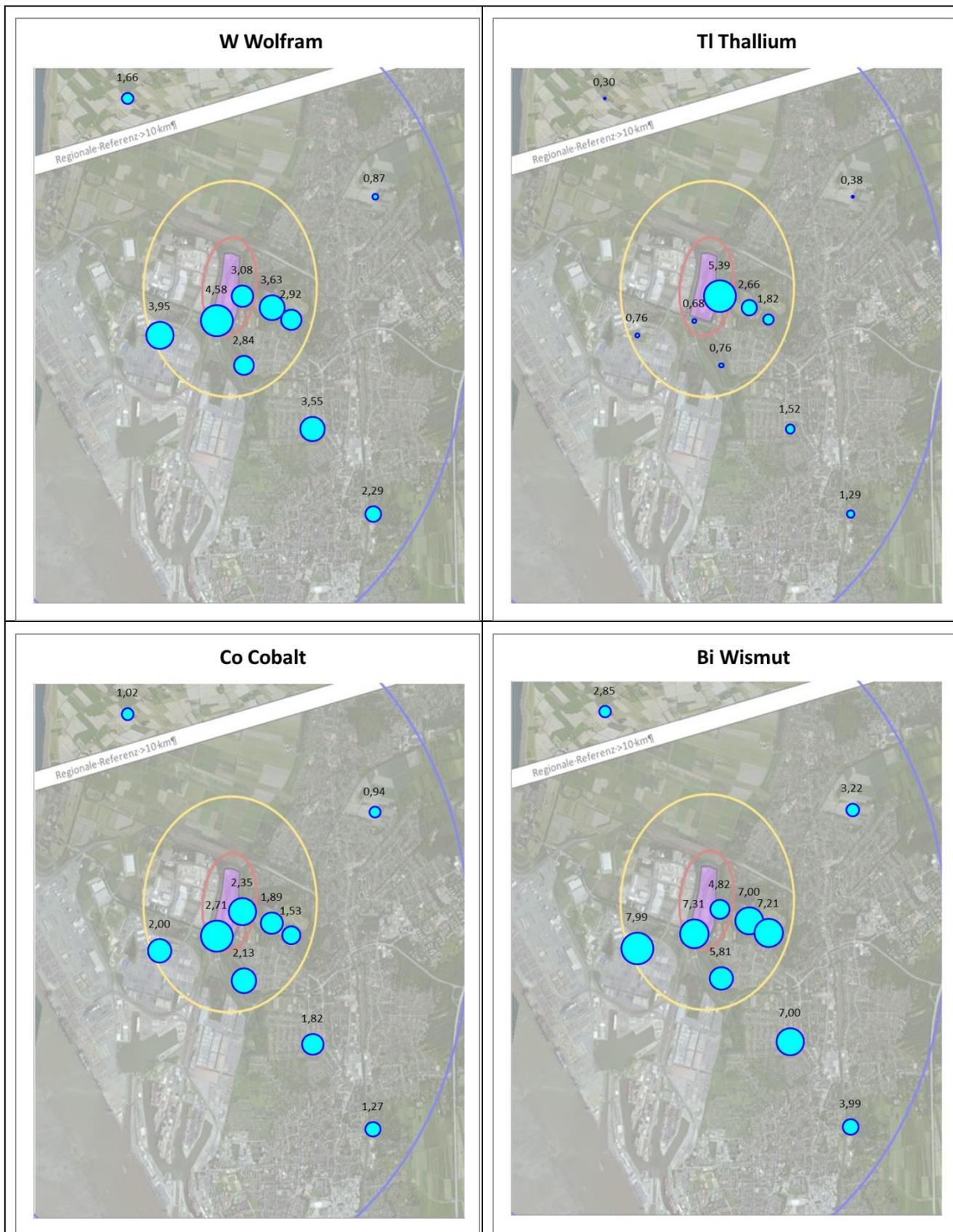
blau: städtischer Hintergrund bis 3 km

abgesetzt: regionale Referenz > 10 km







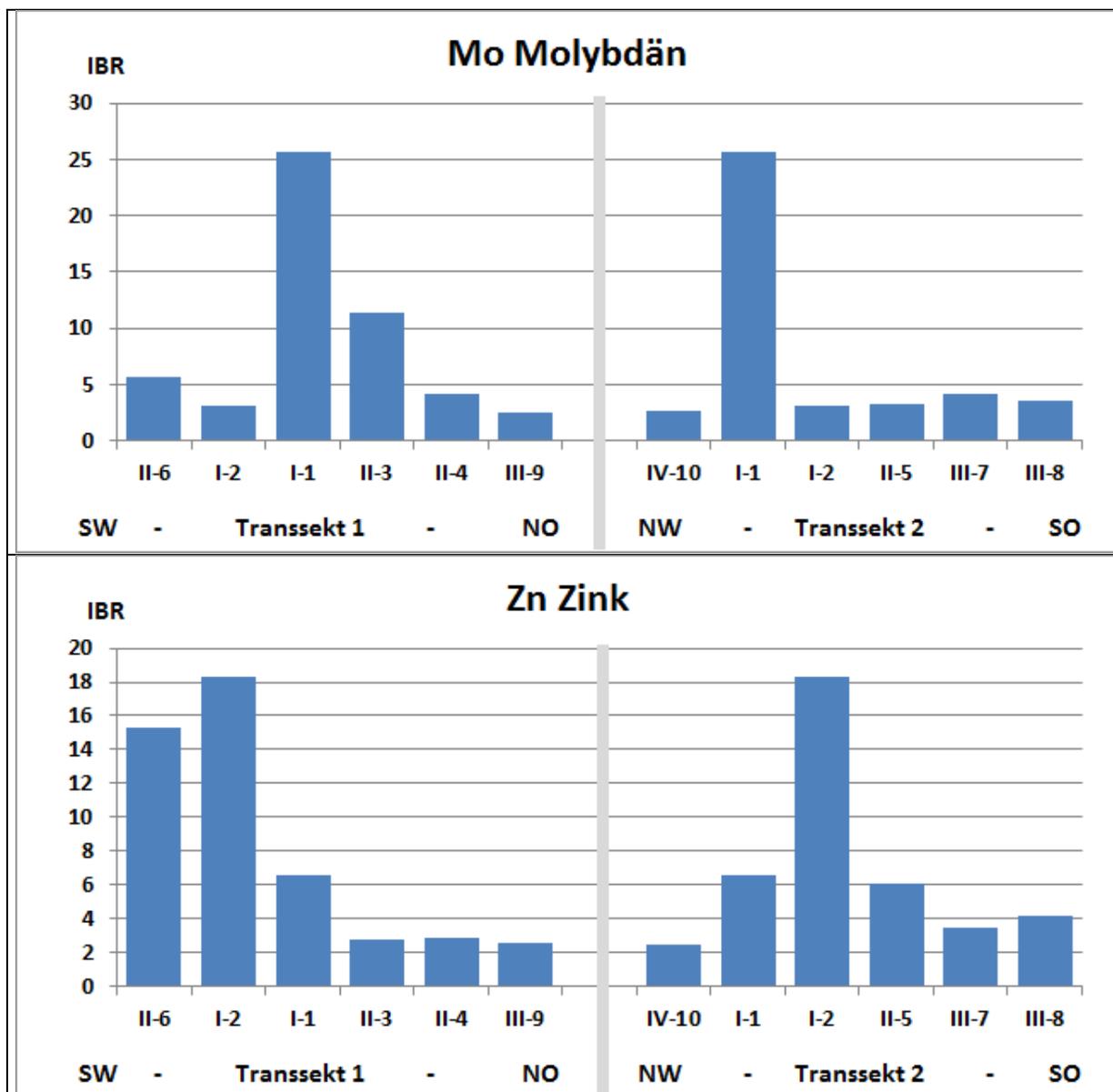


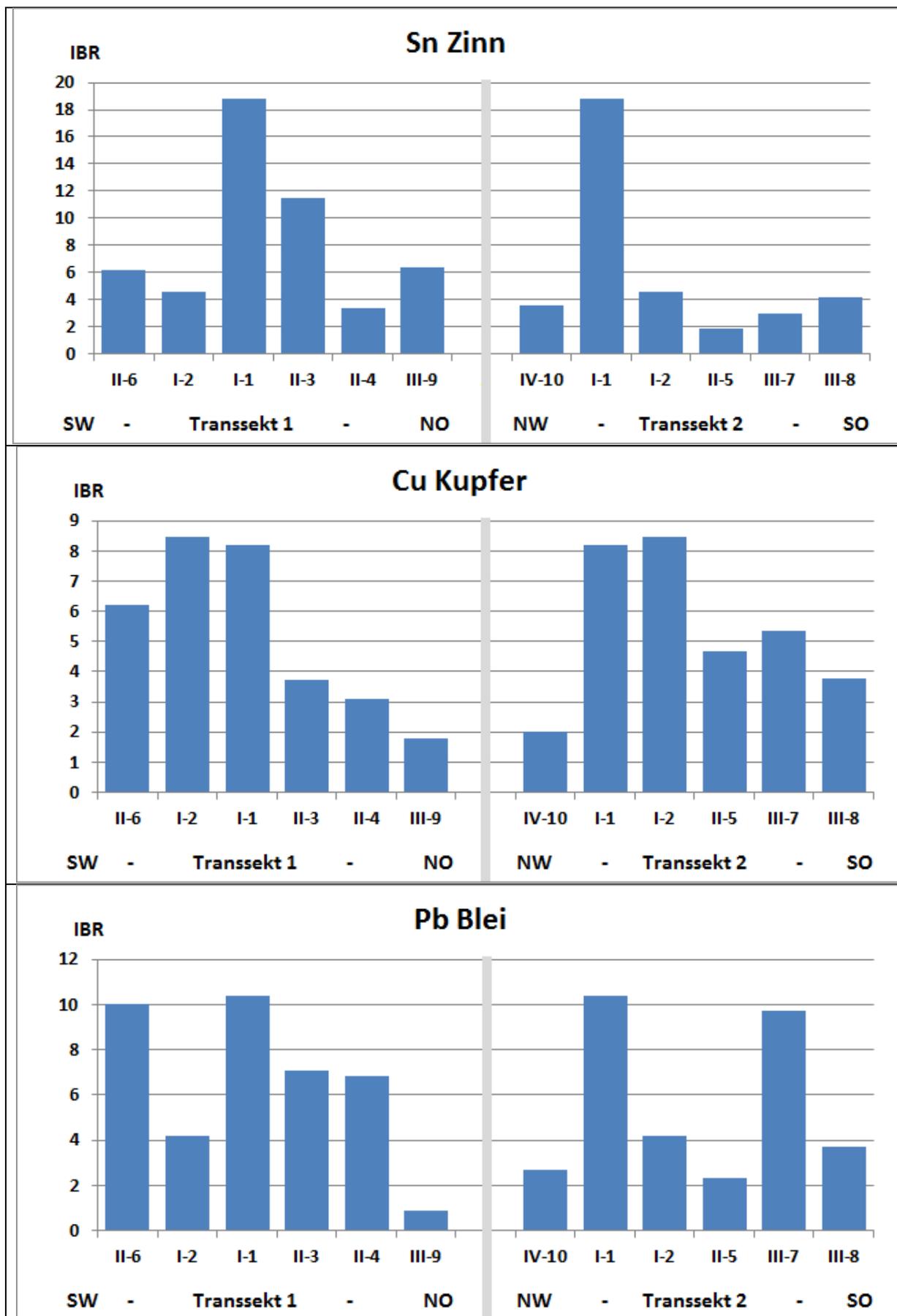
**Abb. 15: Immissionsbelastung über die Transekte für Einzelgradienten
 - auffällige Elemente mit deponieseitig höheren Werten**

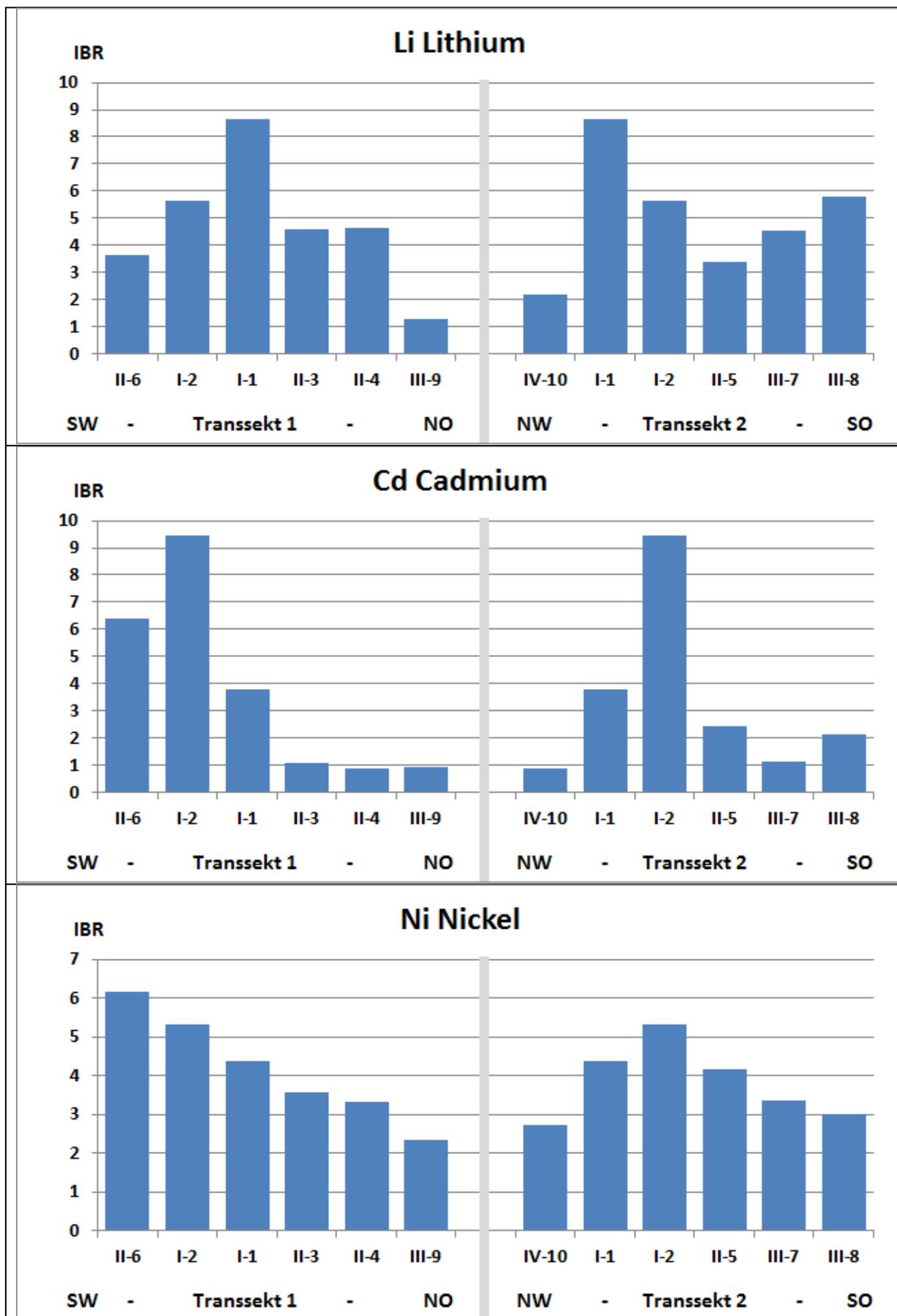
Mo, Zn, Sn, Cu, Pb, Li, Cd, Tl, Co Ni, Mn, Sb, W (deponieseitiger mittlerer Gradient),
 ergänzend: Bi (hoher LQIR-Wert im Nahbereich, aber anderer Gradient)

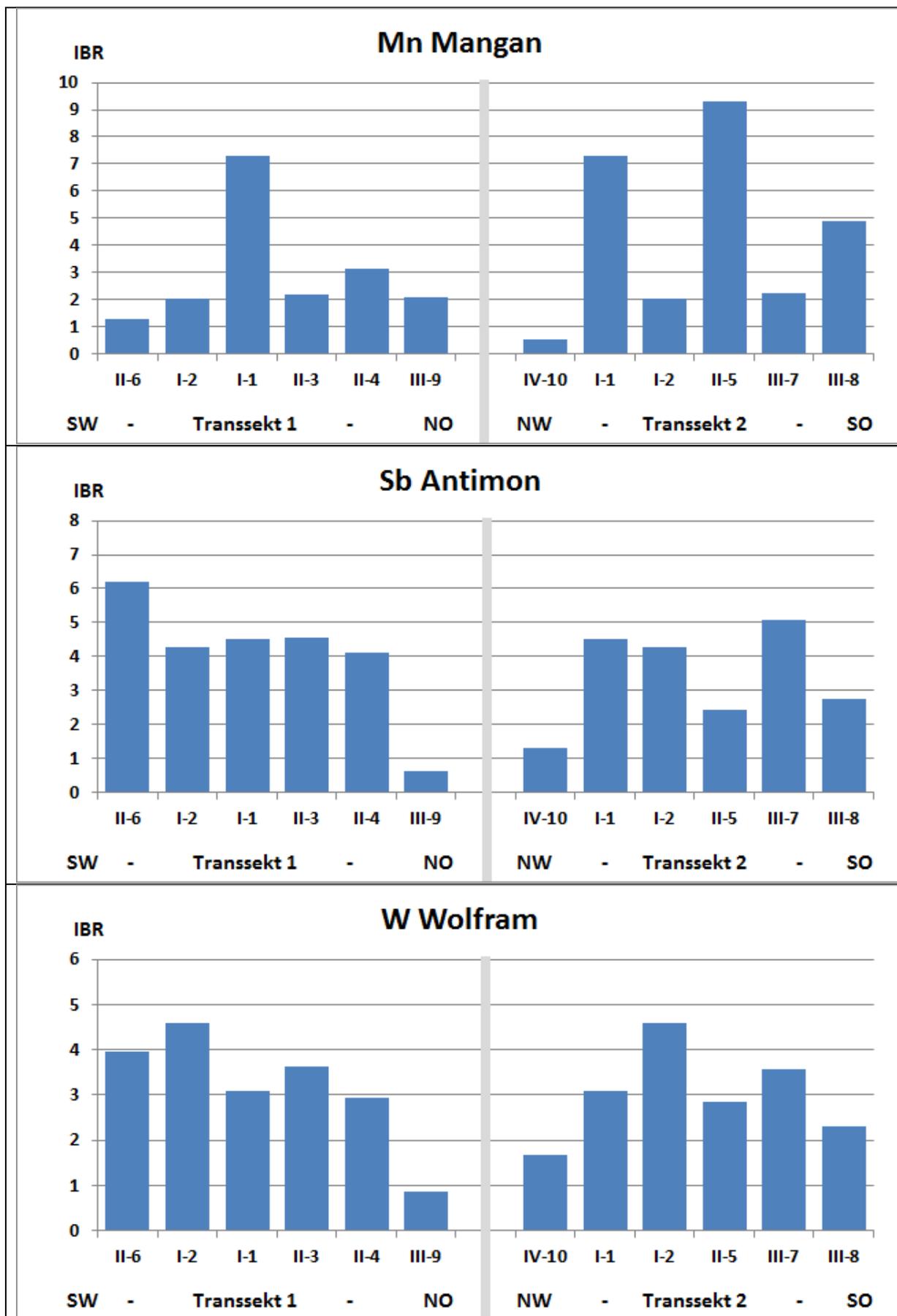
Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

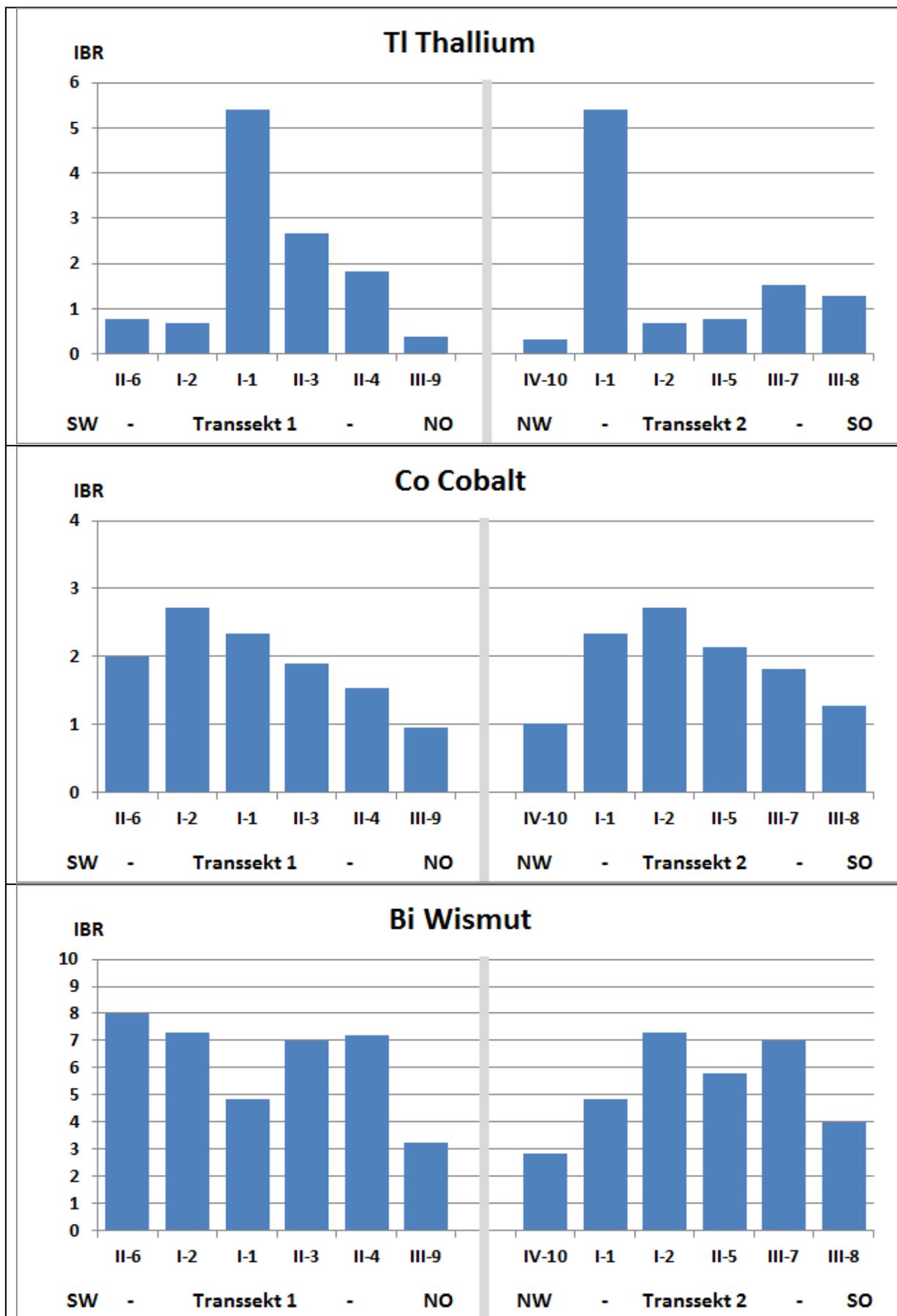
Standortbezeichnung: Zone-Standort











7.2 Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Stoffe und chemischen Prozessen. Maßgeblich für die Immissionsbelastung in der BRD sind anthropogene Quellen wie u.a. Verkehr, Feuerungsanlagen, Kamine, Industrieanlagen, Raffinerien, Abfallverarbeitung, ebenso wie Brände; natürliche Quellen sind u.a. Vulkane, die hier keine Rolle spielen. Je nach Quellen treten hierbei charakteristische Muster in den PAK auf (Profile).

7.2.1 Stoffprofile

Die Ergebnisse zur mittleren Immissionsbelastung der 4 Distanzbereiche für die PAK gehen aus Abb. 16 hervor. Die PAK zeigen insgesamt eine deutlich erhöhte Immissionsbelastung für die Bremerhavener Standorte (Distanzbereiche I-III) gegenüber der regionalen (grüne Kurve) und bundesweiten Grundbelastung (IBR = 1) und weisen damit auf den anthropogenen Immissionseinfluss hin. Die Bewertung im Luftqualitätsindex LQIR in Abb. 17 indiziert, dass die PAK-Immissionsbelastungen in einem mittleren Bereich gemessen an der Referenzbelastung der BRD einzuordnen sind.

Der Nahbereich der Deponie (Zone I) sowie die Zone II bis 1 km (rote und gelbe Kurven) treten gegenüber dem städtischen und regionalen Hintergrund (blau, grün) bei mehreren PAK mit einer höheren Belastung auf. Hierbei zeigen die Zonen I und II wechselweise die höhere Belastung an; dies weist auf unterschiedliche Quellen und Quereinflüsse hin.

7.2.2 Gradienten

In den mittleren Gradienten zeigen sich die wechselseitigen Einflüsse. Bei einigen wenigen PAK sind deponieseitige Gradienten im IBR oder LQIR, meist allerdings nur schwach ausgebildet, erkennbar (Chrysen, Benzo(a)anthracen). Bei anderen PAK verläuft der mittlere Gradient abweichend, wie exemplarisch angezeigt durch die Summe PAK und Benzo(a)pyren, letzteres Bestandteil der technischen Immissionsmessungen. Bei den PAK insgesamt weist der gesamte Stadtbereich gegenüber der regionalen Referenz erhöhte Werte auf. In allen 3 Zonen treten standörtliche Unterschiede auf und weisen auf unterschiedliche Quellen und Quereinflüsse hin. In Bezug auf den Deponiebereich zeigt sich in der räumlichen Verteilung und in den Transsekten, dass bei den PAK der östliche Deponie-Nahbereich in den Park hinein mit höheren Belastungen in Erscheinung treten, so dass ein Einfluss aus der Deponie letztlich nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Bewertung der Immissionsbelastung im Luftqualitätsindex LQIR weist bei den PAK im Nahbereich im mittleren Gradienten LQIR-Werte bis 69 aus und ordnet diese damit insgesamt einem mittleren Belastungsbereich der BRD zu.

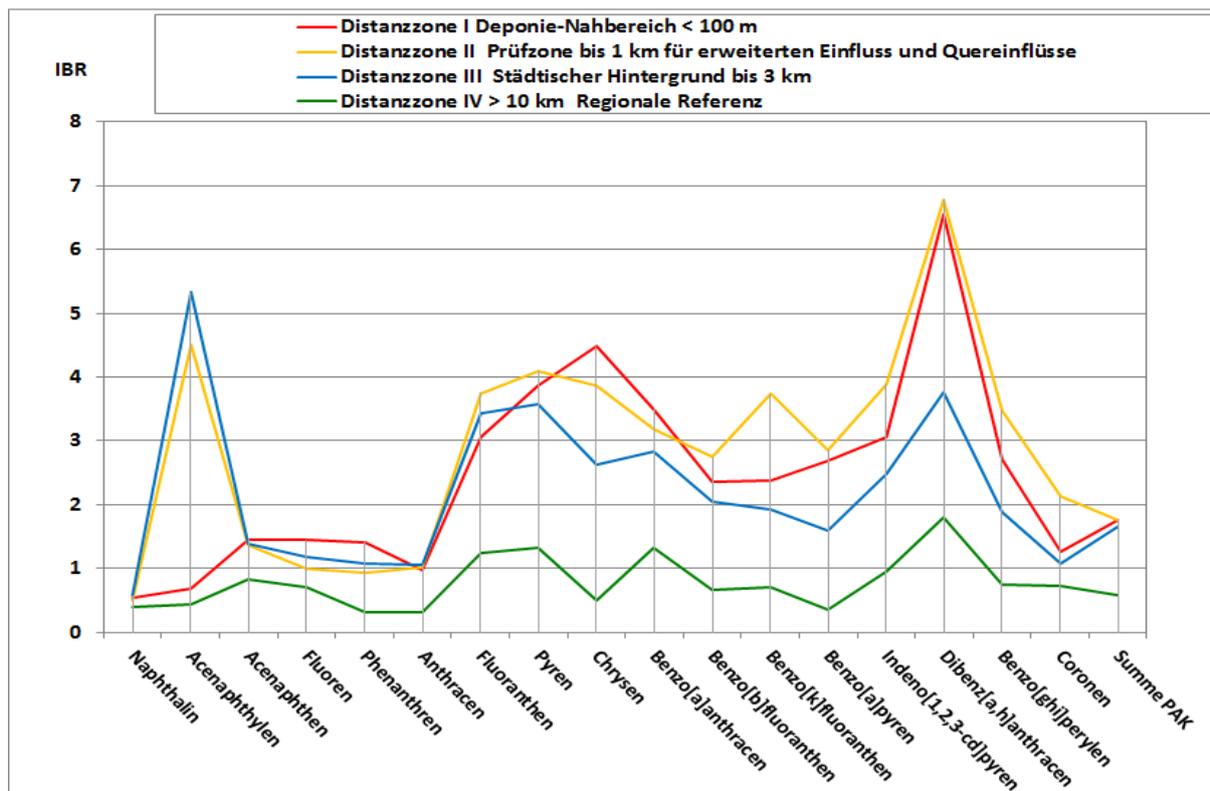


Abb. 16: Immissionsbelastung der 4 Distanzbereiche für die PAK in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

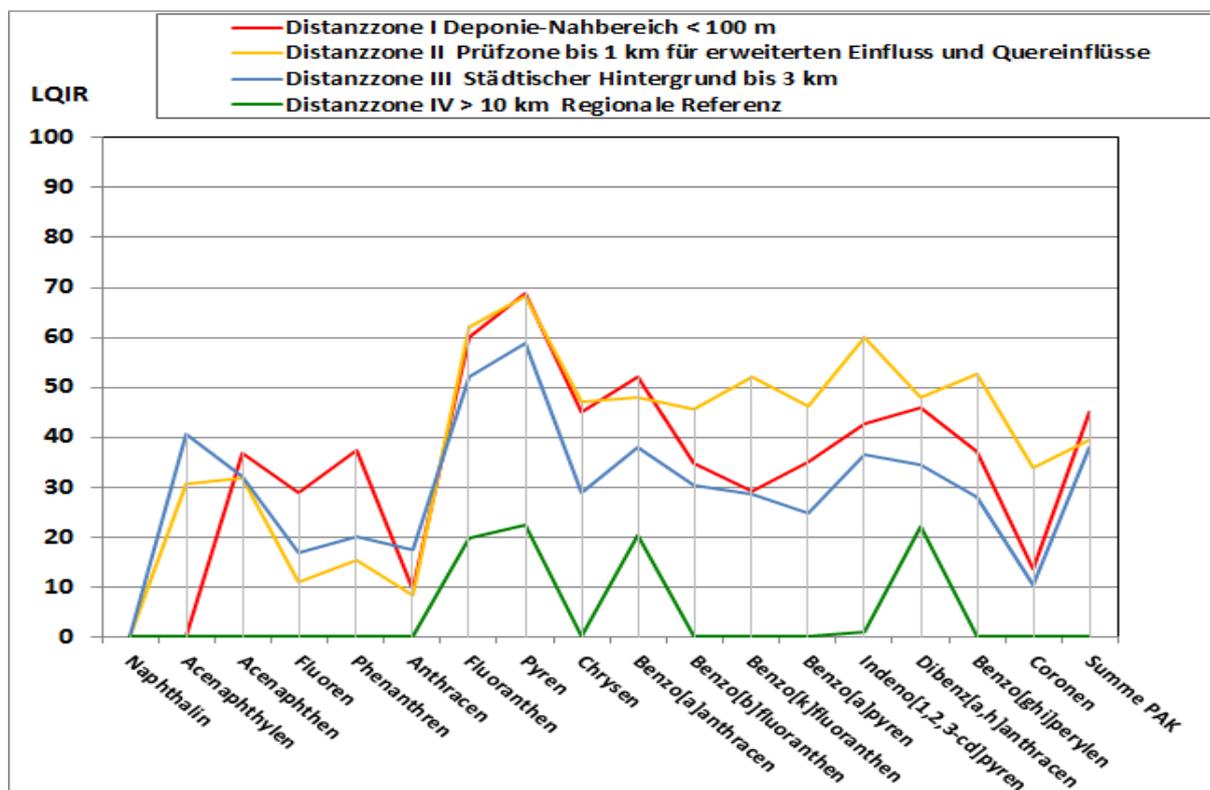


Abb. 17: Bewertung der Immissionsbelastung in den 4 Distanzbereichen für die PAK im Luftqualitätsindex LQIR

Abb. 18: Darstellung mittlerer Gradienten mit einzelstandörtlichen Werten für ausgewählte PAK

Exemplarische Auswahl: Chrysen, Benzo(a)anthracen (mittlerer deponieseitiger Gradient);
 exemplarisch für andere Verläufe: Benzo(a)pyren, Summe PAK

IBR: Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Mittlerer Gradient: Balkendiagramm, Mittelwerte der Distanzzonen (alle Richtungen)

Standörtliche Immissionsbelastung (blaue Punkte) mit Standardabweichung aus Parallelmessung

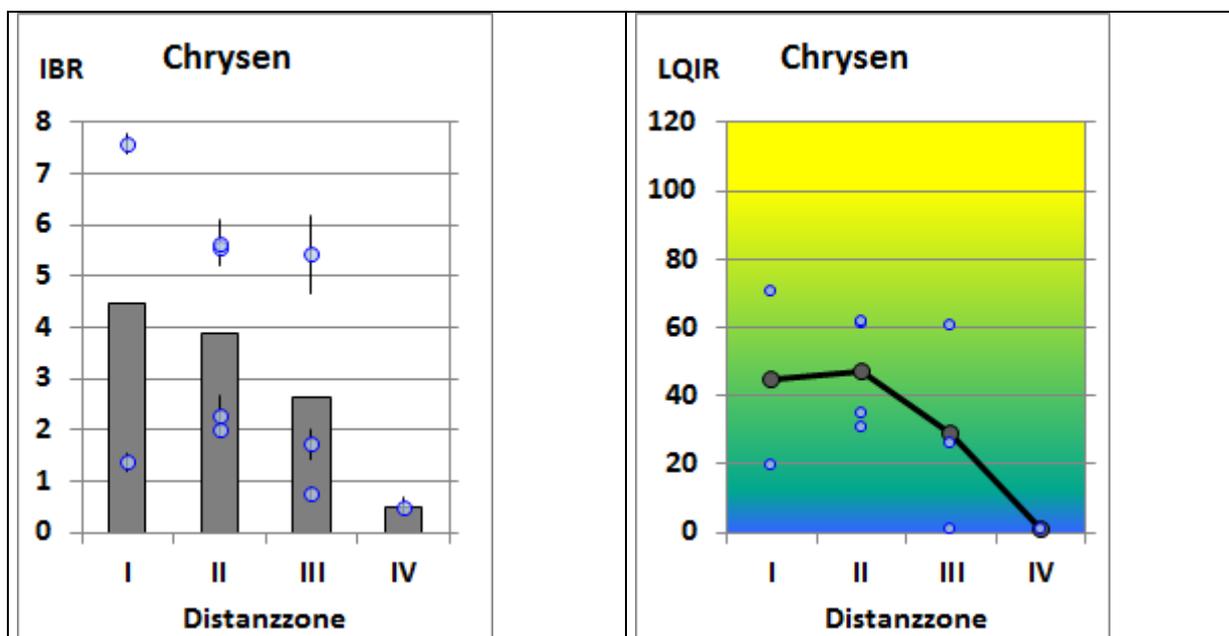
LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Hintergrundbelastung BRD

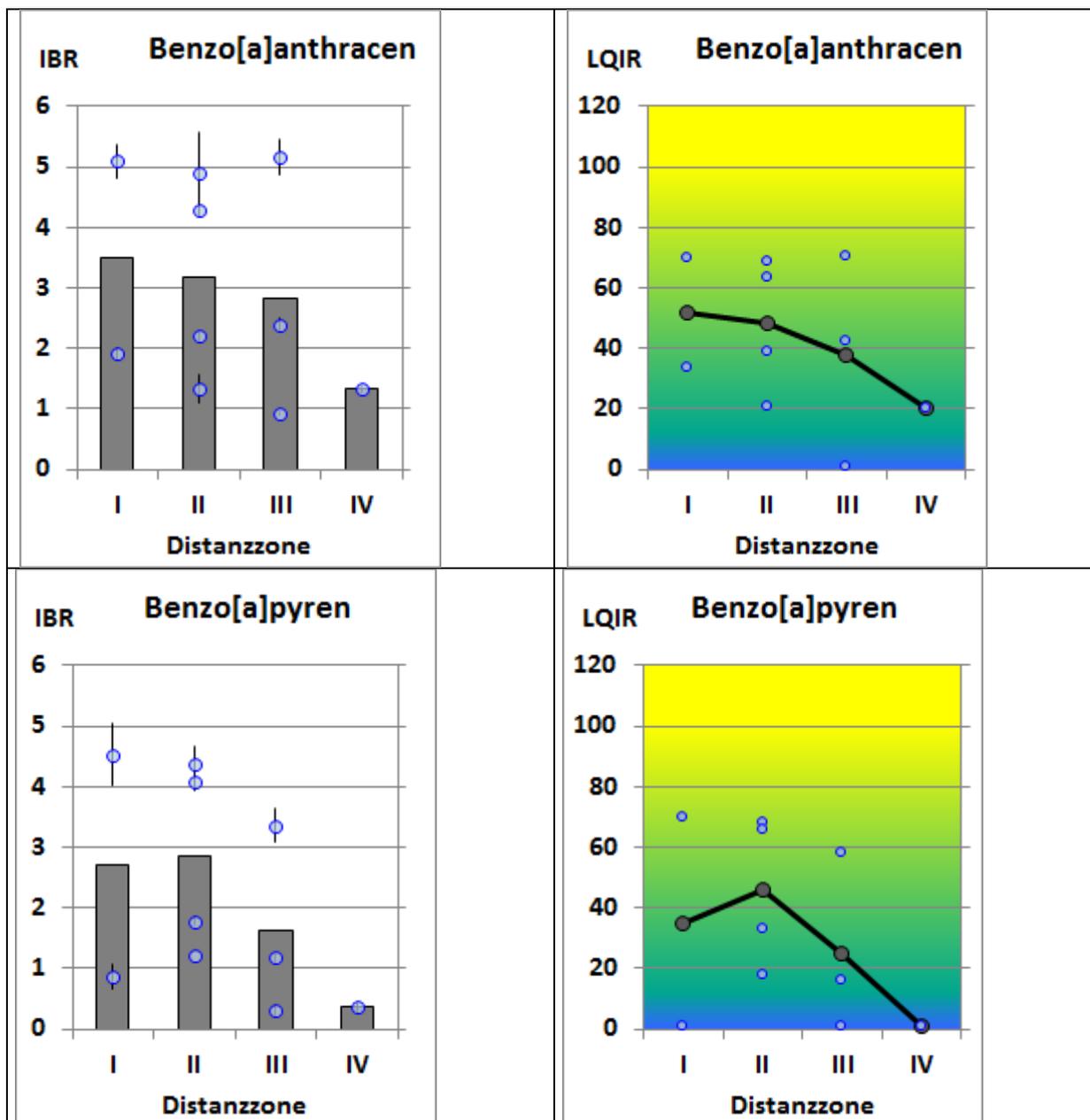
Mittlerer Gradient (Linie), Standortwerte (blaue Punkte)

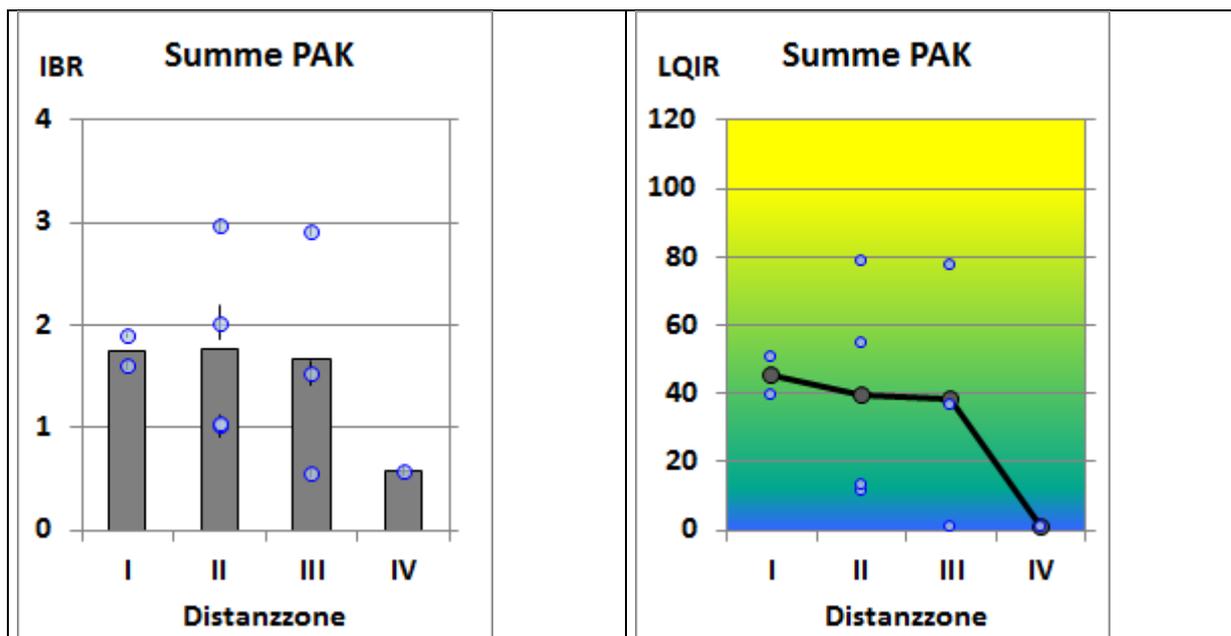
- | | | |
|--------|---|----------------|
| <10: | Grundbelastung BRD (10 %-Perzentil) | blau |
| 10-90: | mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Perzentil) | grün, gradiert |
| >90: | auffällig erhöhte Belastung (>90 %-Perzentil) | gelb |

Distanzzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse;
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)







--- Abbildung folgende Seite ---

Abb. 19: Standörtliche Verteilung der Immissionsbelastung für PAK

Exemplarische Auswahl: Chrysen, Benzo(a)anthracen (mittlerer deponieseitiger Gradient);
 exemplarisch für andere Verläufe: Benzo(a)pyren, Summe PAK

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR

Größenverhältnisse entsprechend den IBR-Werten

Distanzonen:

- rot: Deponie-Nahbereich < 100 m
- gelb: bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- blau: städtischer Hintergrund bis 3 km
- abgesetzt: regionale Referenz > 10 km

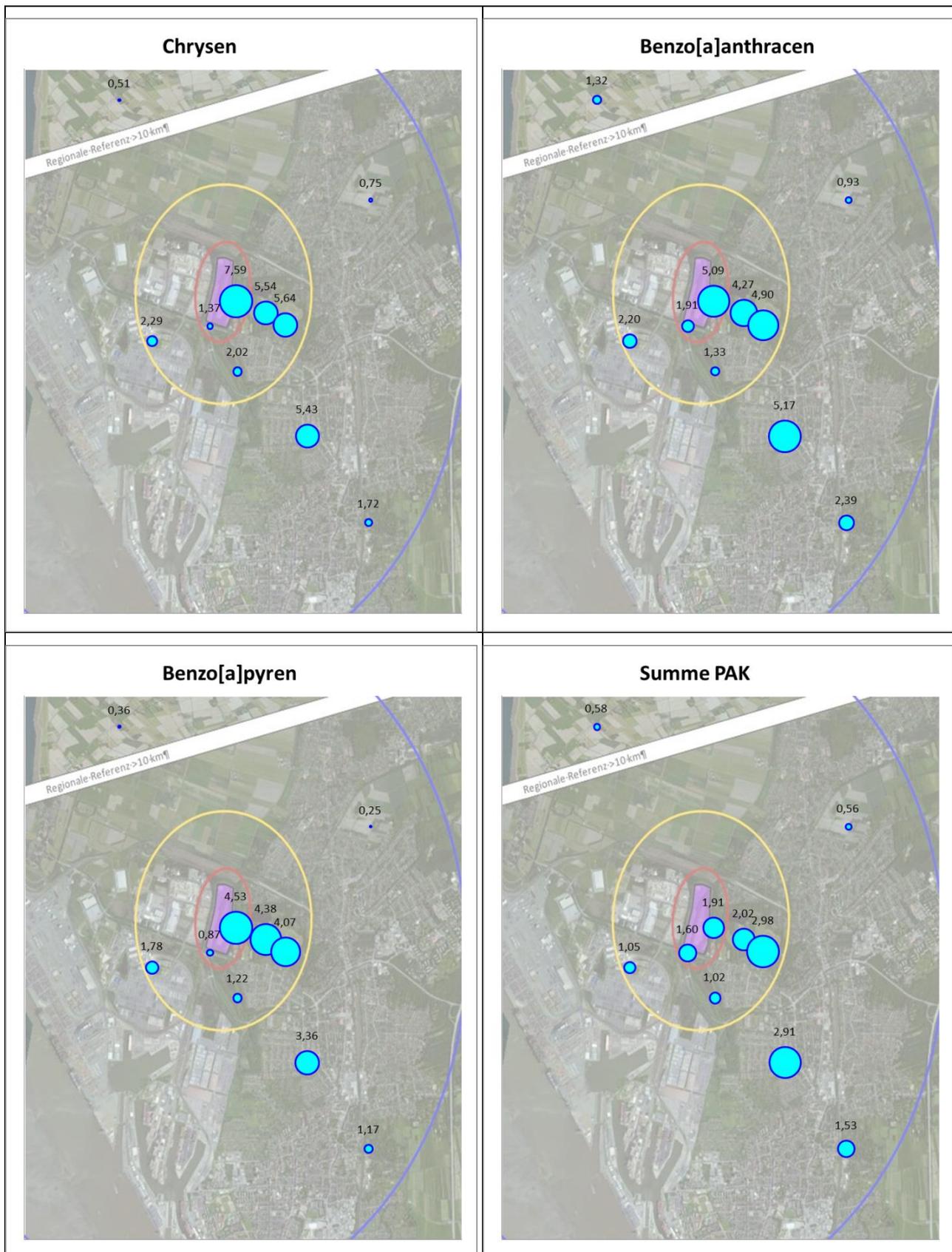
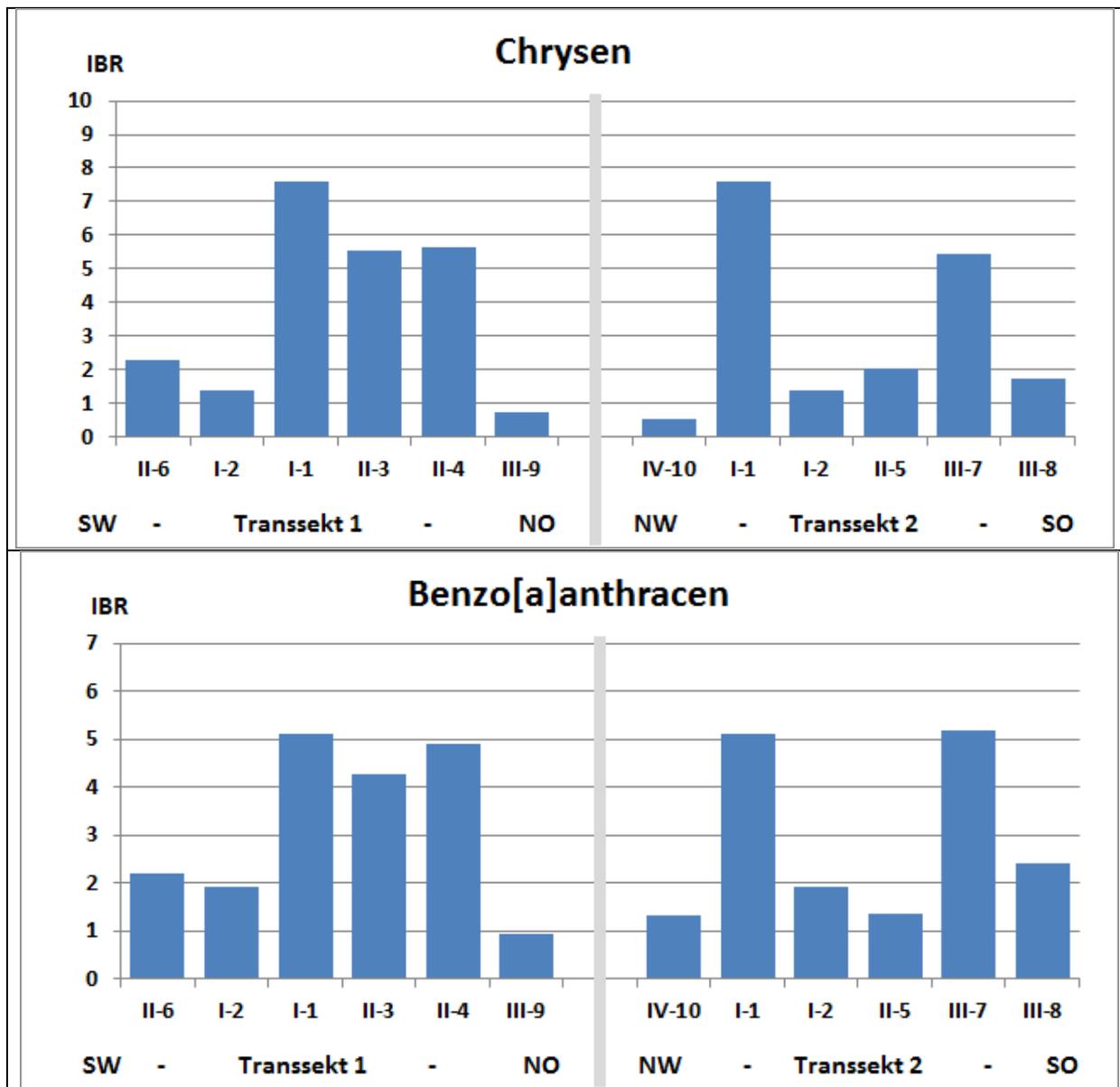


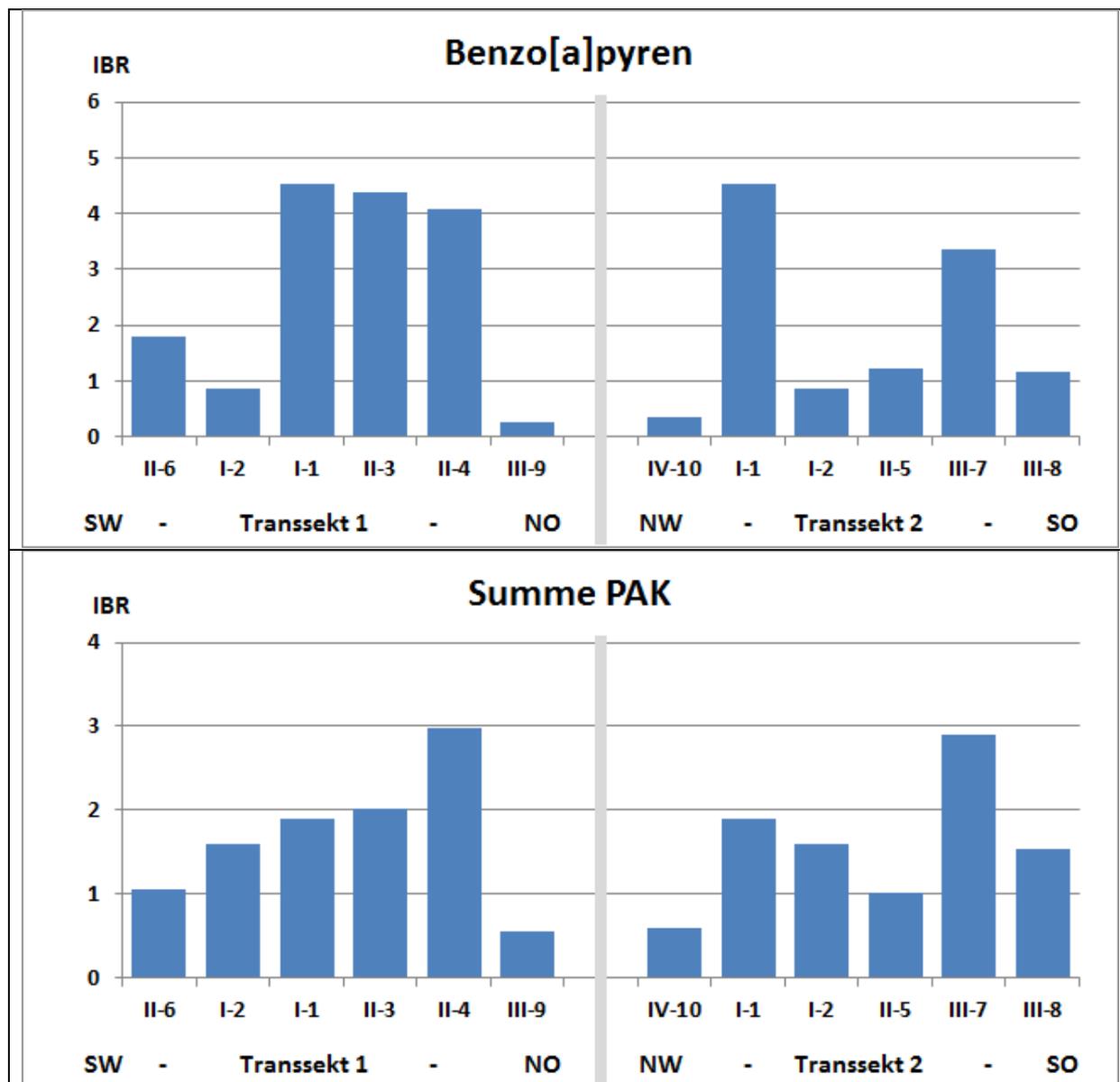
Abb. 20: Immissionsbelastung über die Transekte für Einzelgradienten - PAK

Exemplarische Auswahl: Chrysen, Benzo(a)anthracen (mittlerer deponieseitiger Gradient);
 exemplarisch für andere Verläufe: Benzo(a)pyren, Summe PAK

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Standortbezeichnung: Zone-Standort





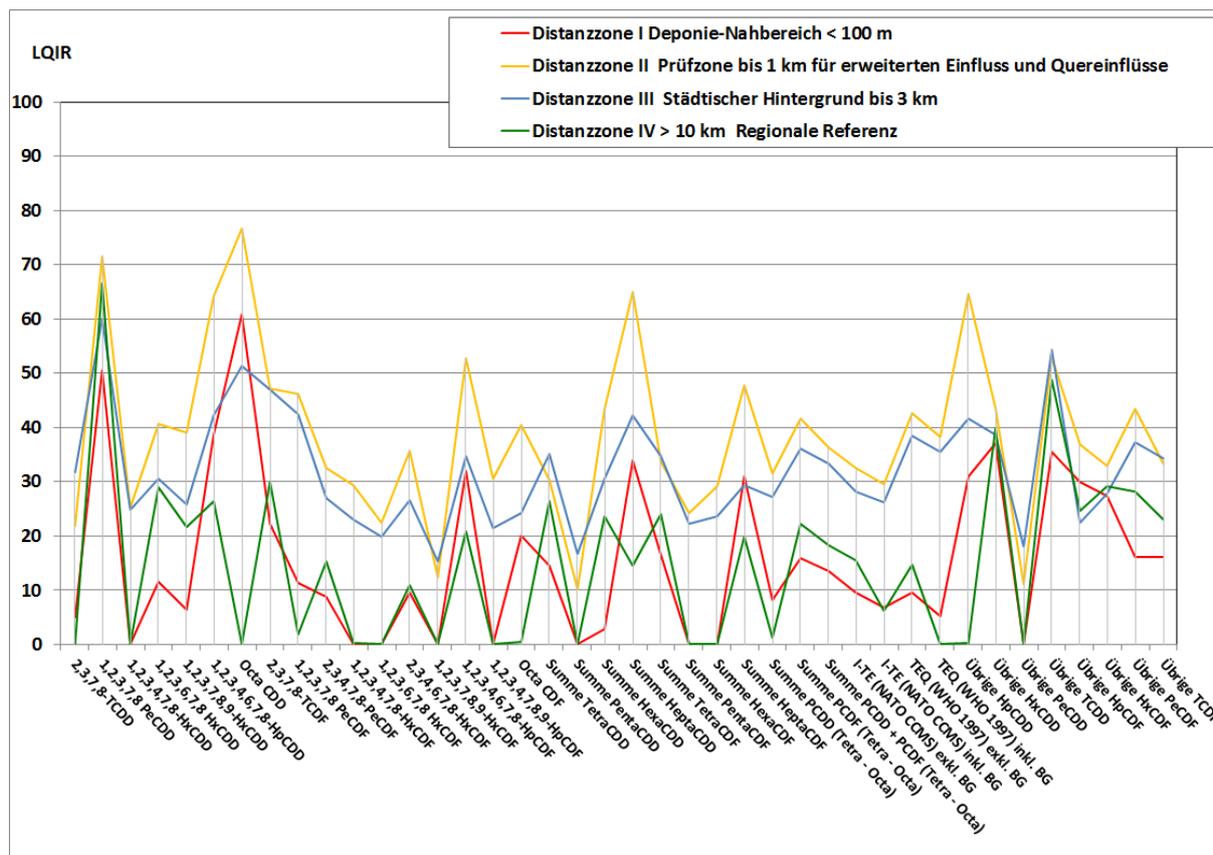


Abb. 22: Bewertung der Immissionsbelastung in den 4 Distanzbereichen für die Dioxine und Furane (PCDD/F) im Luftqualitätsindex LQIR

Abb. 23: Darstellung mittlerer Gradienten mit einzelstandörtlichen Werten für PCDD/F

Exemplarisch: Summe PCDD + PCDF (Tetra-Octa);

IBR: Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Mittlerer Gradient: Balkendiagramm, Mittelwerte der Distanzzonen (alle Richtungen)

Standörtliche Immissionsbelastung (blaue Punkte) mit Standardabweichung aus Parallelmessung

LQIR: Luftqualitätsindex, Bewertung der Immissionsbelastung in Relation zur Hintergrundbelastung BRD

Mittlerer Gradient (Linie), Standortwerte (blaue Punkte)

- | | | |
|--------|---|----------------|
| <10: | Grundbelastung BRD (10 %-Perzentil) | blau |
| 10-90: | mittlere Belastung (50 = Median = 50 %-Perzentil) | grün, gradiert |
| >90: | auffällig erhöhte Belastung (>90 %-Perzentil) | gelb |

Distanzzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse;
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)

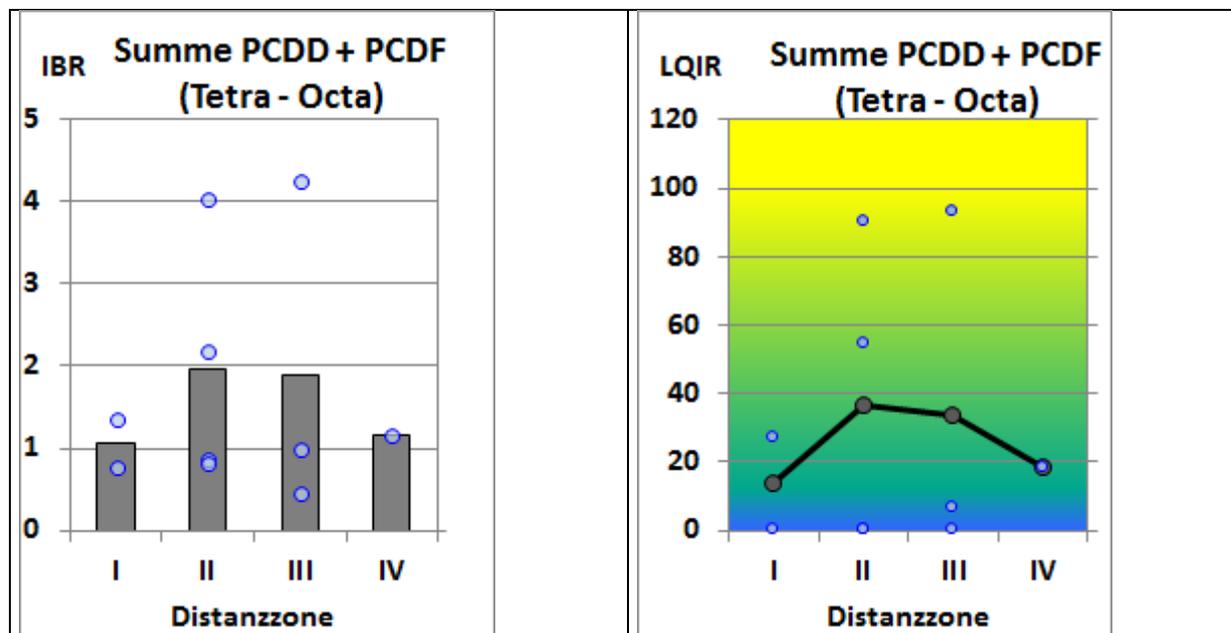


Abb. 24: Standörtliche Verteilung der Immissionsbelastung für Dioxine und Furane (PCDD/F)

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR
 Größenverhältnisse entsprechend den IBR-Werten

Distanzonen:

- rot: Deponie-Nahbereich < 100 m
- gelb: bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- blau: städtischer Hintergrund bis 3 km
- abgesetzt: regionale Referenz > 10 km

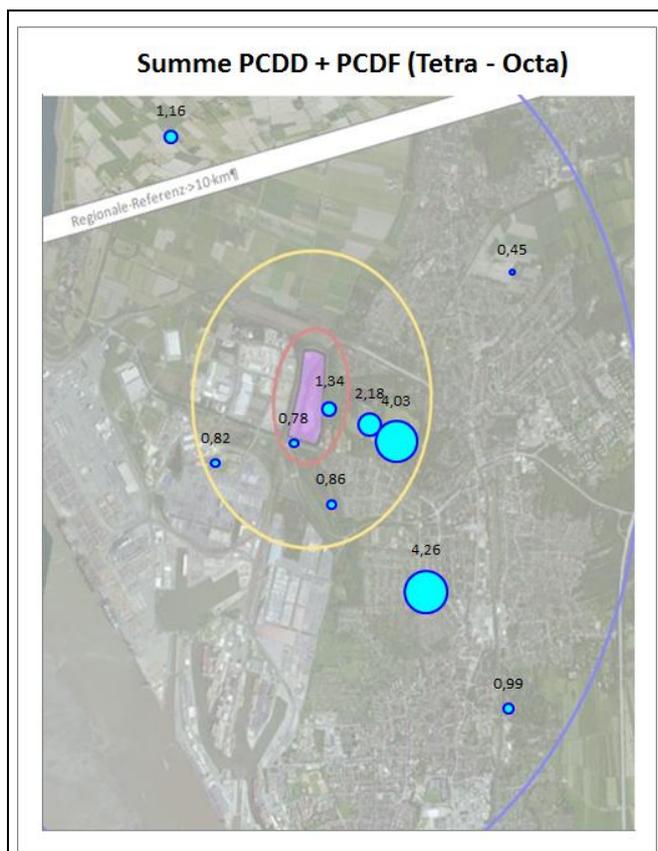
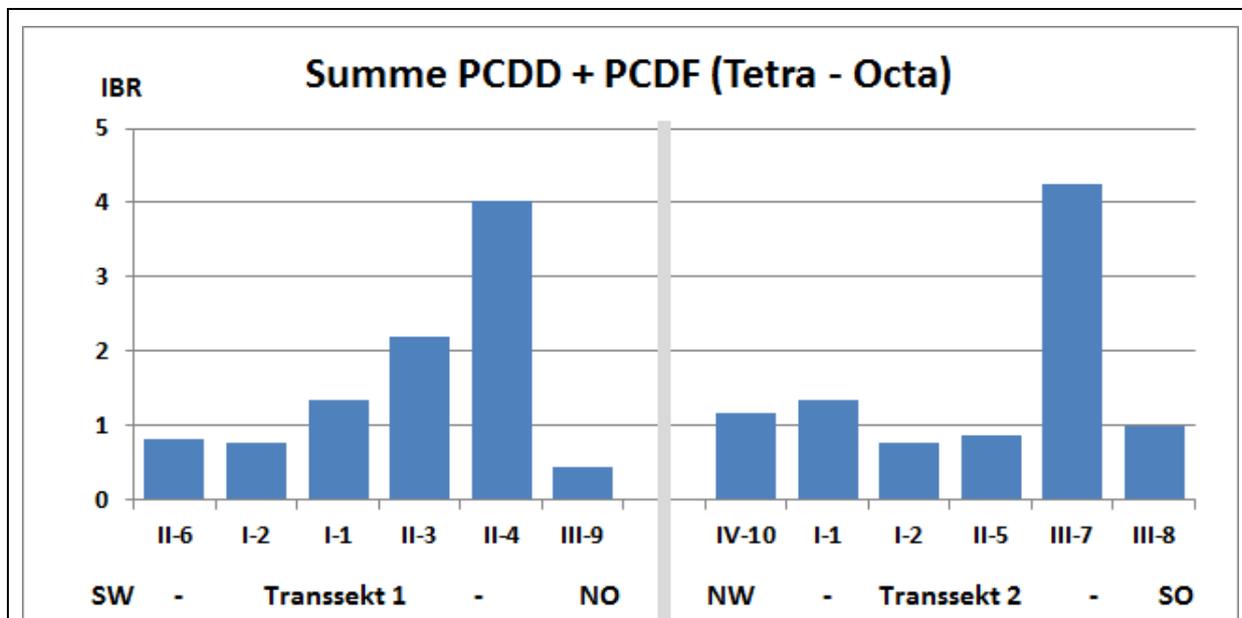


Abb. 25: Immissionsbelastung über die Transekte für Einzelgradienten – PCDD/F

Exemplarisch: Summe PCDD + PCDF (Tetra - Octa)

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

Standortbezeichnung: Zone-Standort



7.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Mit den PCDD/F wurden die dioxinähnlichen polychlorierten Biphenyle (WHO-PCB) untersucht. Die Ergebnisse zur Immissionsbelastung der PCB in den 4 Distanzbereichen werden in der Einheit IBR in Abb. 26 gezeigt. Die PCB weisen für die Bremerhavener Bereiche (Distanzbereiche I-III) höhere Werte gegenüber der regionalen (grüne Kurve) und bundesweiten Grundbelastung (IBR = 1) auf. Hierbei ragt der Distanzbereich II einheitlich aus der Umgebung hervor. Eine genauere Bewertung der PCB im LQIR ist derzeit auf Grund einer fehlenden Vergleichsdatenbasis für Deutschland noch nicht möglich.

Die PCB-Parameter zeigen ähnliches Verhalten bei einem anders verlaufenden Gradienten, der auf eine Herkunft abseits des Deponiebereiches hindeutet (Abb. 27). Dies geht auch aus der Darstellung der standörtlichen Verteilung im Raum in Abb. 28 und den Transsekten in Abb. 29 hervor.

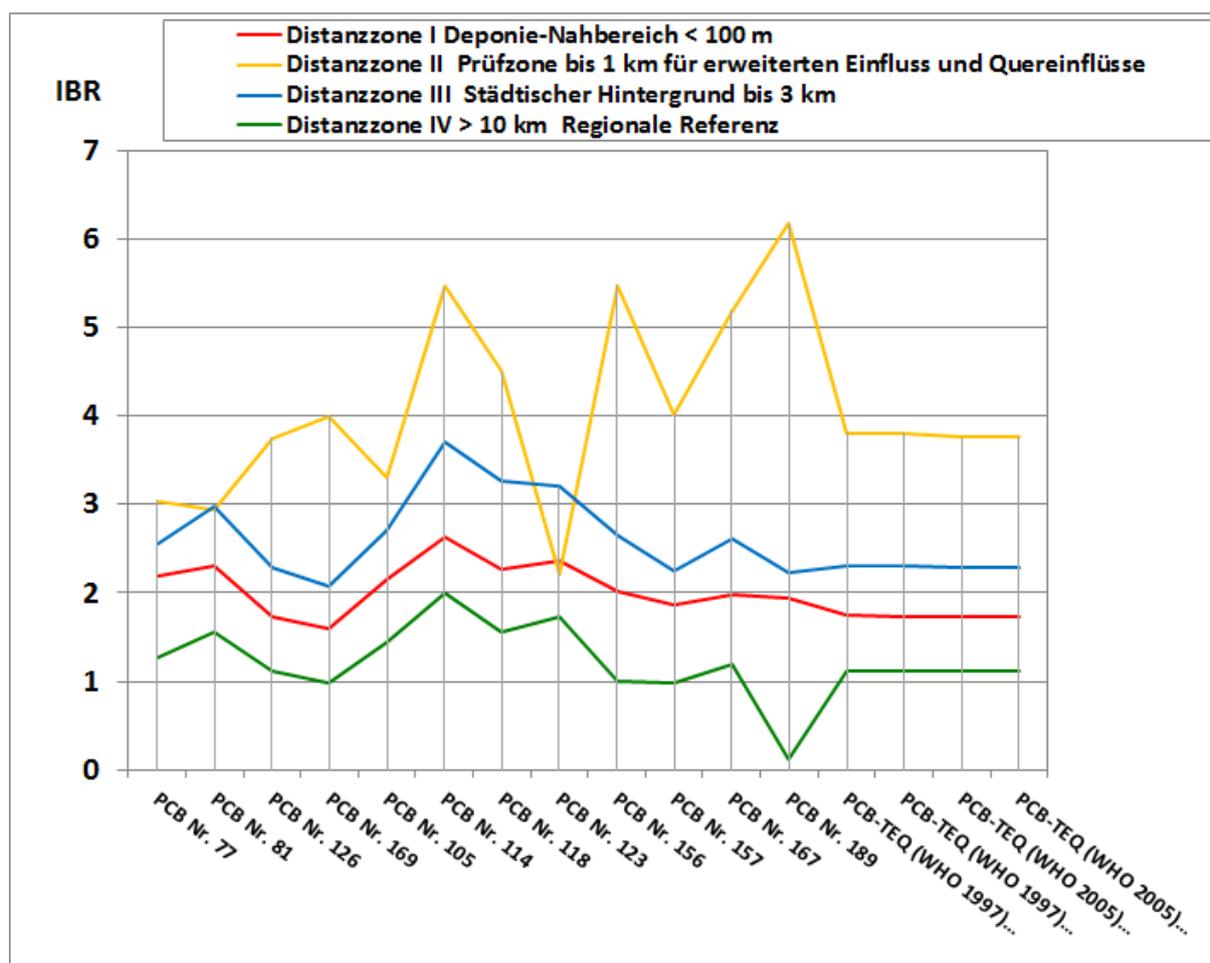


Abb. 26: Immissionsbelastung der 4 Distanzbereiche für die polychlorierten Biphenyle (PCB) in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

Abb. 27: Darstellung mittlerer Gradienten mit einzelstandörtlichen Werten für PCB

Exemplarisch: Summenparameter PCB-TEQ (WHO 2005) exkl. BG;

IBR: Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Mittlerer Gradient: Balkendiagramm, Mittelwerte der Distanzzonen (alle Richtungen)

Standörtliche Immissionsbelastung (blaue Punkte) mit Standardabweichung aus Parallelmessung

Distanzzonen:

- I Deponie-Nahbereich bis 100 m
- II bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse;
- III städtischer Hintergrund bis ca. 3 km
- IV regionale Referenz >10 km (nordwestlich)

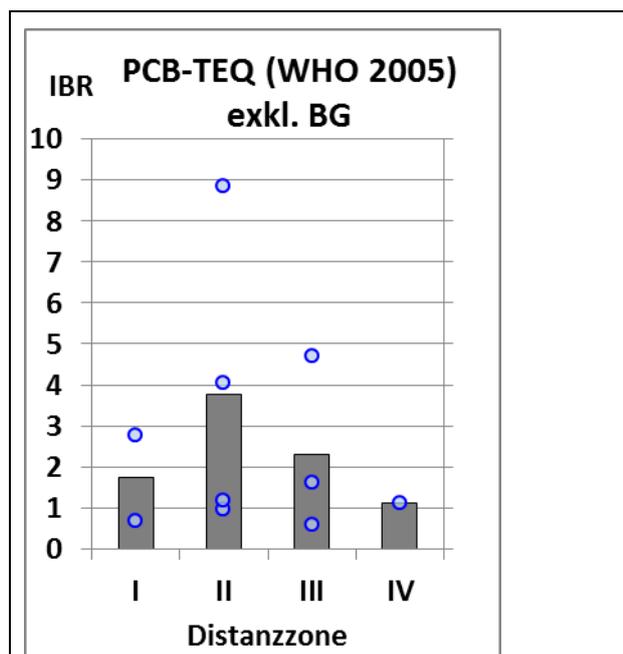


Abb. 28: Standörtliche Verteilung der Immissionsbelastung - PCB

Exemplarisch: Summenparameter PCB-TEQ (WHO 2005) exkl. BG

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR

Größenverhältnisse entsprechend den IBR-Werten

Die Distanzonen sind folgendermaßen verzeichnet:

- rot: Deponie-Nahbereich < 100 m
- gelb: bis 1 km, Prüfzone für erweiterten Einflussbereich und Quereinflüsse
- blau: städtischer Hintergrund bis 3 km
- abgesetzt: regionale Referenz > 10 km

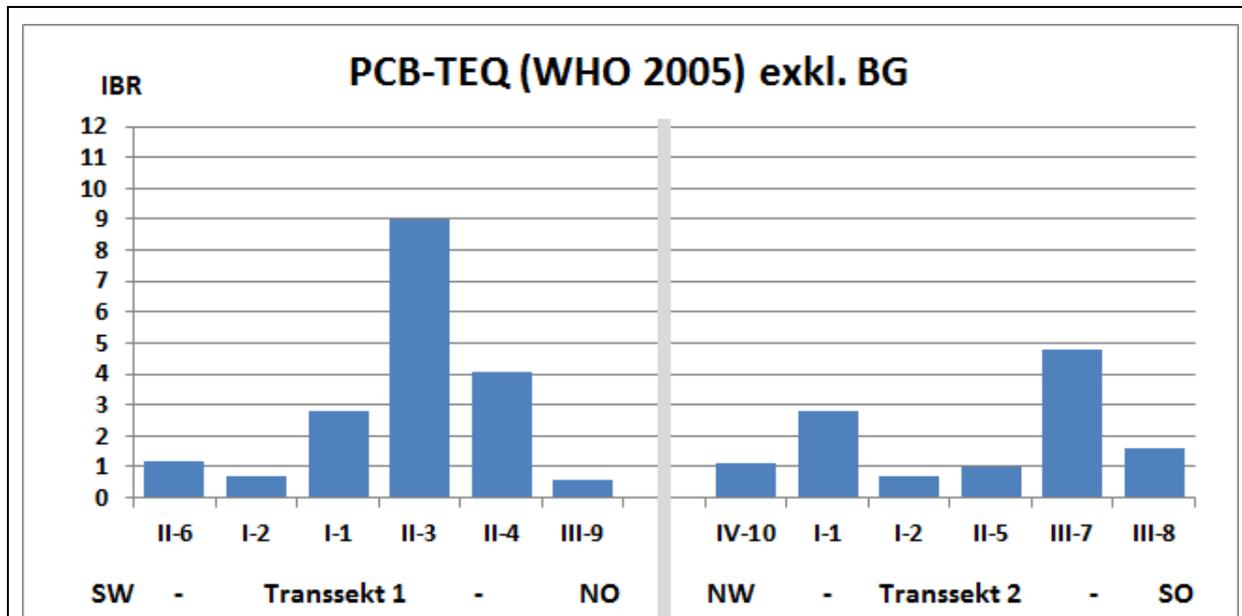


Abb. 29: Immissionsbelastung über die Transekte für Einzelgradienten – PCB

Exemplarisch: Summenparameter PCB-TEQ (WHO 2005) exkl. BG

Immissionsbelastung in der normierten Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung)

Standortbezeichnung: Zone-Standort



8. Literaturverzeichnis

Birke M, Rauch U, Chmielecki J, Werner D, Kalka H, Küppers K, Kieckbusch J, Hofmann F, Keilert B (2009): Grundlagen für die zukunftsverträgliche Entwicklung vom Bergbau betroffener sowie industriell geprägter Städte - Bearbeitungs- und Bewertungsmodell für ein nachhaltiges Flächenmanagement am Beispiel der Stadt Staßfurt: Teilvorhaben 1: Umweltgeochemische Auswertung sowie Ableitung eines Bewertungsmodells für schadstoffbelastete und bergbaugeschädigte urbane Bereiche. BMBF-Verbundvorhaben, Abschlussbericht

http://www.oekologiebuero.de/Birke_etal_2009_BMBF-Abschlussbericht_Teilvorhaben_I.pdf

Greenwood NN, Earnshaw A (1990): Chemie der Elemente. VCH Verlag.

Guéguen F, Stille, P, Geagea, M.L, Perrone, T, Chabaux, F. (2012b): Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring. Part II : Sr, Nd and Pb isotopic tracing. Chemosphere, 86: 641-647

Guéguen, F, Stille, P, Heagea, M.L, Boutin, R. (2012a): Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring. Part I: Trace element analysis. Chemosphere, 86: 1013-1019

Guéguen; Stille, P, Millet, M. (2011): Air quality assessment by tree bark biomonitoring in urban, industrial and rural environments of the Rhine Valley: PCDD/Fs, PCBs and trace metal evidence. Chemosphere, 85: 195-202

Hofmann & Schlechtriemen (2014): Immissionsmessungen – Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. Gutachten, TIEM Integrierte Umweltüberwachung, im Auftrag von LUGV Brandenburg, Eberswalde.

Hofmann (2010): Integrierte Bewertung stofflicher Mischeinflüsse in der Immissionsbelastung und Identifikation bestimmter Emissionsquellen über das Luftgüte-Rindenmonitoring. Vortrag VDI/AGES/Akad.f.Umw.+Nat. Internat. Fachtagung 27.-28.1.2010 Linz.

<http://www.oekologiebuero.de/Luftgueterindenmonitoring-Linz-20100127.pdf>

Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Reckel S (1998): Integrated Monitoring for Identifying the Specific Air Pollution Impacts of Industrial Emission Sources. In: Stravinskiene, V., Juknys, R. (Ed.) Dendrochronology and Environmental Trends. Proceedings of the International Conference Euro-Dendro 1998, Vytautas Magnus Univ., Kaunas, Litauen, 160-168.

http://www.oekologiebuero.de/Hofmann_etal_1998_Integrated_Monitoring_Eurodendro.pdf

Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Siemers U, Bracke G, Giesemann G, Duve M (2001): Luftgüte-Rindenmonitoring mit Immissions-Fingerprinting - Ein neues Probenahmegerät und Verfahren zum Biomonitoring von Luftschadstoffen für akkumulierbare Substanzen mit der Möglichkeit des Fingerprintings von Immissionsquellen. Bericht des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens. Eco-med, Landsberg, 156 S. Gate to EHS;

http://www.oekologiebuero.de/Hofmann_etal_2001_Rindenmonitoring.pdf

Krachler M (2005): Antimon – ein globaler Schadstoff. Nachrichten aus der Chemie 53: 883-886

Merian E (1991): Metalle in der Umwelt. VCH-Verlag.

Pesch R, Schröder W, Mohr K, Matter Y, Kleppin L, Holy M, Goeritz A, Genßler (2007): Moos-Monitoring 2005/2006. Schwermetall IV und Gesamtstickstoff. Abschlussbericht. UFOPLAN 20564200.

Spangenberg A, Hofmann F, Kirchner M (2002): Determining the agricultural ammonia immission using bark bio-monitoring: comparison with passive sampler measurements. J. Environ. Monit., 4, 1–6.

Thöni L., Seitler E., Schnyder E., Ehrenmann J. (2013): Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalsen 1990–2010. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1328: 170 S.

VDI 3957-10 (2012): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) - Emittentenbezogener Einsatz pflanzlicher Bioindikatoren. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd. 1a. VDI/Beuth, Berlin.

ZUS LLG (2013): Immissionsmessprogramme Nordenham 2002 – 2012. Hüttenanlagen, Deponie Galing II, Stadthafen, Blexen. Zentrale Unterstützungsstelle Luftreinhaltung, Lärm und Gefahrstoffe – ZUS LLG, Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim. Bericht Nr. 43-13-BI-013.

Bereit gestellte Unterlagen Deponie Grauer Wall

- [1] TÜV Nord (2010): Bericht über die Staubimmissionen durch die Deponie Grauer Wall.
- [2] Planfeststellungsbeschluss v. 8.5.2012. SfUBV Bremen.
- [3] Tebert (2013): Beurteilung von Berichten zu Staubimmissionen durch die Deponie „Grauer Wall“. Gutachten im Auftrag der BI-K.E.G., Ökopoll, Hamburg.
- [4] Zusammenfassung des TÜV Nord v. 21.5.2013 [Erwiderung auf Ökopoll-Gutachten]
- [5] Karten 1 + 2 der Immissionsmessungen zu STN und PM10
- [6] Das Bremer Luftüberwachungssystem – Sondermessprogramm Bremerhaven 2014 / 2015
 - 1. Quartalsbericht 2.12.2014
 - 2. Quartalsbericht 2.3.2015
 - 3. Bericht 1.4.2015
 - Bericht 3.7.2015
 - Kurzbericht 31.8.2015

weitere Unterlagen: <http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.3573.de>

Analysen
Gutachten
Planungen
Beratung



Integrierte Umweltüberwachung GbR

Ökotoxikologie
Biomonitoring
Umweltüberwachung
Naturschutz

Luftgüte-Rindenmonitoring für ein Screening der Immissionsbelastung Deponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven - Teil III Anhang -

von

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen

Auftraggeber:

Magistrat der Seestadt Bremerhaven
- Umweltschutzamt, Herr Lutz Becker
Wurster Str. 49, 27580 Bremerhaven

Bremen/Dortmund, 28.9.2015

Das Gutachten ist nur in vollständiger Form zugänglich zu machen.

Teile und Auszüge nur mit schriftlicher Genehmigung von TIEM.

Das Gutachten besteht aus 79 Seiten und Anhängen.

TIEM Integrierte Umweltüberwachung GbR

TIEM Bremen
Ökologiebüro
Dipl.-Biol. Frieder Hofmann
Rennstieg 25 28205 Bremen
Tel.: 0421-706474 Fax: 0421-74106

TIEM Dortmund - Geschäftsstelle
Forstsachverständigenbüro
Dipl.-Forstwirt Ulrich Schlechtriemen
Hohenzollernstr. 20 44135 Dortmund
Tel.: 0231-2239 5933 Fax: 0231-2239 6548

e-mail: tiem@arcor.de

Teil III Anhang

Tab. 4: Standorte und Proben im Luftgüte-Rindenmonitoring für das Screening der Immissionsbelastung Deponie „Grauer Wall“ in Bremerhaven

Zone: Distanzzone

Art: Baumart S – Standard, vergleichbare Rindenstruktur/Akkumulation wie Eiche

Exposition: Grad der freien Anströmbarkeit, Standard 3-5

FG: Frischgewicht

Standort Probe	Zone	Distanz Deponie	Art S / N	Expos 1-6	FG g	Breite	Länge	Datum	Standort
1	I	O <100 m	S	3-4	58	53°35'27"N	8°34'29"O	20.4.15	Speck.Park westlich, Baumreihe
2	I	S <100 m	S	3	51	53°35'16"N	8°34'09"O	24.4.15	Wurster Str. , Baumreihe SSW v. Deponie
3	II	OSO 550 m	S	4	88	53°35'21"N	8°34'51"O	21.4.15	Speck. Park Mitte Spielplatz Baumgruppe
4	II	OSO 860 m	S	3-4	51	53°35'17"N	8°35'05"O	20.4.15	Speck. Park östlich Baumreihe/Gruppe
5	II	SSO 700 m	S	3-4	59	53°34'58"N	8°34'30"O	20.4.15	Grünzug Neue Aue Baumgruppe/Reihe
6	II	WSW 850 m	S	3-4	38	53°35'10"N	8°33'25"O	27.4.15	Carl Schurz Baumgruppe Hafen
7	III	SO 1,9 km	S	3-4	67	53°34'31"N	8°35'22"O	20.4.15	Park Umweltamt, Baumgruppe
8	III	SO 3,2 km	S	3-4	46	53°33'55"N	8°36'08"O	27.4.15	Friedhof Lehe III Park, Baumgruppe
9	III	ONO 2,1 km	S	4	77	53°36'09"N	8°36'07"O	18.4.15	Langen, Am Langen Berg Baumgruppe/Reihe
10 a b	IV	NNW 10,5-11,5 km	S	3-4	64	53°40'28"N 53°41'36"N	8°29'18"O 8°31'30"O	24.4.15	Regionale Referenz Baumgruppen Standortmischprobe bei Misselwarden

Tab. 5: Stoffgehalte der Elemente in den Rindenproben [mg/kg] – Einzelwerte

Elemente	Einheit	NWG	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Calcium	Ca mg/kg	100	15426	14718	25783	27420	10688	9718	7153	7420	9291	9395
Kalium	K mg/kg	20	528	525	1073	1202	583	639	861	819	1007	1030
Magnesium	Mg mg/kg	5	418	443	1250	1411	381	364	298	297	956	892
Mangan	Mn mg/kg	0,5	311,2	274,6	83,8	79,3	94,4	79,7	133,6	117,4	400,7	345,8
Stickstoff	N mg/kg	10	10981	11961	11023	11626	15081	16617	18927	20337	21351	22075
Phosphor	P mg/kg	10	341	312	454	432	355	369	773	679	817	811
Silber	Ag mg/kg	0,001	0,140	0,140	0,140	0,140	0,199	0,199	0,164	0,164	0,164	0,164
Aluminium	Al mg/kg	1	1635	1814	1264	865	2001	2061	1904	2160	1828	1904
Arsen	As mg/kg	0,01	0,61	0,53	0,32	0,31	0,86	0,75	1,03	0,74	0,49	0,44
Barium	Ba mg/kg	0,1	267	281	80	85	265	316	203	200	51	50
Beryllium	Be mg/kg	0,005	0,26	0,15	0,21	0,16	0,19	0,12	0,17	0,16	0,06	0,03
Wismut	Bi mg/kg	0,01	0,357	0,415	0,655	0,514	0,506	0,614	0,548	0,606	0,423	0,506
Cadmium	Cd mg/kg	0,01	1,08	1,30	2,90	3,08	0,33	0,36	0,23	0,33	0,78	0,78
Cobalt	Co mg/kg	0,04	1,44	1,31	1,67	1,51	1,25	0,96	1,03	0,75	1,35	1,14
Chrom	Cr mg/kg	0,04	8,96	8,23	13,45	7,10	10,13	9,90	9,47	7,81	10,36	8,09
Cäsium	Cs mg/kg	0,005	0,10	0,08	0,07	0,07	0,14	0,14	0,13	0,12	0,17	0,14
Kupfer	Cu mg/kg	0,1	61,70	59,75	62,09	63,46	28,31	26,95	23,63	22,46	35,54	33,78
Eisen	Fe mg/kg	50	2280	2241	1361	1277	3072	3018	2985	2517	3185	2997
Gallium	Ga mg/kg	0,005	0,73	0,41	0,26	0,18	1,03	0,79	0,94	0,81	0,41	0,36
Germanium	Ge mg/kg	0,005	0,54	0,39	0,19	0,08	0,75	0,50	0,69	0,49	0,30	0,33
Quecksilber	Hg mg/kg	0,005	0,09	0,10	0,06	0,07	0,14	0,14	0,16	0,15	0,08	0,07
Lithium	Li mg/kg	0,02	1,49	2,03	1,08	1,23	0,94	0,93	1,16	0,75	0,67	0,72
Molybdän	Mo mg/kg	0,05	1,66	2,28	0,19	0,29	0,78	0,97	0,29	0,35	0,21	0,28
Natrium	Na mg/kg	10	394	267	904	714	749	577	530	404	884	711
Niob	Nb mg/kg	0,01	0,13	0,17	0,12	0,16	0,24	0,25	0,25	0,25	0,24	0,23
Nickel	Ni mg/kg	0,1	6,19	5,50	7,62	6,58	4,43	5,11	4,56	4,28	5,55	5,56
Blei	Pb mg/kg	0,2	328,10	322,13	128,26	135,22	230,66	212,77	216,74	212,77	74,37	71,59
Rubidium	Rb mg/kg	0,05	3,24	3,11	2,17	2,15	3,64	3,26	4,28	4,00	9,22	8,05

Elemente	Einheit	NWG	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Schwefel	S mg/kg	10	1725		1893		3079		3391		3295	
Antimon	Sb mg/kg	0,004	0,98	0,84	0,85	0,89	1,03	0,83	0,81	0,86	0,41	0,58
Selen	Se mg/kg	0,01	0,25	0,25	0,21	0,18	0,44	0,44	0,44	0,43	0,35	0,24
Zinn	Sn mg/kg	0,01	4,49	4,82	1,27	1,00	2,54	3,17	0,92	0,75	0,36	0,55
Strontium	Sr mg/kg	0,1	48,5	48,2	90,3	92,4	49,1	46,9	32,7	32,0	39,6	37,0
Thorium	Th mg/kg	0,005	0,079	0,272	0,054	0,097	0,139	0,212	0,139	0,188	0,115	0,139
Titan	Ti mg/kg	0,5	19,7	18,9	20,3	17,4	33,9	30,5	42,4	41,2	42,7	31,4
Thallium	Tl mg/kg	0,01	0,39	0,40	0,04	0,06	0,20	0,19	0,13	0,13	0,06	0,06
Uran	U mg/kg	0,01	0,06	0,06	0,04	0,03	0,10	0,10	0,11	0,10	0,06	0,06
Vanadium	V mg/kg	0,02	12,98	11,82	7,89	7,70	14,32	12,60	13,38	12,16	10,91	9,48
Wolfram	W mg/kg	0,005	0,15	0,11	0,22	0,17	0,19	0,12	0,15	0,09	0,15	0,09
Zink	Zn mg/kg	0,2	121,4	119,2	335,9	332,4	51,1	48,8	55,6	50,3	115,9	105,4
Zirconium	Zr mg/kg	0,05	0,76	1,00	1,24	1,86	2,25	3,02	2,14	3,98	2,57	2,67
Cer	Ce mg/kg	0,004	1,79	1,87	0,69	0,64	1,83	1,72	1,65	1,65	1,05	1,00
Lanthan	La mg/kg	0,01	0,25	0,27	0,10	0,10	0,25	0,23	0,23	0,23	0,16	0,15
Dysprosium	Dy mg/kg	0,001	0,28	0,28	0,11	0,10	0,28	0,26	0,25	0,25	0,16	0,15
Erbium	Er mg/kg	0,001	0,1774	0,1712	0,0612	0,0603	0,1543	0,1410	0,1366	0,1534	0,1002	0,0869
Europium	Eu mg/kg	0,001	0,0905	0,0799	0,0355	0,0319	0,0808	0,0728	0,0781	0,0816	0,0559	0,0461
Gadolinium	Gd mg/kg	0,001	0,0785	0,0828	0,0287	0,0287	0,0732	0,0785	0,0615	0,0615	0,0340	0,0297
Holmium	Ho mg/kg	0,0010	0,2513	0,2258	0,0828	0,0847	0,2294	0,2112	0,2149	0,1948	0,1338	0,1165
Lutetium	Lu mg/kg	0,001	0,0340	0,0330	0,0132	0,0123	0,0330	0,0283	0,0292	0,0302	0,0217	0,0170
Neodym	Nd mg/kg	0,001	0,0137	0,0116	0,0063	0,0053	0,0116	0,0116	0,0137	0,0137	0,0106	0,0085
Praseodym	Pr mg/kg	0,001	0,7336	0,7409	0,2813	0,2631	0,7179	0,6851	0,6560	0,6597	0,4208	0,3965
Samarium	Sm mg/kg	0,001	0,1928	0,2045	0,0782	0,0736	0,2032	0,1876	0,1824	0,1837	0,1114	0,1081
Terbium	Tb mg/kg	0,001	0,1441	0,1577	0,0551	0,0564	0,1536	0,1468	0,1305	0,1360	0,0823	0,0768
Thulium	Tm mg/kg	0,001	0,0269	0,0269	0,0090	0,0098	0,0269	0,0244	0,0228	0,0236	0,0155	0,0130
Ytterbium	Yb mg/kg	0,001	0,0154	0,0143	0,0077	0,0055	0,0154	0,0132	0,0143	0,0154	0,0099	0,0077

Element	Einheit	NWG	6.1	6.2	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2
Calcium	Ca mg/kg	100	13081	14073	9448	8428	12563	13851	11859	10585	14819	15000
Kalium	K mg/kg	20	771	941	688	747	712	914	391	418	1128	1309
Magnesium	Mg mg/kg	5	1043	1083	395	393	567	671	786	737	1265	1211
Mangan	Mn mg/kg	0,5	51,1	50,6	96,4	80,8	192,8	200,4	94,0	73,6	24,0	19,4
Stickstoff	N mg/kg	10	12594	14121	16145	17478	16788	17895	10718	12233	14301	15264
Phosphor	P mg/kg	10	660	739	592	576	648	731	350	349	558	568
Silber	Ag mg/kg	0,001	0,234	0,175	0,339	0,304	0,117	0,152	0,105	0,093	0,117	0,093
Aluminium	Al mg/kg	1	2633	2346	2015	2103	2137	1923	659	647	1011	984
Arsen	As mg/kg	0,01	0,69	0,64	1,08	1,06	0,43	0,43	0,23	0,21	0,25	0,25
Barium	Ba mg/kg	0,1	61	68	256	244	307	373	71	64	21	21
Beryllium	Be mg/kg	0,005	0,24	0,13	0,22	0,13	0,26	0,15	0,08	0,06	0,13	0,08
Wismut	Bi mg/kg	0,01	0,606	0,672	0,548	0,573	0,274	0,365	0,249	0,266	0,191	0,266
Cadmium	Cd mg/kg	0,01	1,97	2,09	0,36	0,35	0,61	0,75	0,29	0,29	0,27	0,28
Cobalt	Co mg/kg	0,04	1,16	1,19	1,19	0,94	0,74	0,74	0,67	0,44	0,69	0,50
Chrom	Cr mg/kg	0,04	15,17	16,57	10,31	9,01	9,08	9,12	3,03	2,59	6,12	3,69
Cäsium	Cs mg/kg	0,005	0,16	0,14	0,12	0,11	0,14	0,16	0,04	0,04	0,06	0,05
Kupfer	Cu mg/kg	0,1	44,33	47,84	41,20	38,27	27,92	28,12	14,08	12,17	15,56	14,00
Eisen	Fe mg/kg	50	3267	3246	2758	2546	1936	1941	432	390	619	443
Gallium	Ga mg/kg	0,005	0,63	0,52	1,17	0,98	0,39	0,46	0,08	0,09	0,36	0,19
Germanium	Ge mg/kg	0,005	0,46	0,24	0,86	0,60	0,28	0,25	0,06	0,04	0,26	0,15
Quecksilber	Hg mg/kg	0,005	0,11	0,11	0,15	0,15	0,07	0,08	0,03	0,03	0,08	0,08
Lithium	Li mg/kg	0,02	0,59	0,90	1,08	0,78	1,12	1,24	0,27	0,25	0,52	0,38
Molybdän	Mo mg/kg	0,05	0,45	0,43	0,29	0,35	0,29	0,26	0,14	0,25	0,22	0,19
Natrium	Na mg/kg	10	1104	1019	829	620	488	429	532	413	2363	1962
Niob	Nb mg/kg	0,01	0,34	0,32	0,26	0,23	0,20	0,24	0,08	0,07	0,11	0,10
Nickel	Ni mg/kg	0,1	7,71	8,80	4,44	4,56	3,95	4,11	3,14	3,09	3,94	3,37
Blei	Pb mg/kg	0,2	314,18	314,18	310,20	298,27	112,55	118,51	27,84	27,04	87,10	81,73
Rubidium	Rb mg/kg	0,05	4,71	4,41	4,43	3,79	3,92	3,83	1,34	1,11	1,85	1,74
Schwefel	S mg/kg	10	2241		3103		2193		1155		2732	
Antimon	Sb mg/kg	0,004	1,52	1,00	1,00	1,06	0,61	0,51	0,12	0,14	0,29	0,23

Element	Einheit	NWG	6.1	6.2	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2
Selen	Se mg/kg	0,01	0,44	0,40	0,51	0,50	0,21	0,21	0,26	0,09	0,34	0,17
Zinn	Sn mg/kg	0,01	1,56	1,49	0,84	0,65	1,27	0,78	1,68	1,49	1,06	0,70
Strontium	Sr mg/kg	0,1	53,0	54,9	47,3	42,5	48,0	55,8	36,3	32,0	70,8	65,8
Thorium	Th mg/kg	0,005	0,133	0,169	0,157	0,230	0,139	0,157	0,042	0,042	0,067	0,079
Titan	Ti mg/kg	0,5	44,1	38,7	51,4	33,2	31,1	31,3	23,5	9,8	14,9	11,5
Thallium	Tl mg/kg	0,01	0,06	0,06	0,11	0,11	0,09	0,10	0,03	0,02	0,02	0,02
Uran	U mg/kg	0,01	0,10	0,12	0,12	0,11	0,09	0,07	0,03	0,02	0,05	0,04
Vanadium	V mg/kg	0,02	19,73	18,78	19,77	16,63	6,54	6,52	2,57	2,31	6,75	4,82
Wolfram	W mg/kg	0,005	0,20	0,13	0,19	0,11	0,11	0,08	0,05	0,03	0,09	0,05
Zink	Zn mg/kg	0,2	274,5	283,0	68,2	59,8	74,3	77,2	49,8	44,8	48,4	42,3
Zirconium	Zr mg/kg	0,05	3,83	4,14	3,55	2,98	1,49	1,92	0,30	0,55	1,44	1,08
Cer	Ce mg/kg	0,004	1,73	1,82	2,30	2,50	1,19	1,22	0,40	0,35	0,65	0,65
Lanthan	La mg/kg	0,01	0,26	0,26	0,30	0,32	0,16	0,17	0,07	0,05	0,10	0,09
Dysprosium	Dy mg/kg	0,001	0,27	0,28	0,36	0,38	0,18	0,19	0,06	0,05	0,10	0,10
Erbium	Er mg/kg	0,001	0,1614	0,1605	0,2253	0,2075	0,1073	0,0984	0,0364	0,0355	0,0674	0,0541
Europium	Eu mg/kg	0,001	0,0914	0,0816	0,1180	0,1038	0,0524	0,0541	0,0222	0,0133	0,0346	0,0302
Gadolinium	Gd mg/kg	0,001	0,0594	0,0573	0,0902	0,0966	0,0562	0,1157	0,0159	0,0138	0,0202	0,0202
Holmium	Ho mg/kg	0,0010	0,2276	0,2094	0,3369	0,2986	0,1766	0,1630	0,0528	0,0364	0,0828	0,0765
Lutetium	Lu mg/kg	0,001	0,0330	0,0302	0,0453	0,0387	0,0208	0,0198	0,0085	0,0047	0,0123	0,0104
Neodym	Nd mg/kg	0,001	0,0137	0,0127	0,0180	0,0159	0,0085	0,0085	0,0042	0,0021	0,0074	0,0042
Praseodym	Pr mg/kg	0,001	0,7361	0,7336	0,9725	1,0356	0,4620	0,4790	0,1564	0,1346	0,2668	0,2595
Samarium	Sm mg/kg	0,001	0,2032	0,2071	0,2593	0,2749	0,1251	0,1329	0,0456	0,0358	0,0756	0,0723
Terbium	Tb mg/kg	0,001	0,1455	0,1482	0,2121	0,2107	0,0999	0,0999	0,0306	0,0252	0,0530	0,0510
Thulium	Tm mg/kg	0,001	0,0260	0,0260	0,0374	0,0334	0,0179	0,0171	0,0065	0,0049	0,0106	0,0081
Ytterbium	Yb mg/kg	0,001	0,0143	0,0154	0,0198	0,0154	0,0110	0,0088	0,0044	0,0022	0,0066	0,0055

Tab. 6: Stoffgehalte der Elemente in den Rindenproben [mg/kg] - Mittelwerte

	Standort		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbelas- tung BRD 10 %-Perc.
	Distanzzone		I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	
Calcium	Ca	mg/kg	15072	26601	10203	7286	9343	13577	8938	13207	11222	14910	5922
Kalium	K	mg/kg	526	1138	611	840	1019	856	718	813	405	1219	482
Magnesium	Mg	mg/kg	431	1330	372	298	924	1063	394	619	761	1238	120
Mangan	Mn	mg/kg	292,9	81,6	87,1	125,5	373,3	50,9	88,6	196,6	83,8	21,7	40,1
Stickstoff	N	mg/kg	11471	11325	15849	19632	21713	13357	16812	17341	11476	14783	7542
Phosphor	P	mg/kg	326	443	362	726	814	699	584	690	349	563	280
Silber	Ag	mg/kg	0,140	0,140	0,199	0,164	0,164	0,204	0,321	0,134	0,099	0,105	0,046
Aluminium	Al	mg/kg	1725	1064	2031	2032	1866	2489	2059	2030	653	998	668
Arsen	As	mg/kg	0,57	0,31	0,81	0,89	0,46	0,67	1,07	0,43	0,22	0,25	0,59
Barium	Ba	mg/kg	274	83	290	202	50	64	250	340	68	21	23
Beryllium	Be	mg/kg	0,21	0,19	0,16	0,17	0,05	0,19	0,18	0,21	0,07	0,11	0,02
Wismut	Bi	mg/kg	0,386	0,585	0,560	0,577	0,465	0,639	0,560	0,319	0,257	0,228	0,080
Cadmium	Cd	mg/kg	1,19	2,99	0,34	0,28	0,78	2,03	0,35	0,68	0,29	0,27	0,32
Cobalt	Co	mg/kg	1,37	1,59	1,11	0,89	1,25	1,17	1,06	0,74	0,55	0,60	0,59
Chrom	Cr	mg/kg	8,59	10,27	10,01	8,64	9,22	15,87	9,66	9,10	2,81	4,91	1,87
Cäsium	Cs	mg/kg	0,09	0,07	0,14	0,13	0,16	0,15	0,11	0,15	0,04	0,05	0,08
Kupfer	Cu	mg/kg	60,73	62,78	27,63	23,04	34,66	46,08	39,74	28,02	13,12	14,78	7,43
Eisen	Fe	mg/kg	2260	1319	3045	2751	3091	3257	2652	1939	411	531	473
Gallium	Ga	mg/kg	0,57	0,22	0,91	0,88	0,39	0,57	1,08	0,43	0,08	0,28	0,34
Germanium	Ge	mg/kg	0,46	0,14	0,63	0,59	0,32	0,35	0,73	0,27	0,05	0,21	0,14
Quecksilber	Hg	mg/kg	0,10	0,06	0,14	0,15	0,07	0,11	0,15	0,07	0,03	0,08	0,09
Lithium	Li	mg/kg	1,76	1,15	0,94	0,95	0,69	0,74	0,93	1,18	0,26	0,45	0,20
Molybdän	Mo	mg/kg	1,97	0,24	0,88	0,32	0,25	0,44	0,32	0,28	0,20	0,21	0,08
Natrium	Na	mg/kg	330	809	663	467	797	1062	725	459	472	2163	137
Niob	Nb	mg/kg	0,15	0,14	0,24	0,25	0,24	0,33	0,25	0,22	0,07	0,11	0,08
Nickel	Ni	mg/kg	5,84	7,10	4,77	4,42	5,55	8,25	4,50	4,03	3,12	3,65	1,34
Blei	Pb	mg/kg	325,1	131,7	221,7	214,7	72,9	314,1	304,2	115,5	27,4	84,4	31,3
Rubidium	Rb	mg/kg	3,17	2,16	3,45	4,14	8,64	4,56	4,11	3,88	1,22	1,79	1,58

		Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbelas- tung BRD
		Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	10 %-Perc.
Schwefel	S	mg/kg	1725	1893	3079	3391	3295	2241	3103	2193	1155	2732	1286
Antimon	Sb	mg/kg	0,91	0,87	0,93	0,83	0,49	1,26	1,03	0,56	0,13	0,26	0,20
Selen	Se	mg/kg	0,25	0,20	0,44	0,43	0,29	0,42	0,51	0,21	0,17	0,26	0,21
Zinn	Sn	mg/kg	4,66	1,13	2,85	0,84	0,46	1,52	0,74	1,03	1,58	0,88	0,25
Strontium	Sr	mg/kg	48,4	91,4	48,0	32,4	38,3	54,0	44,9	51,9	34,1	68,3	17,2
Thorium	Th	mg/kg	0,175	0,076	0,175	0,163	0,127	0,151	0,194	0,148	0,042	0,073	0,065
Titan	Ti	mg/kg	19,3	18,9	32,2	41,8	37,0	41,4	42,3	31,2	16,7	13,2	13,0
Thallium	Tl	mg/kg	0,39	0,05	0,19	0,13	0,06	0,06	0,11	0,09	0,03	0,02	0,07
Uran	U	mg/kg	0,06	0,04	0,10	0,10	0,06	0,11	0,11	0,08	0,03	0,05	0,05
Vanadium	V	mg/kg	12,40	7,79	13,46	12,77	10,20	19,25	18,20	6,53	2,44	5,78	4,13
Wolfram	W	mg/kg	0,13	0,19	0,15	0,12	0,12	0,17	0,15	0,10	0,04	0,07	0,04
Zink	Zn	mg/kg	120,3	334,2	50,0	52,9	110,6	278,7	64,0	75,8	47,3	45,3	18,2
Zirconium	Zr	mg/kg	0,88	1,55	2,64	3,06	2,62	3,98	3,27	1,71	0,43	1,26	1,20
Cer	Ce	mg/kg	1,83	0,67	1,78	1,65	1,02	1,77	2,40	1,20	0,37	0,65	0,86
Lanthan	La	mg/kg	0,26	0,10	0,24	0,23	0,15	0,26	0,31	0,17	0,06	0,10	0,12
MW Lanthanide		mg/kg	0,28	0,28	0,10	0,27	0,25	0,16	0,27	0,37	0,18	0,06	0,10
Dysprosium	Dy	mg/kg	0,174	0,061	0,148	0,145	0,094	0,161	0,216	0,103	0,036	0,061	0,070
Erbium	Er	mg/kg	0,085	0,034	0,077	0,080	0,051	0,087	0,111	0,053	0,018	0,032	0,040
Europium	Eu	mg/kg	0,081	0,029	0,076	0,062	0,032	0,058	0,093	0,086	0,015	0,020	0,029
Gadolinium	Gd	mg/kg	0,239	0,084	0,220	0,205	0,125	0,219	0,318	0,170	0,045	0,080	0,118
Holmium	Ho	mg/kg	0,033	0,013	0,031	0,030	0,019	0,032	0,042	0,020	0,007	0,011	0,015
Lutetium	Lu	mg/kg	0,013	0,006	0,012	0,014	0,010	0,013	0,017	0,008	0,003	0,006	0,004
Neodym	Nd	mg/kg	0,737	0,272	0,702	0,658	0,409	0,735	1,004	0,471	0,146	0,263	0,378
Praseodym	Pr	mg/kg	0,199	0,076	0,195	0,183	0,110	0,205	0,267	0,129	0,041	0,074	0,104
Samarium	Sm	mg/kg	0,151	0,056	0,150	0,133	0,080	0,147	0,211	0,100	0,028	0,052	0,078
Terbium	Tb	mg/kg	0,027	0,009	0,026	0,023	0,014	0,026	0,035	0,018	0,006	0,009	0,012
Thulium	Tm	mg/kg	0,015	0,007	0,014	0,015	0,009	0,015	0,018	0,010	0,003	0,006	0,005
Ytterbium	Yb	mg/kg	0,073	0,030	0,072	0,070	0,050	0,081	0,094	0,049	0,019	0,032	0,030

Tab. 7: Stoffgehalte der PAK in den Rindenproben in [mg/kg] - Einzelwerte

PAK	Einheit	NWG	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	5.1	5.2
Naphthalin	mg/kg	0,001	0,042	0,041	0,032	0,036	0,038	0,036	0,046	0,053	0,029	0,030
Acenaphthylen	mg/kg	0,001	0,007	0,006	0,004	0,005	0,020	0,018	0,113	0,120	0,004	0,003
Acenaphthen	mg/kg	0,001	0,015	0,014	0,020	0,015	0,015	0,012	0,018	0,018	0,014	0,011
Fluoren	mg/kg	0,001	0,025	0,022	0,036	0,033	0,015	0,014	0,026	0,024	0,017	0,013
Phenanthren	mg/kg	0,002	0,395	0,342	0,391	0,384	0,338	0,265	0,412	0,383	0,157	0,140
Anthracen	mg/kg	0,002	0,009	0,009	0,007	0,006	0,007	0,007	0,009	0,013	0,006	0,009
Fluoranthen	mg/kg	0,002	0,380	0,421	0,400	0,447	0,615	0,523	0,952	0,938	0,275	0,253
Pyren	mg/kg	0,002	0,195	0,228	0,199	0,212	0,254	0,245	0,356	0,348	0,149	0,143
Chrysen	mg/kg	0,002	0,045	0,046	0,009	0,008	0,033	0,033	0,036	0,032	0,012	0,013
Benzo[a]anthracen	mg/kg	0,002	0,103	0,111	0,039	0,042	0,091	0,088	0,113	0,093	0,031	0,025
Benzo[b]fluoranthen	mg/kg	0,002	0,086	0,092	0,024	0,024	0,070	0,072	0,116	0,108	0,035	0,027
Benzo[k]fluoranthen	mg/kg	0,002	0,028	0,027	0,006	0,005	0,038	0,042	0,036	0,030	0,011	0,012
Benzo[a]pyren	mg/kg	0,003	0,050	0,059	0,012	0,009	0,050	0,055	0,050	0,048	0,015	0,015
Indeno[1,2,3-cd]pyren	mg/kg	0,003	0,046	0,045	0,010	0,009	0,044	0,047	0,045	0,050	0,018	0,018
Dibenz[a,h]anthracen	mg/kg	0,003	0,013	0,025	0,009	0,005	0,016	0,016	0,016	0,022	0,007	0,009
Benzo[ghi]perylen	mg/kg	0,003	0,034	0,037	0,009	0,007	0,039	0,036	0,041	0,035	0,015	0,013
Coronen	mg/kg	0,003	0,009	0,011	0,004	0,007	0,015	0,024	0,013	0,015	0,007	0,009
Summe PAK	mg/kg		1,445	1,467	1,201	1,243	1,637	1,456	2,306	2,242	0,840	0,723
PAK	Einheit	NWG	6.1	6.2	7.1	7.2	8.1	8.2	9.1	9.2	10.1	10.2
Naphthalin	mg/kg	0,043	0,025	0,027	0,042	0,041	0,050	0,054	0,027	0,028	0,027	0,029
Acenaphthylen	mg/kg	0,003	0,005	0,005	0,117	0,093	0,020	0,022	0,002	0,002	0,003	0,004
Acenaphthen	mg/kg	0,007	0,017	0,015	0,021	0,018	0,014	0,011	0,015	0,012	0,009	0,009
Fluoren	mg/kg	0,012	0,027	0,022	0,041	0,043	0,020	0,016	0,011	0,010	0,013	0,015
Phenanthren	mg/kg	0,152	0,156	0,159	0,488	0,512	0,263	0,239	0,120	0,098	0,077	0,087
Anthracen	mg/kg	0,018	0,006	0,007	0,011	0,010	0,009	0,010	0,005	0,005	0,002	0,003
Fluoranthen	mg/kg	0,225	0,241	0,246	0,845	0,848	0,423	0,396	0,137	0,128	0,156	0,179
Pyren	mg/kg	0,115	0,134	0,142	0,325	0,295	0,194	0,203	0,076	0,070	0,065	0,078
Chrysen	mg/kg	0,010	0,015	0,012	0,036	0,029	0,012	0,009	0,005	0,004	0,004	0,002
Benzo[a]anthracen	mg/kg	0,017	0,047	0,045	0,113	0,104	0,049	0,052	0,020	0,019	0,027	0,028

Benzo[b]fluoranthen	mg/kg	0,017	0,049	0,051	0,108	0,103	0,035	0,030	0,010	0,010	0,016	0,016
Benzo[k]fluoranthen	mg/kg	0,012	0,022	0,019	0,028	0,026	0,012	0,012	0,001	0,001	0,005	0,005
Benzo[a]pyren	mg/kg	0,012	0,022	0,021	0,043	0,038	0,015	0,013	0,004	0,002	0,005	0,004
Indeno[1,2,3-cd]pyren	mg/kg	0,018	0,028	0,030	0,041	0,046	0,017	0,020	0,005	0,005	0,010	0,007
Dibenz[a,h]anthracen	mg/kg	0,005	0,011	0,011	0,014	0,011	0,005	0,007	0,004	0,004	0,004	0,004
Benzo[ghi]perylen	mg/kg	0,013	0,022	0,022	0,027	0,027	0,014	0,013	0,005	0,004	0,007	0,005
Coronen	mg/kg	0,004	0,011	0,009	0,011	0,011	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
Summe PAK	mg/kg	0,680	0,797	0,808	2,242	2,200	1,233	1,105	0,446	0,404	0,425	0,468

Tab. 8: Stoffgehalte der PAK in den Rindenproben in [mg/kg] - Mittelwerte

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbebelas- tung BRD 10 %-Perc.
		Distanzzone I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	
Naphthalin	mg/kg	0,042	0,034	0,037	0,050	0,029	0,026	0,041	0,052	0,027	0,028	0,070
Acenaphthylen	mg/kg	0,007	0,005	0,019	0,117	0,004	0,005	0,105	0,021	0,002	0,004	0,008
Acenaphthen	mg/kg	0,014	0,017	0,014	0,018	0,012	0,016	0,020	0,012	0,014	0,009	0,011
Fluoren	mg/kg	0,023	0,034	0,015	0,025	0,015	0,025	0,042	0,018	0,010	0,014	0,020
Phenanthren	mg/kg	0,368	0,388	0,302	0,397	0,148	0,158	0,500	0,251	0,109	0,082	0,267
Anthracen	mg/kg	0,009	0,006	0,007	0,011	0,008	0,007	0,011	0,009	0,005	0,002	0,008
Fluoranthen	mg/kg	0,400	0,423	0,569	0,945	0,264	0,244	0,846	0,410	0,133	0,167	0,135
Pyren	mg/kg	0,212	0,205	0,249	0,352	0,146	0,138	0,310	0,198	0,073	0,072	0,054
Chrysen	mg/kg	0,046	0,008	0,033	0,034	0,012	0,014	0,033	0,010	0,004	0,003	0,006
Benzo[a]anthracen	mg/kg	0,107	0,040	0,090	0,103	0,028	0,046	0,109	0,050	0,020	0,028	0,021
Benzo[b]fluoranthen	mg/kg	0,089	0,024	0,071	0,112	0,031	0,050	0,106	0,033	0,010	0,016	0,024
Benzo[k]fluoranthen	mg/kg	0,028	0,005	0,040	0,033	0,011	0,020	0,027	0,012	0,001	0,005	0,007
Benzo[a]pyren	mg/kg	0,054	0,010	0,053	0,049	0,015	0,021	0,040	0,014	0,003	0,004	0,012
Indeno[1,2,3-cd]pyren	mg/kg	0,046	0,010	0,046	0,048	0,018	0,029	0,044	0,019	0,005	0,009	0,009
Dibenz[a,h]anthracen	mg/kg	0,019	0,007	0,016	0,019	0,008	0,011	0,013	0,006	0,004	0,004	0,002
Benzo[ghi]perylen	mg/kg	0,036	0,008	0,038	0,038	0,014	0,022	0,027	0,014	0,005	0,006	0,008
Coronen	mg/kg	0,010	0,005	0,020	0,014	0,008	0,010	0,011	0,004	0,004	0,004	0,006
Summe PAK	mg/kg	1,456	1,222	1,546	2,274	0,781	0,802	2,221	1,169	0,425	0,446	0,764

Tab. 9: Stoffgehalte der PCDD/F in den Rindenproben [ng/kg]

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbelas- tung BRD 10 %-Perc.
	Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	
	Baumart S/N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	Äquivalenzfaktor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2,3,7,8-TCDD	ng/kg	0,33	0,21	0,35	0,93	0,25	0,11	1,35	0,21	0,14	0,30	0,32
1,2,3,7,8 PeCDD	ng/kg	1,19	0,74	1,64	3,01	0,88	0,80	3,76	0,90	0,45	1,25	0,46
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ng/kg	0,35	0,30	0,51	1,05	0,33	0,32	1,06	0,28	0,12	0,35	0,39
1,2,3,6,7,8 HxCDD	ng/kg	0,71	0,56	0,99	1,98	0,62	0,66	2,11	0,52	0,29	0,79	0,58
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ng/kg	0,45	0,49	0,77	1,59	0,53	0,48	1,37	0,43	0,18	0,57	0,47
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ng/kg	6,84	6,29	9,86	18,09	6,79	7,18	18,41	4,91	1,63	5,45	4,25
Octa CDD	ng/kg	24,0	25,4	29,8	56,3	20,9	24,5	48,3	19,3	4,3	11,5	12,6
2,3,7,8-TCDF	ng/kg	6,88	2,48	11,34	19,19	2,98	3,17	23,55	4,44	2,25	5,51	4,06
1,2,3,7,8 PeCDF	ng/kg	2,59	1,16	4,47	7,58	1,35	1,42	8,70	1,70	0,66	2,20	2,24
2,3,4,7,8-PeCDF	ng/kg	2,66	1,12	5,94	8,14	1,41	1,68	9,56	1,69	0,58	2,55	2,29
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ng/kg	2,10	1,02	4,61	6,87	0,99	1,38	6,86	1,19	0,31	2,11	2,26
1,2,3,6,7,8 HxCDF	ng/kg	1,77	1,04	3,38	5,88	0,97	1,20	5,73	1,09	0,29	1,74	2,46
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ng/kg	1,59	1,21	3,38	5,32	0,96	1,13	4,95	1,00	0,28	1,37	1,34
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ng/kg	0,03	0,03	0,09	0,16	0,03	0,07	0,16	0,06	0,03	0,08	0,09
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ng/kg	7,76	6,27	17,55	33,36	3,67	4,77	23,40	4,63	0,73	5,70	4,68
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ng/kg	0,32	0,32	1,01	1,41	0,32	0,32	1,26	0,32	0,32	0,32	0,45
Octa CDF	ng/kg	6,6	6,1	15,3	34,2	2,9	3,8	16,7	5,1	1,2	4,8	5,15
Summe TetraCDD	ng/kg	17,2	9,6	21,1	44,2	11,8	9,2	48,3	15,1	8,5	16,4	12,0
Summe PentaCDD	ng/kg	5,2	3,8	7,8	14,8	4,7	4,3	17,2	5,1	3,1	6,1	9,40
Summe HexaCDD	ng/kg	9,3	9,2	14,7	29,7	10,7	10,9	28,5	9,2	4,3	11,4	9,42
Summe HeptaCDD	ng/kg	13,2	13,2	19,9	38,1	14,1	14,3	36,5	10,2	3,7	10,2	9,64
Summe TetraCDF	ng/kg	73,8	30,6	112,0	209,3	39,0	32,0	236,5	51,7	26,8	61,2	45,4
Summe PentaCDF	ng/kg	22,3	10,6	43,0	73,3	12,8	12,9	82,4	15,0	6,4	20,9	24,8
Summe HexaCDF	ng/kg	12,7	7,5	26,7	44,5	7,3	9,0	43,8	8,6	2,5	11,9	13,9

Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbelas- tung BRD 10 %-Perc.	
Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV		
Baumart S/N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		
Summe HeptaCDF	ng/kg	11,6	9,2	26,4	47,4	6,1	7,4	33,3	6,4	1,1	8,1	6,52
Summe PCDD (Tetra - Octa)	ng/kg	70,0	59,3	96,1	189,0	62,9	62,3	189,8	61,3	27,3	61,2	63,3
Summe PCDF (Tetra - Octa)	ng/kg	131,4	62,1	225,6	409,0	71,1	66,0	435,5	90,3	41,0	112,3	91,9
Summe PCDD + PCDF (Tetra - Octa)	ng/kg	205,5	118,7	333,8	617,2	132,1	125,1	651,0	151,9	68,3	176,8	153
I-TE (NATO CCMS) exkl. BG	ng/kg	3,74	1,91	7,06	11,30	2,16	2,30	12,88	2,46	0,99	3,49	3,14
I-TE (NATO CCMS) inkl. BG	ng/kg	3,35	1,72	6,30	10,07	1,94	2,06	11,48	2,20	0,90	3,12	3,14
TEQ (WHO 1997) exkl. BG	ng/kg	3,80	1,97	7,04	11,35	2,24	2,35	13,14	2,53	1,05	3,60	3,39
TEQ (WHO 1997) inkl. BG	ng/kg	3,40	1,77	6,28	10,12	2,02	2,10	11,72	2,26	0,94	3,21	3,39
Summe I der Chem.-Verbot.-VO	ng/kg	0,010	0,004	0,018	0,029	0,005	0,005	0,035	0,007	0,003	0,009	
Summe II der Chem.-Verbot.-VO	ng/kg	0,019	0,009	0,035	0,057	0,010	0,012	0,064	0,012	0,005	0,017	
Summe III der Chem.-Verbot.-VO	ng/kg	0,061	0,050	0,101	0,186	0,042	0,049	0,162	0,044	0,011	0,042	
TEQ (WHO 2005) exkl. BG	ng/kg	4,22	2,26	7,51	12,44	2,53	2,60	14,31	2,82	1,20	3,98	
TEQ (WHO 2005) inkl. BG	ng/kg	4,23	2,27	7,51	12,44	2,55	2,60	14,31	2,82	1,22	3,98	
Übrige HpCDD	ng/kg	6,3	6,8	10,0	19,7	7,1	7,0	18,0	5,2	2,0	4,8	5,05
Übrige HxCDD	ng/kg	7,5	7,6	12,1	24,4	8,9	9,1	23,3	7,7	3,6	9,4	7,14
Übrige PeCDD	ng/kg	4,5	3,3	6,7	12,9	4,1	3,8	14,8	4,4	2,7	5,3	7,75
Übrige TCDD	ng/kg	16,9	9,3	20,8	43,4	11,6	9,0	47,1	14,9	8,3	16,2	7,70
Übrige HpCDF	ng/kg	3,6	2,8	7,4	12,6	2,1	2,4	8,7	1,7	0,3	2,3	8,71
Übrige HxCDF	ng/kg	7,0	4,1	14,7	25,1	4,2	5,0	24,9	4,9	1,5	6,4	20,0
Übrige PeCDF	ng/kg	16,8	8,0	32,4	55,4	9,7	9,6	62,0	11,3	4,9	15,8	11,6
Übrige TCDF	ng/kg	65,8	27,6	99,7	188,1	35,3	28,6	211,7	46,5	24,1	54,5	41,4

Tab. 10: Stoffgehalte der PCB (WHO) in den Rindenproben [ng/kg]

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Grundbelas- tung BRD 10 %-Perc. #
	Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	
	Baumart S/N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
	Äquivalenzfaktor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
PCB Nr. 77	ng/kg	251,0	70,6	406,0	343,0	82,4	61,3	354,0	144,0	63,9	94,0	73,6
PCB Nr. 81	ng/kg	9,74	2,53	11,30	14,90	3,06	2,06	16,20	5,11	2,39	4,16	2,66
PCB Nr. 126	ng/kg	106,0	26,5	338,0	156,0	37,0	44,8	180,0	62,2	22,3	42,7	38,4
PCB Nr. 169	ng/kg	9,03	2,59	34,90	13,30	3,74	6,01	16,30	4,70	1,50	3,59	3,63
PCB Nr. 105	ng/kg	1010	282	1830	1490	350	275	1740	507	184	430	299
PCB Nr. 114	ng/kg	89,0	16,7	255,0	136,0	30,1	16,7	164,0	41,5	16,7	40,2	20,0
PCB Nr. 118	ng/kg	2680	738	7710	4470	803	597	5630	1270	497	1170	754
PCB Nr. 123	ng/kg	48,3	15,4	2,7	83,4	19,7	12,8	92,6	26,4	10,1	23,4	13,5
PCB Nr. 156	ng/kg	935	230	4470	1260	289	288	1820	362	107	288	288
PCB Nr. 157	ng/kg	139,0	36,2	470,0	185,0	48,4	49,5	241,0	57,3	17,1	46,3	46,8
PCB Nr. 167	ng/kg	501	118	2220	702	150	177	937	220	68	187	157
PCB Nr. 189	ng/kg	142,0	30,4	819,0	182,0	43,2	56,8	242,0	45,5	11,9	5,3	44,6
PCB-TEQ (WHO 1997) inkl. BG	ng/kg	11,7	2,9	37,9	17,2	4,1	4,8	20,1	6,7	2,4	4,7	4,2
PCB-TEQ (WHO 1997) exkl. BG	ng/kg	11,7	2,9	37,9	17,2	4,1	4,8	20,1	6,7	2,4	4,7	4,2
PCB-TEQ (WHO 2005) inkl. BG	ng/kg	11,1	2,8	35,5	16,3	3,9	4,7	18,9	6,5	2,3	4,5	4,0
PCB-TEQ (WHO 2005) exkl. BG	ng/kg	11,1	2,8	35,5	16,3	3,9	4,7	18,9	6,5	2,3	4,5	4,0

bei PCB vorläufige Schätzung

Tab. 11: Immissionsbelastung Elemente in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Standort		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
		I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
Distanzzone		IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR
Calcium	Ca	2,5	4,5	1,7	1,2	1,6	2,3	1,5	2,2	1,9	2,5	3,5	1,7	1,9	2,5
Kalium	K	1,1	2,4	1,3	1,7	2,1	1,8	1,5	1,7	0,8	2,5	1,7	1,7	1,3	2,5
Magnesium	Mg	3,6	11,1	3,1	2,5	7,7	8,9	3,3	5,2	6,4	10,3	7,4	5,6	4,9	10,3
Mangan	Mn	7,3	2,0	2,2	3,1	9,3	1,3	2,2	4,9	2,1	0,5	4,7	4,0	3,1	0,5
Stickstoff	N	1,5	1,5	2,1	2,6	2,9	1,8	2,2	2,3	1,5	2,0	1,5	2,3	2,0	2,0
Phosphor	P	1,2	1,6	1,3	2,6	2,9	2,5	2,1	2,5	1,2	2,0	1,4	2,3	1,9	2,0
Silber	Ag	3,0	3,0	4,3	3,6	3,6	4,4	7,0	2,9	2,2	2,3	3,0	4,0	4,0	2,3
Aluminium	Al	2,6	1,6	3,0	3,0	2,8	3,7	3,1	3,0	1,0	1,5	2,1	3,2	2,4	1,5
Arsen	As	1,0	0,5	1,4	1,5	0,8	1,1	1,8	0,7	0,4	0,4	0,8	1,2	1,0	0,4
Barium	Ba	12,2	3,7	12,9	9,0	2,2	2,9	11,1	15,1	3,0	0,9	7,9	6,7	9,7	0,9
Beryllium	Be	12,1	10,9	9,1	9,7	2,6	10,9	10,3	12,1	4,1	6,2	11,5	8,1	8,8	6,2
Wismut	Bi	4,8	7,3	7,0	7,2	5,8	8,0	7,0	4,0	3,2	2,9	6,1	7,0	4,7	2,9
Cadmium	Cd	3,8	9,5	1,1	0,9	2,5	6,4	1,1	2,1	0,9	0,9	6,6	2,7	1,4	0,9
Cobalt	Co	2,3	2,7	1,9	1,5	2,1	2,0	1,8	1,3	0,9	1,0	2,5	1,9	1,3	1,0
Chrom	Cr	4,6	5,5	5,4	4,6	4,9	8,5	5,2	4,9	1,5	2,6	5,0	5,8	3,8	2,6
Cäsium	Cs	1,1	0,9	1,7	1,5	1,8	1,8	1,3	1,8	0,4	0,6	1,0	1,7	1,2	0,6
Kupfer	Cu	8,2	8,5	3,7	3,1	4,7	6,2	5,4	3,8	1,8	2,0	8,3	4,4	3,6	2,0
Eisen	Fe	4,8	2,8	6,4	5,8	6,5	6,9	5,6	4,1	0,9	1,1	3,8	6,4	3,5	1,1
Gallium	Ga	1,7	0,6	2,7	2,6	1,1	1,7	3,2	1,3	0,2	0,8	1,2	2,0	1,6	0,8
Germanium	Ge	3,3	1,0	4,5	4,2	2,3	2,5	5,2	1,9	0,3	1,5	2,1	3,4	2,5	1,5
Quecksilber	Hg	1,0	0,7	1,5	1,7	0,8	1,2	1,6	0,8	0,4	0,9	0,9	1,3	0,9	0,9
Lithium	Li	8,6	5,6	4,6	4,7	3,4	3,6	4,6	5,8	1,3	2,2	7,1	4,1	3,9	2,2
Molybdän	Mo	25,6	3,1	11,4	4,1	3,2	5,7	4,2	3,6	2,6	2,7	14,3	6,1	3,4	2,7
Natrium	Na	2,4	5,9	4,8	3,4	5,8	7,7	5,3	3,3	3,4	15,8	4,2	5,5	4,0	15,8
Niob	Nb	1,9	1,8	3,1	3,2	3,0	4,3	3,1	2,8	0,9	1,4	1,8	3,4	2,3	1,4
Nickel	Ni	4,4	5,3	3,6	3,3	4,2	6,2	3,4	3,0	2,3	2,7	4,8	4,3	2,9	2,7
Blei	Pb	10,4	4,2	7,1	6,9	2,3	10,0	9,7	3,7	0,9	2,7	7,3	6,6	4,8	2,7
Rubidium	Rb	2,0	1,4	2,2	2,6	5,5	2,9	2,6	2,5	0,8	1,1	1,7	3,3	1,9	1,1
Schwefel	S	1,3	1,5	2,4	2,6	2,6	1,7	2,4	1,7	0,9	2,1	1,4	2,3	1,7	2,1
Antimon	Sb	4,5	4,3	4,6	4,1	2,4	6,2	5,1	2,7	0,6	1,3	4,4	4,3	2,8	1,3
Selen	Se	1,2	1,0	2,1	2,1	1,4	2,0	2,5	1,0	0,8	1,2	1,1	1,9	1,4	1,2
Zinn	Sn	18,8	4,6	11,5	3,4	1,8	6,1	3,0	4,1	6,4	3,6	11,7	5,7	4,5	3,6
Strontium	Sr	2,8	5,3	2,8	1,9	2,2	3,1	2,6	3,0	2,0	4,0	4,1	2,5	2,5	4,0
Thorium	Th	2,7	1,2	2,7	2,5	2,0	2,3	3,0	2,3	0,7	1,1	1,9	2,4	2,0	1,1
Titan	Ti	1,5	1,5	2,5	3,2	2,8	3,2	3,3	2,4	1,3	1,0	1,5	2,9	2,3	1,0
Thallium	Tl	5,4	0,7	2,7	1,8	0,8	0,8	1,5	1,3	0,4	0,3	3,0	1,5	1,1	0,3
Uran	U	1,3	0,8	2,0	2,1	1,3	2,2	2,3	1,7	0,6	1,0	1,1	1,9	1,5	1,0
Vanadium	V	3,0	1,9	3,3	3,1	2,5	4,7	4,4	1,6	0,6	1,4	2,4	3,4	2,2	1,4
Wolfram	W	3,1	4,6	3,6	2,9	2,8	3,9	3,6	2,3	0,9	1,7	3,8	3,3	2,2	1,7
Zink	Zn	6,6	18,3	2,7	2,9	6,1	15,3	3,5	4,2	2,6	2,5	12,5	6,7	3,4	2,5
Zirconium	Zr	0,7	1,3	2,2	2,5	2,2	3,3	2,7	1,4	0,4	1,0	1,0	2,6	1,5	1,0

Standort		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
Distanzzone		I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		IBR													
Cer	Ce	2,1	0,8	2,1	1,9	1,2	2,1	2,8	1,4	0,4	0,8	1,5	1,8	1,5	0,8
Lanthan	La	2,1	0,8	2,0	1,8	1,2	2,1	2,5	1,3	0,5	0,8	1,5	1,8	1,4	0,8
MW Lanthanide		2,3	0,9	2,2	2,1	1,3	2,3	3,0	1,6	0,5	0,9	1,6	2,0	1,7	0,9
Dysprosium	Dy	2,5	0,9	2,1	2,1	1,3	2,3	3,1	1,5	0,5	0,9	1,7	2,0	1,7	0,9
Erbium	Er	2,1	0,8	1,9	2,0	1,3	2,2	2,8	1,3	0,4	0,8	1,5	1,8	1,5	0,8
Europium	Eu	2,8	1,0	2,6	2,1	1,1	2,0	3,2	3,0	0,5	0,7	1,9	2,0	2,2	0,7
Gadolinium	Gd	2,0	0,7	1,9	1,7	1,1	1,9	2,7	1,4	0,4	0,7	1,4	1,6	1,5	0,7
Holmium	Ho	2,2	0,8	2,0	2,0	1,3	2,1	2,8	1,4	0,4	0,8	1,5	1,9	1,5	0,8
Lutetium	Lu	3,2	1,5	2,9	3,4	2,4	3,3	4,2	2,1	0,8	1,5	2,3	3,0	2,4	1,5
Neodym	Nd	2,0	0,7	1,9	1,7	1,1	1,9	2,7	1,2	0,4	0,7	1,3	1,7	1,4	0,7
Praseodym	Pr	1,9	0,7	1,9	1,8	1,1	2,0	2,6	1,2	0,4	0,7	1,3	1,7	1,4	0,7
Samarium	Sm	1,9	0,7	1,9	1,7	1,0	1,9	2,7	1,3	0,4	0,7	1,3	1,6	1,4	0,7
Terbium	Tb	2,2	0,8	2,1	1,9	1,2	2,2	3,0	1,5	0,5	0,8	1,5	1,9	1,6	0,8
Thulium	Tm	3,0	1,3	2,9	3,0	1,8	3,0	3,5	2,0	0,7	1,2	2,1	2,6	2,1	1,2
Ytterbium	Yb	2,4	1,0	2,4	2,3	1,7	2,7	3,1	1,6	0,6	1,1	1,7	2,3	1,8	1,1
MW Elemente		4,5	3,6	3,8	3,2	3,0	4,3	3,7	3,1	1,5	2,2	4,1	3,6	2,8	2,2

Tab. 12: Immissionsbelastung PAK in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

Standort		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
Distanzzone		I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR
Naphthalin		0,6	0,5	0,5	0,7	0,4	0,4	0,6	0,7	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4
Acenaphthylen		0,8	0,6	2,4	14,6	0,4	0,6	13,1	2,6	0,3	0,4	0,7	4,5	5,3	0,4
Acenaphthen		1,3	1,6	1,2	1,7	1,1	1,5	1,8	1,1	1,2	0,8	1,5	1,4	1,4	0,8
Fluoren		1,2	1,7	0,7	1,3	0,8	1,2	2,1	0,9	0,5	0,7	1,4	1,0	1,2	0,7
Phenanthren		1,4	1,5	1,1	1,5	0,6	0,6	1,9	0,9	0,4	0,3	1,4	0,9	1,1	0,3
Anthracen		1,1	0,8	0,9	1,4	1,0	0,8	1,4	1,2	0,6	0,3	1,0	1,0	1,1	0,3
Fluoranthren		3,0	3,1	4,2	7,0	2,0	1,8	6,3	3,0	1,0	1,2	3,1	3,7	3,4	1,2
Pyren		3,9	3,8	4,6	6,5	2,7	2,6	5,7	3,7	1,3	1,3	3,9	4,1	3,6	1,3
Chrysen		7,6	1,4	5,5	5,6	2,0	2,3	5,4	1,7	0,7	0,5	4,5	3,9	2,6	0,5
Benzo[a]anthracen		5,1	1,9	4,3	4,9	1,3	2,2	5,2	2,4	0,9	1,3	3,5	3,2	2,8	1,3
Benzo[b]fluoranthren		3,7	1,0	2,9	4,7	1,3	2,1	4,4	1,4	0,4	0,7	2,4	2,8	2,1	0,7
Benzo[k]fluoranthren		4,0	0,8	5,7	4,7	1,6	2,9	3,9	1,7	0,2	0,7	2,4	3,7	1,9	0,7
Benzo[a]pyren		4,5	0,9	4,4	4,1	1,2	1,8	3,4	1,2	0,3	0,4	2,7	2,9	1,6	0,4
Indeno[1,2,3-cd]pyren		5,1	1,1	5,1	5,3	2,0	3,2	4,8	2,1	0,6	0,9	3,1	3,9	2,5	0,9
Dibenz[a,h]anthracen		9,5	3,6	8,1	9,5	4,1	5,4	6,3	3,2	1,8	1,8	6,6	6,8	3,8	1,8
Benzo[ghi]perylen		4,4	1,0	4,7	4,8	1,8	2,8	3,4	1,7	0,6	0,8	2,7	3,5	1,9	0,8
Coronen		1,6	0,9	3,3	2,4	1,3	1,6	1,8	0,7	0,7	0,7	1,3	2,1	1,1	0,7
Summe PAK		1,9	1,6	2,0	3,0	1,0	1,1	2,9	1,5	0,6	0,6	1,8	1,8	1,7	0,6

Tab. 13: Immissionsbelastung PCDD/F in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
	Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR
2,3,7,8-TCDD		1,9	1,2	2,0	5,4	1,5	0,7	7,8	1,2	0,8	1,7	1,6	2,4	3,3	1,7
1,2,3,7,8 PeCDD		5,0	3,1	6,9	12,6	3,7	3,4	15,7	3,8	1,9	5,2	4,1	6,6	7,1	5,2
1,2,3,4,7,8-HxCDD		1,7	1,4	2,4	5,0	1,6	1,5	5,0	1,3	0,6	1,7	1,5	2,6	2,3	1,7
1,2,3,6,7,8 HxCDD		2,4	1,8	3,3	6,5	2,0	2,2	7,0	1,7	0,9	2,6	2,1	3,5	3,2	2,6
1,2,3,7,8,9-HxCDD		1,8	2,0	3,1	6,5	2,1	1,9	5,6	1,8	0,7	2,3	1,9	3,4	2,7	2,3
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD		3,1	2,9	4,5	8,3	3,1	3,3	8,5	2,3	0,7	2,5	3,0	4,8	3,8	2,5
Octa CDD		3,7	4,0	4,6	8,8	3,3	3,8	7,5	3,0	0,7	1,8	3,9	5,1	3,7	1,8
2,3,7,8-TCDF		3,4	1,2	5,6	9,4	1,5	1,6	11,6	2,2	1,1	2,7	2,3	4,5	4,9	2,7
1,2,3,7,8 PeCDF		2,3	1,0	4,0	6,7	1,2	1,3	7,7	1,5	0,6	1,9	1,7	3,3	3,3	1,9
2,3,4,7,8-PeCDF		2,3	1,0	5,2	7,1	1,2	1,5	8,3	1,5	0,5	2,2	1,6	3,7	3,4	2,2
1,2,3,4,7,8-HxCDF		1,8	0,9	4,0	6,0	0,9	1,2	6,0	1,0	0,3	1,8	1,4	3,0	2,4	1,8
1,2,3,6,7,8 HxCDF		1,4	0,8	2,7	4,7	0,8	1,0	4,6	0,9	0,2	1,4	1,1	2,3	1,9	1,4
2,3,4,6,7,8-HxCDF		2,3	1,8	4,9	7,8	1,4	1,6	7,2	1,5	0,4	2,0	2,0	3,9	3,0	2,0
1,2,3,7,8,9-HxCDF		0,5	0,5	1,6	2,9	0,5	1,2	2,8	1,0	0,5	1,5	0,5	1,6	1,5	1,5
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF		3,2	2,6	7,3	13,9	1,5	2,0	9,8	1,9	0,3	2,4	2,9	6,2	4,0	2,4
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF		1,1	1,1	3,6	5,0	1,1	1,1	4,5	1,1	1,1	1,1	1,1	2,7	2,3	1,1
Octa CDF		2,4	2,2	5,5	12,4	1,1	1,4	6,0	1,8	0,4	1,7	2,3	5,1	2,8	1,7
Summe TetraCDD		2,8	1,6	3,5	7,3	1,9	1,5	8,0	2,5	1,4	2,7	2,2	3,6	4,0	2,7
Summe PentaCDD		1,1	0,8	1,6	3,1	1,0	0,9	3,6	1,1	0,7	1,3	0,9	1,7	1,8	1,3
Summe HexaCDD		1,9	1,9	3,1	6,2	2,2	2,3	5,9	1,9	0,9	2,4	1,9	3,4	2,9	2,4
Summe HeptaCDD		2,7	2,7	4,1	7,8	2,9	2,9	7,4	2,1	0,7	2,1	2,7	4,4	3,4	2,1
Summe TetraCDF		3,2	1,3	4,9	9,2	1,7	1,4	10,4	2,3	1,2	2,7	2,3	4,3	4,6	2,7
Summe PentaCDF		1,8	0,9	3,5	5,9	1,0	1,0	6,6	1,2	0,5	1,7	1,3	2,8	2,8	1,7
Summe HexaCDF		1,8	1,1	3,8	6,3	1,0	1,3	6,2	1,2	0,3	1,7	1,4	3,1	2,6	1,7
Summe HeptaCDF		3,4	2,7	7,6	13,8	1,8	2,2	9,7	1,8	0,3	2,3	3,0	6,3	3,9	2,3
Summe PCDD (Tetra - Octa)		1,1	0,9	1,5	3,0	1,0	1,0	3,0	1,0	0,4	1,0	1,0	1,6	1,5	1,0
Summe PCDF (Tetra - Octa)		1,4	0,7	2,5	4,5	0,8	0,7	4,7	1,0	0,4	1,2	1,1	2,1	2,1	1,2
Summe PCDD + PCDF (Tetra - Octa)		1,3	0,8	2,2	4,0	0,9	0,8	4,3	1,0	0,4	1,2	1,1	2,0	1,9	1,2
I-TE (NATO CCMS) exkl. BG		1,2	0,6	2,2	3,6	0,7	0,7	4,1	0,8	0,3	1,1	0,9	1,8	1,7	1,1
I-TE (NATO CCMS) inkl. BG		1,1	0,5	2,0	3,2	0,6	0,7	3,7	0,7	0,3	1,0	0,8	1,6	1,5	1,0
TEQ (WHO 1997) exkl. BG		1,1	0,6	2,1	3,3	0,7	0,7	3,9	0,7	0,3	1,1	0,9	1,7	1,6	1,1
TEQ (WHO 1997) inkl. BG		1,0	0,5	1,9	3,0	0,6	0,6	3,5	0,7	0,3	0,9	0,8	1,5	1,5	0,9
Übrige HpCDD		1,3	1,3	2,0	3,9	1,4	1,4	3,6	1,0	0,4	1,0	1,3	2,2	1,7	1,0
Übrige HxCDD		1,1	1,1	1,7	3,4	1,3	1,3	3,3	1,1	0,5	1,3	1,1	1,9	1,6	1,3
Übrige PeCDD		0,6	0,4	0,9	1,7	0,5	0,5	1,9	0,6	0,4	0,7	0,5	0,9	0,9	0,7
Übrige TCDD		2,2	1,2	2,7	5,6	1,5	1,2	6,1	1,9	1,1	2,1	1,7	2,7	3,0	2,1
Übrige HpCDF		0,4	0,3	0,9	1,5	0,2	0,3	1,0	0,2	0,0	0,3	0,4	0,7	0,4	0,3
Übrige HxCDF		0,4	0,2	0,7	1,3	0,2	0,2	1,2	0,2	0,1	0,3	0,3	0,6	0,5	0,3
Übrige PeCDF		1,5	0,7	2,8	4,8	0,8	0,8	5,4	1,0	0,4	1,4	1,1	2,3	2,3	1,4
Übrige TCDF		1,6	0,7	2,4	4,5	0,9	0,7	5,1	1,1	0,6	1,3	1,1	2,1	2,3	1,3

Tab. 14: Immissionsbelastung PCB (WHO) in der Einheit IBR (Vielfaches der Grundbelastung BRD)

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
		Distanzzone I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR	IBR
PCB Nr. 77		3,4	1,0	5,5	4,7	1,1	0,8	4,8	2,0	0,9	1,3	2,2	3,0	2,5	1,3
PCB Nr. 81		3,7	1,0	4,2	5,6	1,1	0,8	6,1	1,9	0,9	1,6	2,3	2,9	3,0	1,6
PCB Nr. 126		2,8	0,7	8,8	4,1	1,0	1,2	4,7	1,6	0,6	1,1	1,7	3,7	2,3	1,1
PCB Nr. 169		2,5	0,7	9,6	3,7	1,0	1,7	4,5	1,3	0,4	1,0	1,6	4,0	2,1	1,0
PCB Nr. 105		3,4	0,9	6,1	5,0	1,2	0,9	5,8	1,7	0,6	1,4	2,2	3,3	2,7	1,4
PCB Nr. 114		4,4	0,8	12,7	6,8	1,5	0,8	8,2	2,1	0,8	2,0	2,6	5,5	3,7	2,0
PCB Nr. 118		3,6	1,0	10,2	5,9	1,1	0,8	7,5	1,7	0,7	1,6	2,3	4,5	3,3	1,6
PCB Nr. 123		3,6	1,1	0,2	6,2	1,5	1,0	6,9	2,0	0,8	1,7	2,4	2,2	3,2	1,7
PCB Nr. 156		3,2	0,8	15,5	4,4	1,0	1,0	6,3	1,3	0,4	1,0	2,0	5,5	2,6	1,0
PCB Nr. 157		3,0	0,8	10,0	4,0	1,0	1,1	5,1	1,2	0,4	1,0	1,9	4,0	2,2	1,0
PCB Nr. 167		3,2	0,8	14,2	4,5	1,0	1,1	6,0	1,4	0,4	1,2	2,0	5,2	2,6	1,2
PCB Nr. 189		3,2	0,7	18,4	4,1	1,0	1,3	5,4	1,0	0,3	0,1	1,9	6,2	2,2	0,1
PCB-TEQ (WHO 1997) inkl. BG		2,8	0,7	9,0	4,1	1,0	1,1	4,8	1,6	0,6	1,1	1,7	3,8	2,3	1,1
PCB-TEQ (WHO 1997) exkl. BG		2,8	0,7	9,0	4,1	1,0	1,1	4,8	1,6	0,6	1,1	1,7	3,8	2,3	1,1
PCB-TEQ (WHO 2005) inkl. BG		2,8	0,7	8,8	4,1	1,0	1,2	4,7	1,6	0,6	1,1	1,7	3,8	2,3	1,1
PCB-TEQ (WHO 2005) exkl. BG		2,8	0,7	8,8	4,1	1,0	1,2	4,7	1,6	0,6	1,1	1,7	3,8	2,3	1,1

Grundbelastung basiert bei PCB auf vorläufiger Schätzung

Tab. 15: Luftqualitätsindex Elemente [LQIR]

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
		Distanzzone I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR
Calcium	Ca	107	166	67	32	57	96	53	93	76	106	137	63	74	106
Kalium	K	22	131	43	88	115	91	66	84	1	140	77	84	50	140
Magnesium	Mg	62	108	56	47	93	99	59	77	85	105	85	74	74	105
Mangan	Mn	71	32	34	45	78	17	34	58	32	1	51	43	42	1
Stickstoff	N	63	61	104	131	144	82	111	115	63	95	62	115	97	95
Phosphor	P	22	45	30	83	92	81	67	80	27	64	34	72	58	64
Silber	Ag	46	46	57	51	51	58	72	44	35	37	46	54	50	37
Aluminium	Al	66	37	75	75	70	87	76	75	3	34	52	77	51	34
Arsen	As	2	1	26	31	1	17	40	1	1	1	1	18	14	1
Barium	Ba	95	54	97	85	37	46	92	103	47	1	75	66	81	1
Beryllium	Be	80	77	72	74	37	77	75	80	50	61	78	65	68	61
Wismut	Bi	103	128	125	127	114	133	125	92	79	72	116	125	99	72
Cadmium	Cd	84	135	15	1	60	114	16	52	1	1	110	47	23	1
Cobalt	Co	56	64	44	33	51	48	42	23	1	11	60	44	22	11
Chrom	Cr	46	51	50	47	48	61	49	48	20	33	49	51	39	33
Cäsium	Cs	13	1	34	28	38	36	23	36	1	1	6	34	20	1

	Standort	Distanzzone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
			I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
			LQIR													
Kupfer	Cu		143	145	93	81	107	125	116	94	46	53	144	102	85	53
Eisen	Fe		63	45	73	70	74	76	69	58	1	14	54	73	42	14
Gallium	Ga		33	1	54	52	16	33	62	20	1	1	17	39	27	1
Germanium	Ge		40	5	48	47	31	34	52	27	1	20	23	40	26	20
Quecksilber	Hg		13	1	32	39	1	22	36	1	1	1	6	23	12	1
Lithium	Li		82	68	61	61	51	53	61	68	18	36	75	57	49	36
Molybdän	Mo		105	43	82	52	44	61	52	48	38	39	74	60	46	39
Natrium	Na		78	147	131	105	146	168	138	103	105	223	112	137	116	223
Niob	Nb		29	27	44	44	43	53	44	41	1	19	28	46	28	19
Nickel	Ni		64	71	56	54	62	76	54	50	41	47	67	62	48	47
Blei	Pb		80	53	68	67	35	79	78	49	1	40	66	62	42	40
Rubidium	Rb		59	32	65	78	130	85	78	73	1	19	46	89	50	19
Schwefel	S		33	40	77	85	82	53	78	51	1	68	36	74	43	68
Antimon	Sb		66	65	67	63	43	78	71	48	1	19	65	63	40	19
Selen	Se		17	3	38	38	23	37	44	12	1	18	10	34	18	18
Zinn	Sn		95	54	81	45	28	63	42	51	64	47	75	54	52	47
Strontium	Sr		71	108	70	47	57	77	66	75	50	91	89	63	64	91
Thorium	Th		45	15	45	43	34	40	49	39	1	14	30	41	29	14
Titan	Ti		26	25	46	56	51	56	57	45	20	11	25	52	40	11
Thallium	Tl		96	1	60	41	1	1	31	23	1	1	48	25	18	1
Uran	U		21	1	37	39	21	41	43	30	1	10	11	35	24	10
Vanadium	V		51	34	54	52	44	68	66	27	1	23	43	55	31	23
Wolfram	W		50	64	56	48	47	59	55	39	1	28	57	52	31	28
Zink	Zn		77	114	46	48	74	107	55	61	44	42	95	69	53	42
Zirconium	Zr		1	19	39	45	39	55	47	23	1	12	10	45	24	12
Cer	Ce		47	1	45	42	19	45	60	26	1	1	23	38	29	1
Lanthan	La		44	1	40	37	20	44	51	23	1	1	22	35	25	1
MW Lanthanide			48	4	45	43	20	46	61	29	1	4	26	39	30	4
Dysprosium	Dy		59	1	50	49	26	54	70	31	1	1	29	45	34	1
Erbium	Er		46	1	41	43	22	47	58	24	1	1	23	38	27	1
Europium	Eu		54	6	52	43	14	40	61	57	1	1	30	37	39	1
Gadolinium	Gd		56	1	51	46	14	51	75	34	1	1	28	41	37	1
Holmium	Ho		56	1	51	49	25	53	69	27	1	1	28	45	32	1
Lutetium	Lu		56	25	52	59	44	57	67	40	1	25	40	53	36	25
Neodym	Nd		40	1	38	35	14	40	54	20	1	1	20	32	25	1
Praseodym	Pr		40	1	40	37	13	42	54	20	1	1	20	33	25	1
Samarium	Sm		41	1	41	35	11	40	57	22	1	1	21	32	26	1
Terbium	Tb		50	1	47	43	18	48	63	29	1	1	25	39	31	1
Thulium	Tm		56	22	54	56	34	56	63	39	1	18	39	50	34	18
Ytterbium	Yb		26	1	25	24	10	30	37	4	1	1	13	22	13	1
MW Elemente			57	53	59	57	55	65	62	52	22	38	46	52	39	24

Tab. 16: Luftqualitätsindex PAK [LQIR]

Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
	Distanzzone I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR
Naphthalin	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Acenaphthylen	1	1	35	87	1	1	84	38	1	1	1	31	41	1
Acenaphthen	30	44	26	47	17	37	53	17	26	1	37	32	32	1
Fluoren	19	39	1	22	1	21	50	1	1	1	29	11	17	1
Phenanthren	35	40	20	41	1	1	60	1	1	1	38	15	20	1
Anthracen	19	1	1	33	1	1	31	21	1	1	10	8	17	1
Fluoranthen	59	61	75	97	40	37	92	60	4	20	60	62	52	20
Pyren	70	68	77	92	53	51	86	67	23	22	69	68	59	22
Chrysen	70	19	61	62	31	35	60	26	1	1	45	47	29	1
Benzo[a]anthracen	70	34	64	69	21	39	71	42	1	20	52	48	38	20
Benzo[b]fluoranthen	62	8	53	71	20	39	69	22	1	1	35	46	30	1
Benzo[k]fluoranthen	58	1	71	64	27	47	58	28	1	1	29	52	29	1
Benzo[a]pyren	70	1	68	66	18	33	58	16	1	1	35	46	25	1
Indeno[1,2,3-cd]pyren	73	12	73	75	37	56	71	38	1	1	43	60	37	1
Dibenz[a,h]anthracen	56	36	53	56	39	44	48	33	22	22	46	48	34	22
Benzo[ghi]perylene	64	10	66	67	30	47	54	29	1	1	37	53	28	1
Coronen	27	1	51	40	18	27	31	1	1	1	14	34	10	1
Summe PAK	51	40	54	79	11	13	77	37	1	1	45	39	38	1

Tab. 17: Luftqualitätsindex PCDD/F [LQIR]

Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
	Distanzzone I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR	LQIR
2,3,7,8-TCDD	10	1	15	72	1	1	95	1	1	1	5	22	32	1
1,2,3,7,8 PeCDD	64	37	82	116	47	42	129	48	4	67	51	72	60	67
1,2,3,4,7,8-HxCDD	1	1	27	74	1	1	74	1	1	1	1	25	25	1
1,2,3,6,7,8 HxCDD	23	1	44	88	14	18	92	1	1	29	12	41	31	29
1,2,3,7,8,9-HxCDD	1	12	41	87	17	11	77	1	1	22	6	39	26	22
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	41	36	66	106	41	45	107	19	1	26	39	64	42	26
Octa CDD	59	63	75	123	48	60	111	42	1	1	61	77	51	1
2,3,7,8-TCDF	45	1	77	112	1	1	125	16	1	30	22	47	47	30
1,2,3,7,8 PeCDF	22	1	70	115	1	1	127	1	1	2	11	46	42	2
2,3,4,7,8-PeCDF	17	1	57	73	1	1	81	1	1	15	9	33	27	15
1,2,3,4,7,8-HxCDF	1	1	48	69	1	1	69	1	1	1	1	29	23	1
1,2,3,6,7,8 HxCDF	1	1	29	61	1	1	59	1	1	1	1	22	20	1
2,3,4,6,7,8-HxCDF	19	1	59	83	1	1	79	1	1	11	9	36	27	11
1,2,3,7,8,9-HxCDF	1	1	1	48	1	1	46	1	1	1	1	12	15	1
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	38	26	82	118	1	11	98	6	1	21	32	53	35	21
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1	1	52	70	1	1	64	1	1	1	1	31	21	1
Octa CDF	22	18	62	100	1	1	66	7	1	1	20	41	24	1
Summe TetraCDD	29	1	39	79	3	1	83	22	1	26	14	30	35	26

	Standort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	MW	MW	MW	MW
	Distanzzone	I	I	II	II	II	II	III	III	III	IV	I	II	III	IV
		LQIR													
Summe PentaCDD		1	1	1	40	1	1	50	1	1	1	1	10	17	1
Summe HexaCDD		4	2	42	92	19	21	89	2	1	24	3	43	30	24
Summe HeptaCDD		34	34	66	115	39	40	112	15	1	15	34	65	42	15
Summe TetraCDF		33	1	53	82	1	1	88	16	1	24	17	34	35	24
Summe PentaCDF		1	1	36	61	1	1	66	1	1	1	1	24	22	1
Summe HexaCDF		1	1	45	72	1	1	71	1	1	1	1	29	24	1
Summe HeptaCDF		36	26	74	101	1	16	85	3	1	20	31	48	29	20
Summe PCDD (Tetra - Octa)		16	1	37	80	6	3	80	1	1	1	8	32	27	1
Summe PCDF (Tetra - Octa)		32	1	65	101	1	1	105	3	1	22	16	42	36	22
Summe PCDD + PCDF (Tetra - Octa)		27	1	55	90	1	1	93	7	1	18	14	36	33	18
I-TE (NATO CCMS) exkl. BG		19	1	53	78	1	1	84	1	1	16	10	33	28	16
I-TE (NATO CCMS) inkl. BG		13	1	47	71	1	1	78	1	1	6	7	30	26	6
TEQ (WHO 1997) exkl. BG		19	1	67	104	1	1	115	1	1	15	10	43	38	15
TEQ (WHO 1997) inkl. BG		10	1	58	95	1	1	106	1	1	1	5	38	35	1
Übrige HpCDD		28	34	65	119	38	37	112	13	1	1	31	65	42	1
Übrige HxCDD		37	37	43	53	39	39	52	37	27	40	37	44	39	40
Übrige PeCDD		1	1	1	44	1	1	54	1	1	1	1	11	18	1
Übrige TCDD		51	20	62	100	31	18	105	45	14	49	35	53	54	49
Übrige HpCDF		32	28	45	54	23	25	48	20	1	25	30	37	22	25
Übrige HxCDF		30	25	38	43	25	27	43	26	14	29	27	33	28	29
Übrige PeCDF		32	1	71	103	1	1	109	3	1	28	16	43	37	28
Übrige TCDF		32	1	52	82	1	1	87	16	1	23	16	33	34	23