


# Stoffeinträge im Umfeld von Recyclinganlagen


 Messungen von 2013 und 2014



Baden-Württemberg



# Stoffeinträge im Umfeld von Recyclinganlagen

 Messungen von 2013 und 2014



Baden-Württemberg

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe, Postfach 100163, <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a> <a href="mailto:poststelle@lubw.bwl.de">poststelle@lubw.bwl.de</a>
<b>BEARBEITUNG</b>	Referat 33 – Luftqualität Yvonne Buchleither
<b>DOKUMENTATION-NUMMER</b>	33-12/2015
<b>KARTENGRUNDLAGEN</b>	LUBW, LGL BW
<b>STAND</b>	Dezember 2015
<b>BERICHTSUMFANG</b>	26 Seiten

Berichte und Anlagen dürfen nur unverändert weitergegeben werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist ohne schriftliche Genehmigung der LUBW nicht gestattet.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>		<b>7</b>
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>MESSPROGRAMM</b>	<b>9</b>
2.1	Auswahl der Recyclingbetriebe	9
2.2	Depositionsmessungen	9
2.3	Aktives Biomonitoring (Bioakkumulation)	9
2.4	Untersuchte Betriebe	10
<b>3</b>	<b>BEWERTUNGSGRUNDLAGEN</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>14</b>
4.1	Depositionsmessungen	14
4.1.1	Staubniederschläge	14
4.1.2	Schwermetalleinträge	14
4.2	Aktives Biomonitoring	16
4.2.1	Anreicherung von Schwermetallen	16
4.2.2	Anreicherung von Polychlorierten Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)	16
4.2.3	Anreicherung von Polychlorierten Biphenylen (PCB)	16
4.2.4	Anreicherung von Polybromierten Diphenylethern (PBDE)	17
<b>5</b>	<b>EMISSIONSMINDERUNGSMASSNAHMEN</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>24</b>



# Zusammenfassung

Im Umfeld dreier Recyclingbetriebe wurden von Juli 2013 bis Juli 2014 die **Staubniederschläge** und die **Schwermetalleinträge** aus überwiegend diffusen Emissionsquellen ermittelt.

Die Betriebe unterscheiden sich bzgl. der anfallenden Recyclingmaterialien, Betriebsprozesse und ihrer Anlagenkapazitäten. Die Recyclingmaterialien werden bis zu einer weiteren Verwertung sowohl in Hallen als auch im Freien umgeschlagen und gelagert. Der Betrieb A (Abbildung 2-1) sortiert Papier, Kartonagen, Holz, Kunststoffe sowie Baumischabfälle und lagert in geringerem Umfang gefährliche Abfälle. Der Betrieb B (Abbildung 2-2) sortiert automatisiert Wertstoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfällen. Der Betrieb C (Abbildung 2-3) sortiert und trennt mit überwiegend automatisierter Zerkleinerung Elektro- und Elektronikaltgeräte.

Die Staubniederschläge blieben an allen 15 Messpunkten deutlich unterhalb des Immissionswertes nach der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft [TA Luft, 2002].

Im Umfeld der Betriebe A und B traten keine Überschreitungen der Immissionswerte für Schadstoffdepositionen gemäß der TA Luft von Arsen, Cadmium, Blei, Nickel, Quecksilber und Thallium auf. Somit ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen [BImSchG, 2011] durch die Deposition luftverunreinigender Stoffe, einschließlich des Schutzes vor schädlichen Bodenveränderungen, gegeben (Tabelle 4-1).

Im Untersuchungsgebiet C überschritten im Zeitraum Juli 2013 bis Juli 2014 auf dem Betriebsgelände am Messpunkt C1 und im unmittelbaren Umfeld des Betriebes an den Messpunkten C2 und C3 die Bleieinträge (Pb) den Immissionswert der TA Luft (Tabelle 4-1). Die Cadmumeinträge (Cd) lagen an C1 und C2 über dem Immissionswert der TA Luft. Des Weiteren überstiegen auf dem Betriebsgelände an C1 die Cadmium- und Bleieinträge die zulässigen, zusätzlichen, jährlichen Frachten von Cd und Pb gemäß Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung [BBodSchV, 1999] (Tabelle 4-1).

Eine Verlängerung der Messungen bis Januar 2015 erfolgte bei Betrieb C, um die Wirkung der ab August 2014 eingeleiteten **Emissionsminderungsmaßnahmen** zu erfassen. Nach der Erörterung der ersten Messergebnisse an Betrieb C führte dieser umgehend erste Minderungsmaßnahmen durch. An den Messpunkten C1, C2 und C3 zeigten die Untersuchungen eine Minderung der jährlichen Schwermetalleinträge. Am Messpunkt C2, im Bereich des Abtransportes, bewirkten die eingeleiteten Maßnahmen eine Unterschreitung des Immissionswertes für Cadmium. Ob die bisher durchgeführten Minderungsmaßnahmen für die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben nach BBodSchV und der Immissionswerte nach TA Luft ausreichen, ist durch weitere Untersuchungen zu verifizieren (Kapitel 5).

Das **Biomonitoring** für die Anreicherungen von Schwermetallen, polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), polychlorierten Biphenylen (PCB) und polybromier-

ten Diphenylethern (PBDE) erfolgte während der Vegetationsperiode von Juli bis Dezember 2013 mittels Gras- und Grünkohlkulturen. Der Einsatz der PCB ist seit 1989 europaweit verboten, dennoch reicherten die anlagennah aufgestellten Graskulturen PCB an. Ebenso reicherte sich an diesen Messpunkten das seit 2008 verbotene Kongener BDE-209 in den Graskulturen an (Tabelle 4-2). Über die Betriebsprozesse gelangten daher sowohl die PCB als auch das Kongener BDE-209 weiterhin in die Umwelt.

Die aktive Beteiligung der Betreiber und Anwohner, die Mitwirkung unterbeauftragter Dienstleister, die Finanzierung durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft (UM) und die fachübergreifenden Unterstützungen innerhalb der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz (LUBW) ermöglichten die Realisierung dieses Projekts.



# 1 Einleitung

Im Kreislaufwirtschaftsgesetz [KrWG, 2012] festgelegte Ziele sind die Abfallvermeidung sowie die stoffliche und energetische Verwertung des Abfalls.

Die verabschiedete Neuordnung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes [ElektroG2, 2015] stellt sicher, dass zukünftig deutlich mehr Elektro- und Elektronikaltgeräte einer ordnungsgemäßen und umweltfreundlichen Entsorgung zugeführt werden. Dies soll zu einer Erhöhung der Recyclingquote dieser Produkte sowie deren verbesserte Ressourcennutzung führen. Es ist zu erwarten, dass die zu recycelnden Mengen in den kommenden Jahren deutlich zunehmen werden. Aus diesen Gründen ist es angezeigt, bei Recyclingbetrieben, die eine potentielle Quelle für die Schadstofffreisetzung darstellen, Kenntnisse über die tatsächliche Quantität und Qualität der Schadstofffreisetzung

zu erlangen. Dies gilt speziell für Anlagen mit offenen Recyclingprozessen wie Schreddern, Sortieren, Lagern und Umschlagen (nicht gefasste Emissionsquellen) und beim Recycling von Elektro- und Elektronikaltgeräten. Ziel der Gesetzgebung ist es Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser und weitere Schutzgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen.

Dieses Projekt sollte am Beispiel von drei Recyclingbetrieben, die sich in Art und Menge des Recyclingmaterials unterscheiden, die diffusen Emissionen über Stoffeinträge und -anreicherungen ein Jahr lang erfassen und bewerten. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Umsetzung weiterer schadstoffmindernder Maßnahmen.

## 2 Messprogramm

### 2.1 Auswahl der Recyclingbetriebe

Die Auswahl der drei Recyclingbetriebe erfolgte nach folgenden Kriterien:

- vorhandene diffuse Emissionsquellen (z. B. nicht überdachtes Anliefern und Lagern, Schreddern)
- keine weiteren Recyclinganlagen im Umkreis von 1-3 km
- kooperierende Betreiber für Messungen auf dem Firmengelände
- vorhandene Schutzgüter (Wohngebiet, Spielplätze, Landwirtschaft etc.) im Umkreis von 500 m
- unterstützende Kommunen und Anwohner, die Flächen für Beprobungen zur Verfügung stellen

### 2.2 Depositionsmessungen

Die Bestimmung der Staubniederschläge und den darin enthaltenen Schwermetalleinträgen (Depositionen) erfolgte über zwei Bergerhoff-Gefäße und ein Trichter-Flasche-Sammler für Quecksilbereinträge an jedem Messpunkt [VDI 4320 Bl.1 und Bl.2]. Diese Untersuchungen starteten am 24. Juli 2013 und endeten am 25. Juli 2014. Im Untersuchungsgebiet C verlängerten sich diese Messungen bis zum 16. Januar 2015. Ausgewählt wurden insgesamt 15 Messpunkte, d. h. jeweils sechs Messpunkte in den Untersu-

chungsgebieten A und C sowie drei Messpunkte im Untersuchungsgebiet B. Die Expositionsdauer betrug vier Wochen, gemeinsam mit den Expositionen des Biomonitorings.

### 2.3 Aktives Biomonitoring (Bioakkumulation)

An elf ausgewählten Messpunkten wurden über Gras- und Grünkohlkulturen die Schadstoffanreicherungen erfasst. Dazu standen neun Messpunkte für die drei Untersuchungsgebiete sowie zwei Referenzstandorte (R1 und R2) außerhalb eines Emittenteneinflusses mit vergleichbaren klimatischen Bedingungen zur Verfügung. Im Zeitraum Juni bis September 2013 wurden drei Graskulturserien für jeweils vier Wochen aufgestellt und ausgewertet [VDI 3957 Bl.2]. Im Oktober 2013 erfolgte über acht Wochen an diesen Standorten eine einmalige Exposition der Grünkohlkulturen [VDI 3957 Bl.3]. Die geernteten Pflanzen wurden auf Schwermetalle und organische Schadstoffe wie PAK, PCB und PBDE analysiert [Nobel, Kostka-Rick, Winkelbauer, 2011]. Die pflanzlichen Bioindikatoren „erlauben es, die Wirkungssituation festzustellen und auf das Ausmaß der Immissionsbelastung zu schließen“ [VDI 3957 Bl. 10], stellvertretend für potentiell betroffene Schutzgüter.

## 2.4 Untersuchte Betriebe

Die Anlagen der untersuchten Betriebe werden gemäß den Vorgaben der 4. Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen [4. BImSchV, 2007] betrieben.

Der Recyclingbetrieb A (Abbildung 2-1) sortiert Papier, Kartonagen, Holz sowie Kunststoffe und bereitet diese zur weiteren Verwertung auf. Ebenfalls werden sortierfähige

Baumischabfälle und recycelbare Abfälle aus unterschiedlichen Gewerbebetrieben angenommen sowie in geringerem Umfang gefährliche Abfälle gelagert bzw. umgeschlagen.

Der Recyclingbetrieb B (Abbildung 2-2) sortiert automatisch sowie manuell Wertstoffe wie Glas, Papier, Kartonagen, Metalle und Kunststoffe aus Siedlungs- und Gewerbeabfäll-

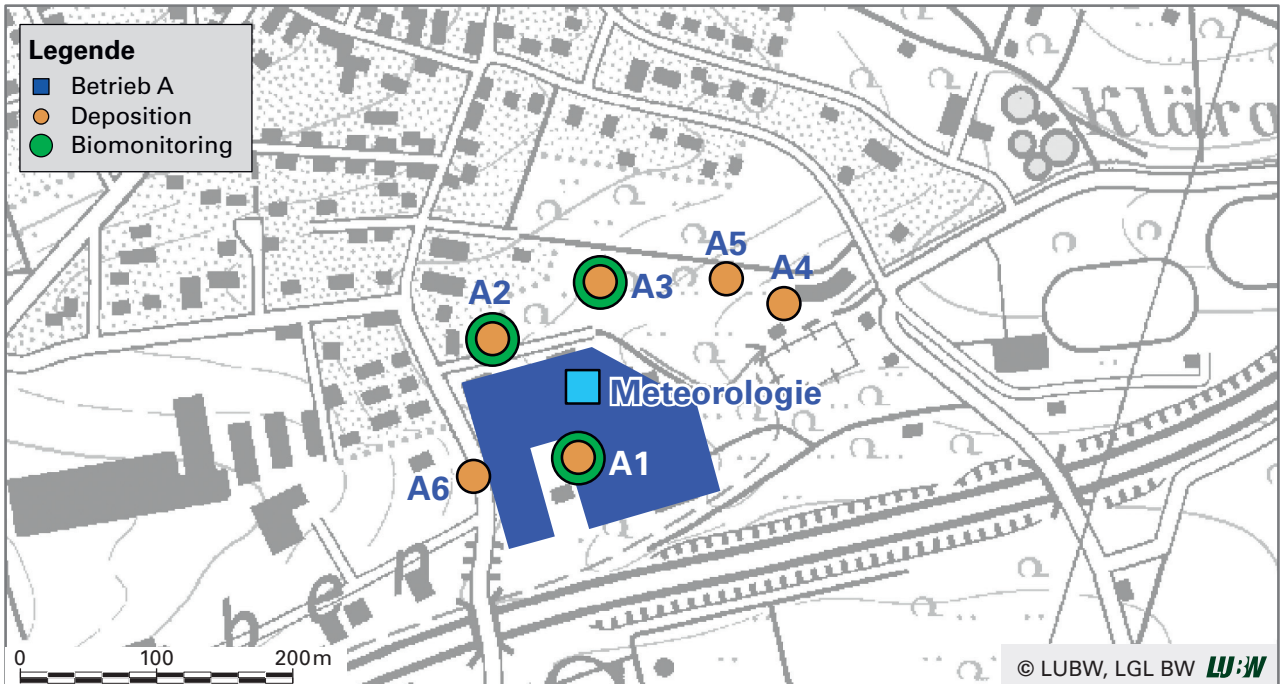


Abbildung 2-1: Untersuchungsgebiet A mit sechs Messpunkten 2013/2014

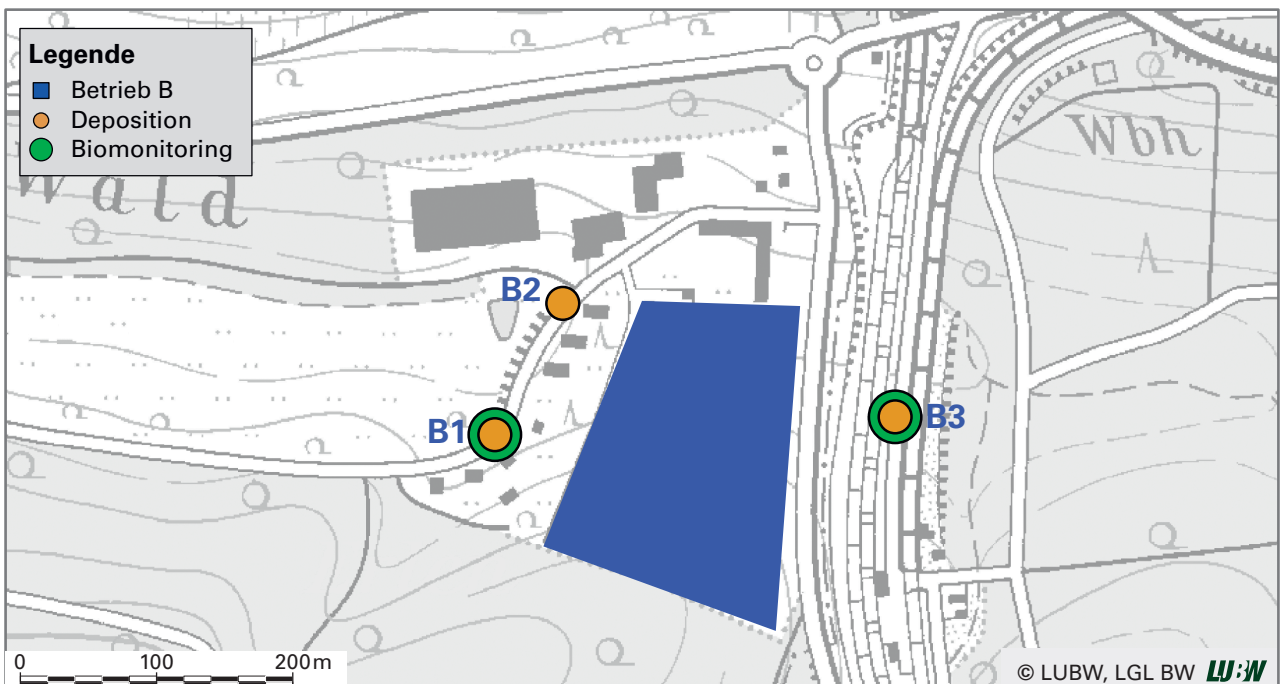


Abbildung 2-2: Untersuchungsgebiet B mit drei Messpunkten 2013/2014

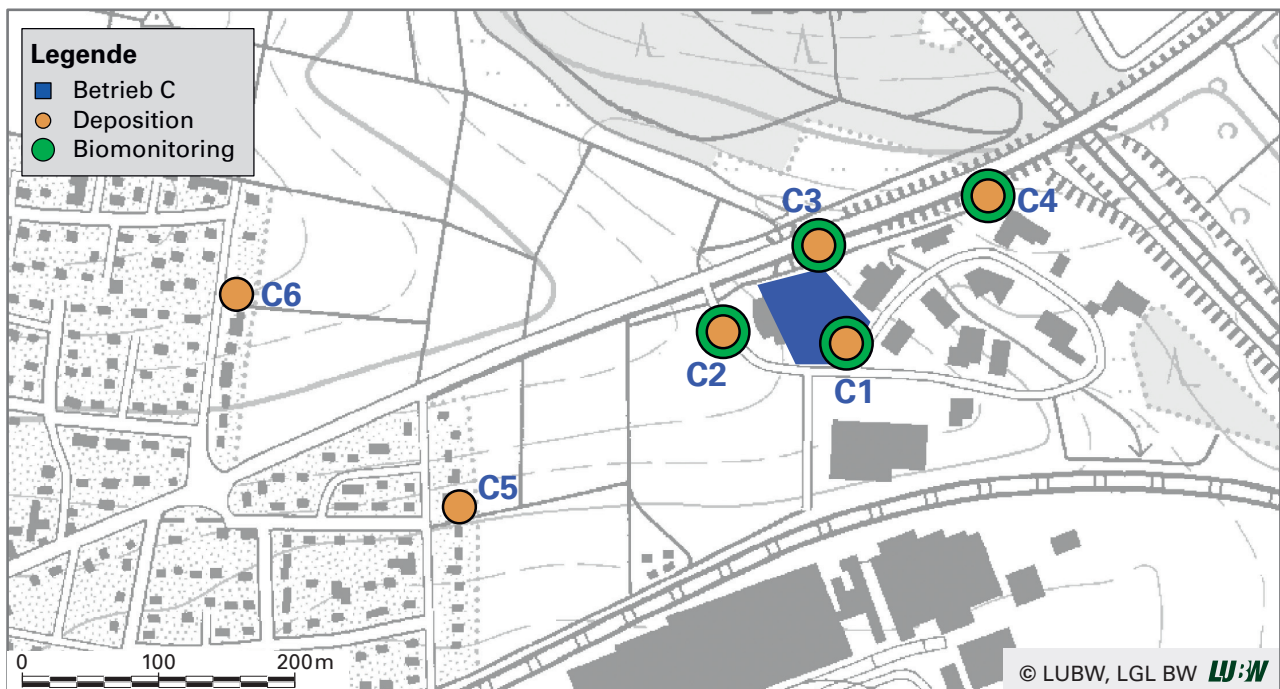


Abbildung 2-3: Untersuchungsgebiet C mit sechs Messpunkten 2013/2014

len. Die Wertstoffe werden in Hallen im Zweischichtbetrieb sortiert, z. T. gepresst und anschließend bis zur weiteren Verwertung in Hallen und im Freien gelagert. Gelagert werden ebenfalls Baustellenabfälle und zu schredderndes Holz.

Der Recyclingbetrieb C (Abbildung 2-3) führt in extra geschlossenen Räumen innerhalb der Betriebshalle eine manuelle Zerlegung und überwiegend eine automatisierte Zerkleinerung, Sortierung und Abtrennung der Elektro- und Elektronikaltgeräte durch. Die getrennten Wertstofffraktionen lagern bis zum Abtransport überwiegend in der Halle und z. T. auch im Freien.

### 3 Bewertungsgrundlagen

Im Rahmen dieses Projekts wurde die Quantität und Qualität der diffusen Stoffeinträge im Umfeld von Recyclinganlagen ermittelt und anhand vorliegender Beurteilungswerte geprüft (Tabelle 3-1 bis Tabelle 3-4).

Der Schutz vor erheblichen Belästigungen oder erheblichen Nachteilen durch Staubniederschläge ist gegeben, wenn der Immissionswert gemäß TA Luft (Tabelle 3-2) nicht überschritten wird. Außerdem ist der Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Schadstoffdepositionen sichergestellt, soweit die in der TA Luft (Tabelle 3-2) genannten Immissionswerte für Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber und Thallium nicht überschritten werden. Schädliche Bodenveränderungen durch Luftverunreinigungen sind nicht zu erwarten, sofern die Vorgaben gemäß der BBodSchV (Tabelle 3-1) eingehalten werden.

Tabelle 3-1: Zulässige zusätzliche jährliche Frachten an Schadstoffen über alle Wirkungspfade nach BBodSchV §8 Abs. 2 Nr. 2 [BBodSCHV, 1999] berechnet auf  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$

Stoffgruppe	Frachten nach BBodSchV	
	$\text{g}/(\text{ha} \cdot \text{a})$	$\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Blei	400	110
Kadmium	6	1,6
Chrom	300	82
Kupfer	360	99
Nickel	100	27
Quecksilber	1,5	0,4
Zink	1200	329

LUBW

Tabelle 3-3: Hintergrundwerte, Orientierungswerte für maximale Hintergrundbelastung (OmH) und orientierende Beurteilungswerte in Gras- bzw. Grünkohlkulturen

Elemente	Einheit	Hintergrund Mittelwert der Referenzmesspunkte des Projekts	OmH Graskultur LfU Bayern 2013 Serien 1-3 / 4 / 5	OmH überregional VDI 3857 Bl.2 (Feb. 2014)
As	mg/kg	0,13	0,3	0,29
Cd	mg/kg	0,04	0,56	0,1
Co	mg/kg	0,48	0,7	-
Cr	mg/kg	0,23	0,2 – 0,48	0,9
Cu	mg/kg	5,79	7,4	12
Hg	mg/kg	0,01	0,013	0,02
Mo	mg/kg	0,93	1,5	-
Ni	mg/kg	5,69	7,2	
Pb	mg/kg	0,12	0,26 – 1,1	0,9
Sb	mg/kg	0,02	0,051 – 0,18	0,08
Tl	mg/kg	NWG	-	-
V	mg/kg	0,17	0,17	0,16
Zn	mg/kg	46	46	50
PCB <sub>6</sub>	$\mu\text{g}/\text{kg}$	2 (NWG)	6,3 / 5,1 / 5,3	
PBDE (8 Kongenere)	$\mu\text{g}/\text{kg}$	0,034		

OmH: Orientierungswert für maximale Hintergrundgehalte  
 OmH-Berechnung mit ausreisserbereinigten Daten:  
 OmH = 75. Perzentil + 1,5 x (75. Perz. – 25. Perz.)  
 MW-Hintergrund: bei Graskulturen 3 Serien beider Referenzmesspunkte gemittelt; für Grünkohl 1 Serie beider Referenzmesspunkte gemittelt  
 NWG: Nachweisgrenze

LUBW

Tabelle 3-2: Immissionswerte für Schadstoffdepositionen gemäß der TA Luft [TA Luft, 2002]

Stoffgruppe	Mittelungszeitraum	Immissionswert
Staubniederschlag	Kalenderjahr	0,35 $\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Arsen und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Arsen	Kalenderjahr	4 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Blei und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Blei	Kalenderjahr	100 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Kadmium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Cadmium	Kalenderjahr	2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Nickel und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Nickel	Kalenderjahr	15 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Quecksilber und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Quecksilber	Kalenderjahr	1 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$
Thallium und seine anorganischen Verbindungen, angegeben als Thallium	Kalenderjahr	2 $\mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$

LUBW

Tabelle 3-4: Höchstgehalte (HG) bzw. Maximale Aufnahmerate (MID) anorganischer und organischer Schadstoffe in pflanzlichen Lebensmitteln und Futtermitteln; Grundlage für die Beurteilung von Stoffgehalten in Gras- und Grünkohlkulturen.

Stoffgruppe	Futtermittel/Tierart Lebensmittel	Höchstgehalte in Futtermittel Feuchtegehalt von 12 % (ppm)	Gehalt umgerechnet auf 100% Trockensubstanz	Einheit	Quelle
<b>Anorganische Schadstoffe</b>					
Arsen	Alleinfuttermittel Futtergesamtration	2	2,3	mg/kg	[EU-VO, 2013], VDI 2310 Bl. 35 (2009)
Blei	Alleinfuttermittel	5	5,7	mg/kg	[EU-VO, 2013]
	Grünfutter	30	34,1	mg/kg	[EU-VO, 2013]
Cadmium	Alleinfuttermittel	0,5	0,57	mg/kg	[EU-VO, 2013]
Chrom	Futtergesamtration Rind, Schaf, Schwein, Huhn	50	56,8	mg/kg	VDI 2310 Bl. 39 (2011)
Kobalt	Alleinfuttermittel	2	2,27	mg/kg	[EU-VO, 2003]
	Alleinfuttermittel für alle Tierarten außer Fisch	1	1,14	mg/kg	[Efsa 2009]
Kupfer	Futtergesamtration Schaf	10 bis 20	11,4 – 22,7 MW 17	mg/kg	VDI 2310 Bl. 38 (2008)
Molybdän	Futtergesamtration Mastrind / Milchkuh	10	11,4	mg/kg	VDI 2310 Bl. 37 (1998)
Nickel	Futtergesamtration	50	56,8	mg/kg	VDI 2310 Bl. 30 (1998)
Quecksilber	Futtermittel Ausgangserzeugnisse	0,1	0,11	mg/kg	[EU-VO, 2012-1]
Vanadium	Futtergesamtration Mastküken	2	2,3	mg/kg	VDI 2310 Bl. 34 (1996, gepr. 2003)
Zink	Futtergesamtration Schafe, Gehegewild	300	341	mg/kg	VDI 2310 Bl. 31 (2005, gepr. 2011)
<b>Organische Schadstoffe</b>					
<b>6 PCB</b>					
Summe der sechs Indikator-Kongenere (28, 52, 101, 138, 153, 180)		10	11,4	µg/kg	[EU-VO, 2012]
<b>PBDE</b>					
bromierte Flammschutzmittel	Lebensmittel	Überwachung empfohlen			[EU-E, 2014]

LU:W

Für den Vergleich von gemessenen Schadstoffgehalten aus Gras- und Grünkohlkulturen mit Hintergrundwerten, wurden die Ergebnisse der Referenzstandorte, die Hintergrundwerte (OmH) aus mehrjährigen Messungen des LfU in Bayern [LFU, 2014] sowie die überregionalen Daten der VDI 3857 Bl. 2 herangezogen (Tabelle 3-3).

Über das aktive Biomonitoring mittels Gras- und Grünkohlkulturen wurden die gewonnenen Stoffeinträge mit den Höchstgehalten in Futtermitteln gemäß den aktuellen EU-Richtlinien bzw. Futtermittelverordnungen verglichen. Weiterhin wurden die entsprechenden Maximalen Aufnahmeraten (MID) zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere aus den Blättern 30-39 der VDI-Richtlinie 2310 heran-

gezogen. Da bei Futtermitteln ein durchschnittlicher Trockensubstanzanteil von 88 %, vorlag, wurden die Höchstgehalte aus den gesetzlichen Vorgaben bzw. die MID entsprechend umgerechnet (Tabelle 3-4).



# 4 Ergebnisse

## 4.1 Depositionsmessungen

### 4.1.1 Staubniederschläge

Im Zeitraum vom 24.07.2013 bis 25.07.2014 lagen die gemittelten Staubniederschläge an allen drei Untersuchungsgebieten unter 0,11 g/(m<sup>2</sup>d) und damit weit unterhalb des Immissionswertes der TA Luft mit 0,35 g/(m<sup>2</sup>d) (Tabelle 4-1).

### 4.1.2 Schwermetalleinträge

Grundsätzlich traten die höchsten mittleren Schwermetalleinträge in Anlagennähe auf.

In den Untersuchungsgebieten A und B blieben die Schwermetalleinträge von Arsen (As), Cadmium (Cd), Blei (Pb), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg) und Thallium (Tl) an allen Messpunkten deutlich unter den Immissionswerten nach TA Luft sowie den zulässigen, zusätzlichen, jährlichen Frachten von Cd, Pb, Ni, Hg, Chrom (Cr), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) gemäß BBodSchV (Tabelle 4-1).

Im Untersuchungsgebiet C wurden auf dem Betriebsgelände (C1) und in Anlagennähe (C2, C3) die höchsten Schwermetalleinträge gemessen. An dem Messpunkt C1 überschritten die Cd-, Pb- und Ni-Einträge deutlich die Immissionswerte der TA Luft, ebenso die zulässigen Zusatzbelastungen für Cd und Pb gemäß BBodSchV (Tabelle 4-1). Am Messpunkt C2, in der Nähe des Abtransportes, traten insgesamt die höchsten Cadmumeinträge auf, die ebenfalls, wie die Bleieinträge, über dem Immissionswert nach TA Luft und den zulässigen Zusatzbelastungen nach der BBodSchV lagen. Die ermittelten Bleieinträge am Messpunkt C3 in der Nähe der Abluftfilteranlage überstiegen geringfügig den Immissionswert der TA Luft (Tabelle 4-1). Die Wirkungen der eingeleiteten Emissionsminderungsmaßnahmen sind im Kapitel 5 beschrieben.

Bei den westlich vom Betrieb C im Wohngebiet gelegenen Messpunkte C5 und C6 waren die erfassten Schwermetall-

Tabelle 4-1: Schwermetalleinträge gemittelt vom 24.07.2013 bis 25.07.2014, im Vergleich zu Immissionswerten gemäß TA Luft (Mittelungszeitraum: ein Jahr) sowie den zulässigen, zusätzlichen, jährlichen Frachten gemäß BBodSchV

MP	mg/(m <sup>2</sup> d)	µg/(m <sup>2</sup> d)												
	Staub	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl*	V	Zn
A1	107	0,6	0,1	0,7	5,9	13,9	0,04	0,8	2,8	11,7	1,9		2,6	57
A2	77	1,4	0,1	0,5	3,8	10,8	0,02	0,4	1,8	5,1	0,7		2,2	40
A3	46	0,3	0,0	0,3	2,0	5,8	0,03	0,2	0,9	2,4	0,4		1,2	17
A4	41	0,3	0,1	0,3	2,4	7,5	0,03	0,3	1,2	2,6	0,4		1,6	20
A5	60	0,7	0,0	0,4	2,4	7,6	0,04	0,2	1,2	2,4	0,3		1,7	20
A6	66	0,5	0,1	0,5	4,0	12,7	0,04	0,4	1,7	7,8	0,7		2,1	44
B1	79	0,5	0,2	0,6	9,5	15,3	0,04	0,7	3,8	14	0,8		1,8	55
B2	64	0,4	0,1	0,5	16,3	7,6	0,03	0,6	7,8	4,1	0,6		1,9	32
B3	81	0,5	0,1	0,5	6,1	11,7	0,03	0,4	2,5	5,7	0,9		2,1	34
C1	78	1,6	2,9	4,2	18,6	46,1	0,42	1,6	22,3	431	13,2		2,3	228
C2	68	0,8	3,2	5,3	7,4	25,9	0,26	0,8	12,1	127	5,4		2,1	138
C3	70	0,7	1,7	2,6	9,5	22,9	0,17	1,0	9,8	110	4,6		2,9	112
C4	38	0,3	0,2	0,4	4,6	8,6	0,06	0,5	2,3	10	0,8		1,4	28
C5	45	0,3	0,1	0,3	2,8	7,2	0,04	0,3	1,3	4,4	0,5		1,4	19
C6	47	0,3	0,1	0,4	2,8	5,7	0,03	0,3	1,2	3,2	0,4		1,3	16
<b>TA Luft</b>	<b>350</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	-	-	-	<b>1,0</b>	-	<b>15</b>	<b>100</b>	-	<b>2</b>	-	-
<b>BBodSchV</b>	-	-	<b>1,6</b>	-	<b>82</b>	<b>99</b>	<b>0,4</b>	-	<b>27</b>	<b>110</b>	-	-	-	<b>329</b>

\* an der Nachweisgrenze

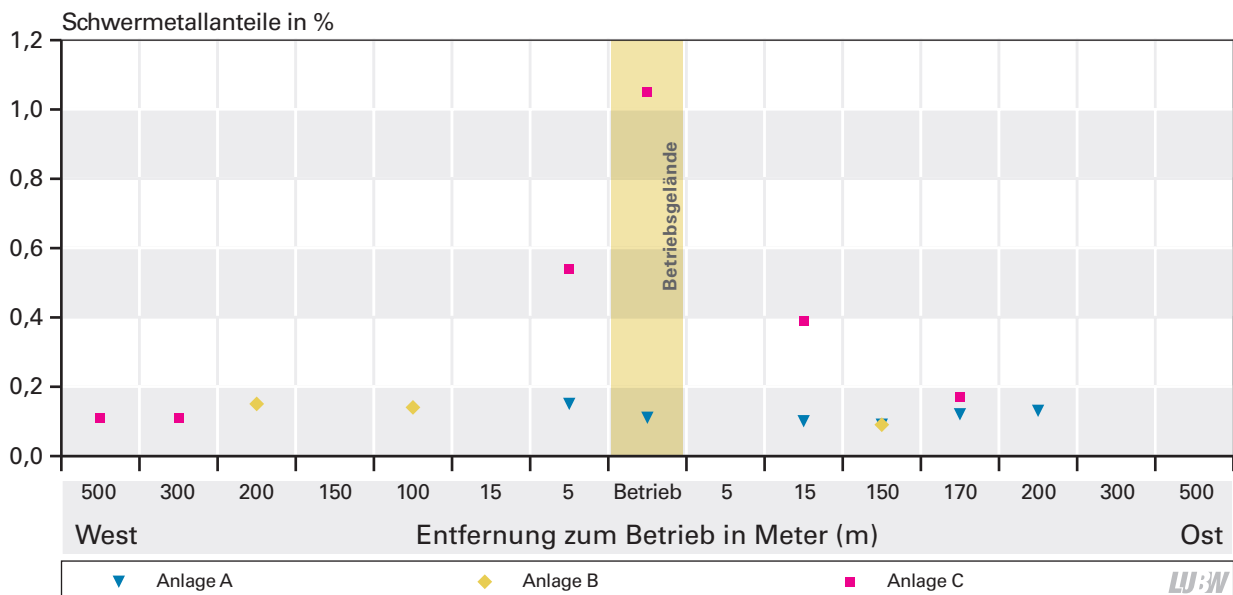


Abbildung 4-1: Schwermetallanteil am Staubniederschlag in Prozent in Abhängigkeit zur Betriebsentfernung

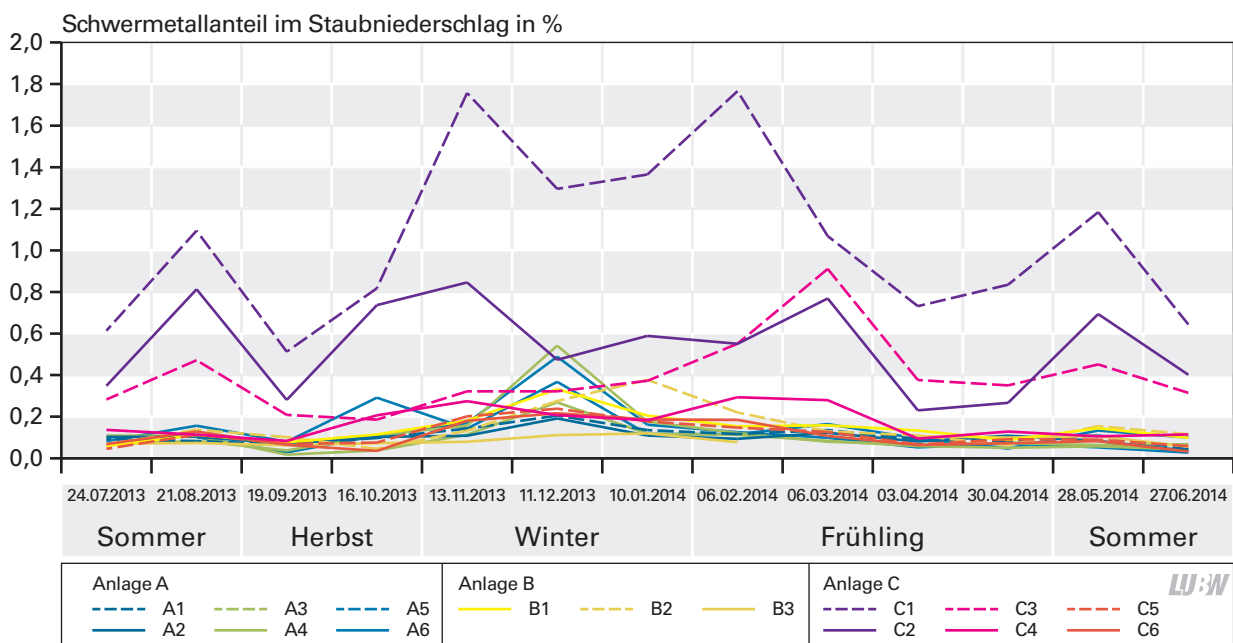


Abbildung 4-2: Jahresverlauf der Schwermetallanteile im Staubniederschlag an allen Messpunkten

leinträge mit den Einträgen der städtischen und ländlichen Hintergrundstandorte des Depositionsmessnetzes Baden-Württembergs vergleichbar.

Bei allen Messpunkten blieben die Staubniederschläge deutlich unterhalb des Immissionswertes, dennoch überschritten die darin enthaltenen Schwermetalle z. T. die vorgegebenen Immissionswerte für Schadstoffdepositionen. Bei Betrieb C erreichten die mittleren Schwermetalleinträge an den anlagen nahen Messpunkten 0,4 bis 1,1 Prozentanteile (Abbildung 4-1). Die Schwermetalleinträge der anlagenfernen Messpunkte blieben weit unter 0,2 Prozentanteilen.

Die im Jahresverlauf z. T. stark schwankenden Schwermetalleinträge können vor allem in Anlagen Nähe prozessbedingte Ursachen haben (Abbildung 4-2).

Die Schwermetallanteile im Staubniederschlag variieren je Messpunkt. Ein eindeutig betriebstypisches Schwermetallmuster konnte den Betrieben, aufgrund der unterschiedlichen innerbetrieblichen Prozesse, nicht zu geordnet werden. Die gemittelten Schwermetallmuster der Messpunkte C1 und C2 sind dennoch, in Abgrenzung zum Muster des Messpunkts C5, ähnlich, so dass sie auf ein für diesen Recyclingprozess typisches Muster hindeuten (Abbildung 4-3). Weitere Messungen während vergleichbarer betriebli-

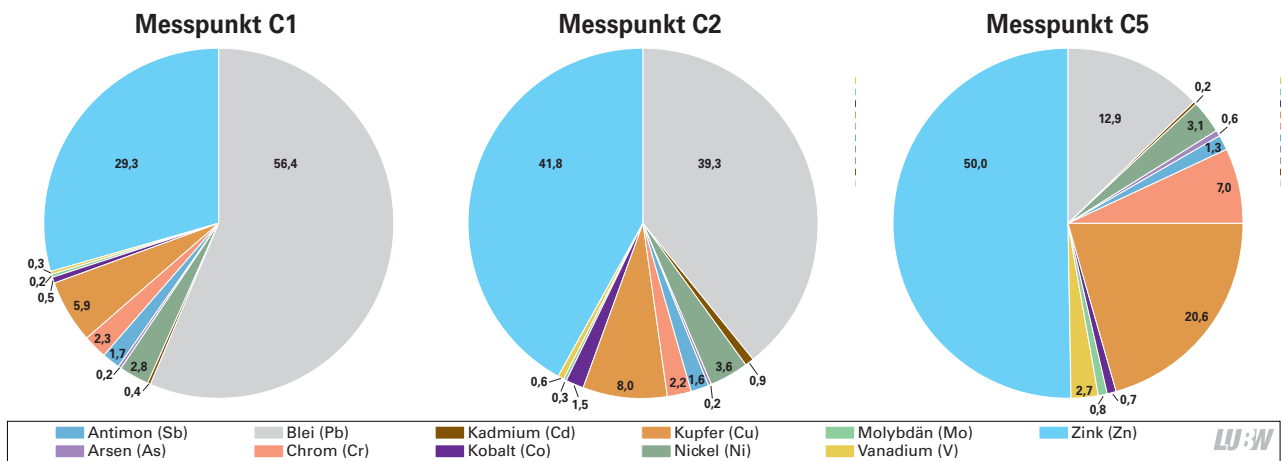


Abbildung 4-3: Muster der Schwermetallanteile in Prozent an den Messpunkten C1, C2 und C5

cher Randbedingungen sind zur Plausibilisierung dieses Schwermetallmusters nötig.

## 4.2 Aktives Biomonitoring

Zur Beurteilung möglicher Immissionsbelastungen werden die Stoffanreicherungen in den Pflanzen mit den maximalen Immissionsdosen für Futtermittel [VDI 2310 Bl. ff], den Höchstgehalten in Lebensmittel bzw. Futtermitteln gemäß den europäischen Vorgaben [EU-VO, 2006] sowie den Orientierungswerten für maximale Hintergrundgehalte (OmH) [VDI 3857 Bl.2, 2014], [LFU, 2014] verglichen.

Bei den Graskulturen schwankten zwischen den Serien die Schadstoffanreicherungen. Ursache für diese Schwankungen können unterschiedliche Emissionssituationen, Windverhältnisse und Niederschlagsbedingungen sein. Starkregen kurz vor der Ernte bzw. Niederschläge während der Exposition bewirken eine Abwaschung der Staubanlagerungen auf den Blattoberflächen der Biomonitoringpflanzen und somit eine mögliche Minderung der Stoffanreicherungen.

Die Untersuchungsergebnisse an allen acht Messpunkten wurden mit den Ergebnissen der zwei Referenzmesspunkte verglichen und auf potentiell anlagenbedingte Schadstoffemissionen ausgewertet.

### 4.2.1 Anreicherung von Schwermetallen

Die Graskulturen der Untersuchungsgebiete sowie die der Referenzpunkte reicherten die z. T. für Pflanzen essentiellen Schwermetalle Kupfer, Molybdän, Nickel und Zink sowie Arsen und Vanadium an, die unterhalb der Orientierungswerte für maximale Hintergrundbelastung (OmH)

der VDI 3957 Bl.2 lagen.

In den Graskulturen der anlagennahen Messpunkte C1, C2 und C3 fanden die höchsten Anreicherungen für Blei, Cadmium, Quecksilber, Antimon und z. T. auch für Kobalt statt, die deutlich über den OmH lagen. Auf dem Betriebsgelände (C1) und bei Messpunkt C2 lagen Hinweise auf Überschreitung der Blei-Höchstgehalte für Futtermittel vor (Tabelle 4-2).

### 4.2.2 Anreicherung von Polychlorierten Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK)

Die in den Graskulturen angereicherten 16 PAK-Kongeneren verblieben, bis auf einen Messpunkt, unterhalb der Nachweisgrenze von 10 µg/kg Trockensubstanz. Lediglich aufgrund der doppelten Expositionszeit von acht Wochen und der beginnenden Heizperiode, reicherten die Grünkohlkulturen einzelne Kongeneren nachweislich an.

### 4.2.3 Anreicherung von Polychlorierten Biphenylen (PCB)

Bei einer Nachweisgrenze von 2 µg/kg Trockenmasse (TM) waren an den Referenzstandorten zu keinem Zeitpunkt die sechs Indikatorkongeneren der polychlorierten Biphenyle (6 PCB) nachweisbar.

Die Anwendung von PCB z. B. in Kunststoffen und Kabelummantelungen ist seit 1989 verboten. An sechs Messpunkten der Untersuchungsgebiete lagen die PCB-Anreicherungen in den Graskulturen im Bereich der maximalen Hintergrundbelastung (OmH). Bei den Messpunkten C1 und C2 wiesen die gemittelten PCB-Anreicherungen in den Graskulturen auf ein Überschreiten des orientieren-



Tabelle 4-2: Gehalte in Graskulturen in mg/kg Trockenmasse (TM) gemittelt von 27.06.2013 – 19.09.2013 im Vergleich zu Hintergrundwerten und Orientierungswerten

Anlage	mg/kg TM												µg/kg TM	
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	V	Zn	6 PCB	8PBDE
A1	0,14	0,03	0,57	0,61	6,4	0,01	0,9	5,4	0,5	0,19	0,10	25,8	7,0	3,1
A2	0,15	0,04	0,46	0,27	5,9	0,003	1,0	5,4	0,2	0,05	0,08	25,8	-	-
A3	0,19	0,04	0,65	0,21	6,6	0,004	1,2	5,8	0,1	0,03	0,06	30,3	6,0	0,4
B1	0,16	0,04	0,52	0,58	6,3	0,01	1,1	6,3	0,4	0,05	0,08	28,0	7,0	0,3
B3	0,16	0,04	0,58	0,39	6,2	0,01	1,1	6,0	0,2	0,06	0,08	30,3	4,0	0,03
C1	0,24	0,31	0,88	0,78	8,4	0,07	1,3	6,3	22,1	0,60	0,11	40,5	16,0	12,8
C2	0,20	0,33	1,14	0,56	7,9	0,04	1,1	6,9	9,4	0,35	0,09	33,4	12,5	14,1
C3	0,17	0,09	0,67	0,40	7,1	0,03	1,1	6,3	3,9	0,16	0,06	32,8	7,0	2,9
C4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	0,5
R1	0,14	0,04	0,46	0,23	5,4	0,01	0,9	5,8	0,1	0,02	0,07	24,4	NWG	0,02
R2	0,13	0,04	0,49	0,23	6,2	0,01	1,0	5,5	0,1	0,02	0,07	25,2	NWG	0,04
<b>OmH</b>	<b>0,29</b>	<b>0,10</b>	<b>0,70</b>	<b>0,9</b>	<b>12</b>	<b>0,02</b>	<b>1,5</b>	<b>7,2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	<b>50</b>	<b>5,1-6,3*</b>	<b>-</b>
<b>OBW</b>	<b>2,3</b>	<b>0,57</b>	<b>2,27 (1,14**)</b>	<b>57</b>	<b>17</b>	<b>0,11</b>	<b>11,4</b>	<b>56,8</b>	<b>5,7<sup>AF</sup> 34,1<sup>GF</sup></b>	<b>-</b>	<b>2,3</b>	<b>341</b>	<b>11,4</b>	<b>-</b>

OmH Orientierungswert für maximale Hintergrundbelastung nach VDI 3857 B12 hier überregional

OBW Orientierender Beurteilungswert für Futtermittel VDI-Richtlinien 2310 Bl. 27 – Bl.39, Lebensmittel: EG-Verordnung 835/2011 [EU-VO, 2011]

NWG Nachweisgrenze

\* Daten aus [LfU, 2014]; für PCB werden Expositionsintervalle unterschieden (Mai – Juli, Juli-Aug. und Aug.-Sept.)

\*\* Vorschlag von der European Food Safety Authority [EFSA, 2009]

AF Alleinfutter

GF Grünfutter

LUBW

den Beurteilungswerts für den Indikator-Summenparameter von 11,4 µg/kg TM für Futtermittel hin (Tabelle 4-2).

Insgesamt war an keinem der 10 Messpunkte eine Anreicherung des höher chlorierten PCB-180 Kongeners nachweisbar, das ein hohes Bioakkumulationspotential besitzt. Für die Untersuchungsgebiete A und B waren weder in den Gras- noch in den Grünkohlkulturen die PCB-Kongener 28, 52 und 101 nachweisbar (Abbildung 4-4), jedoch die höher chlorierten Kongener PCB-138 und PCB-153.

Die Muster der 6 PCB-Indikatorkongener wiesen auf Unterschiede bei den Recyclingbetrieben hin (Abbildung 4-5). In den Untersuchungsgebieten A und B enthielten die Graskulturen nahezu vergleichbare Anteile der höher chlorierten und damit schwerer abbaubaren Kongeneren PCB-138 und PCB-153. Diese Anreicherung fand ebenfalls in den Graskulturen an den Messpunkten C2, C3 und C4 statt. Nur die Graskulturen am Messpunkt C1 (auf dem Betriebsgelände) reicherten verstärkt die niederchlorierten leicht flüchtigen

und leichter abbaubaren PCB-Kongener an. Hier können durch mögliche Abriebvorgänge beim Anliefern von Recyclingmaterial diese PCB-Kongener freigesetzt werden.

#### 4.2.4 Anreicherung von Polybromierten Diphenylethern (PBDE)

An den Referenzstandorten konnten von den 24 Einzelkongeneren der PBDE nur die nieder bromierten BDE-28, -47 und -99 nachgewiesen werden, alle übrigen lagen unterhalb der Nachweisgrenzen.

Der Vergleich der drei Untersuchungsgebiete veranschaulichte deutlich, dass die höchsten Gehalte der analysierten PBDE in den Graskulturen auf dem Betriebsgelände C1 und dem anlagennahen Messpunkt C2 sowie auch in geringerem Umfang auf dem Betriebsgelände A1 auftraten (Abbildung 4-6). Für die einzelnen Kongener zeigte sich, dass die Octa-BDE (BDE-196, -197) und Nona-BDE (BDE-206, -207) nur an den Messpunkten C1 bis C3 nachweisbar waren, an den übrigen Messpunkten lagen diese Werte unterhalb der je-

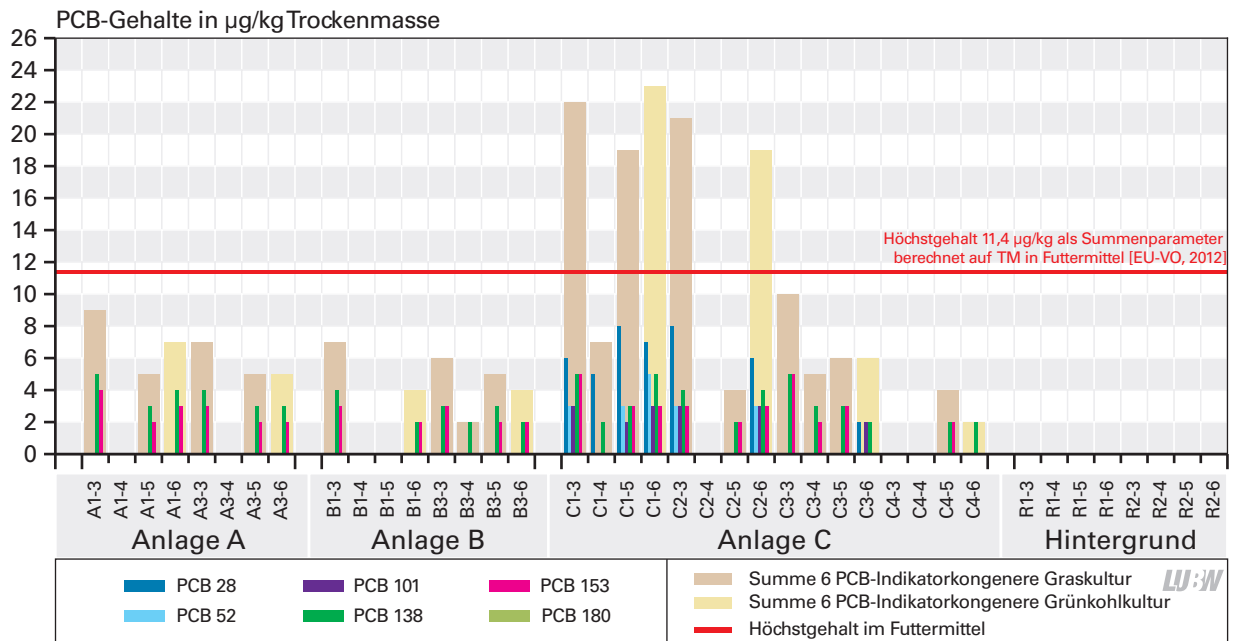


Abbildung 4-4: Gehalt und Summe der quantifizierbaren 6 PCB-Indikatorkongenere in Gras- und Grünkohlkulturen für alle Zyklen und Messpunkte

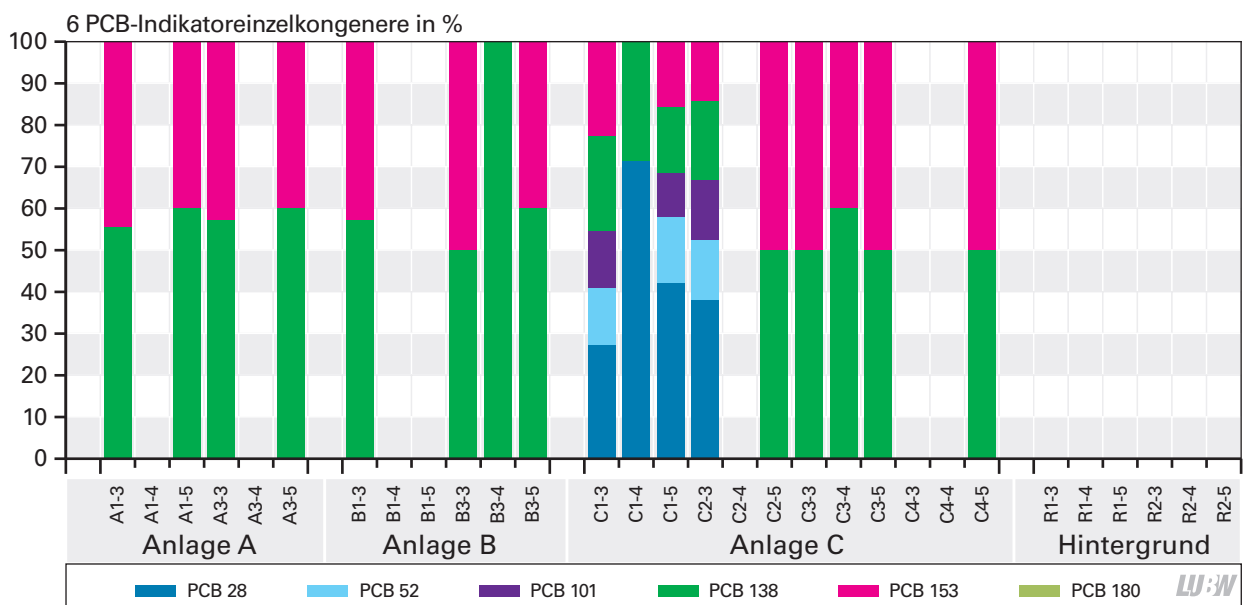


Abbildung 4-5: Anteile der 6 PCB-Indikatoreinzelkongenere in den Graskulturen für alle Serien und Messpunkte

weiligen Nachweisgrenze. Für Penta-BDE (BDE-99, -100, -119, -126) und Octa-BDE ist davon auszugehen, dass aufgrund der gesetzlichen Regelung diese Kongenere im Elektronikschritt weiter abnehmen werden [BAFU, 2013].

Bei den Grünkohlkulturen, also während der kälteren Jahreszeit, waren die Gehalte der PBDE insgesamt deutlich geringer, jedoch am höchsten im direkten Umfeld von Betrieb C. Die Abbildungen 4-6 und 4-7 verdeutlichen, dass das seit 2008 verbotene Kongener BDE-209, mit Anreicherung

in den Graskulturserien von 0,7 µg/kg TM bis 23 µg/kg TM, am häufigsten anzutreffen war.

Vorgaben zu Höchstbelastungen der PBDE in Futter- bzw. Lebensmitteln liegen bisher nicht vor, jedoch gibt die Europäische Kommission eine Empfehlung, die Lebensmittel auf das Vorkommen von Flammschutzmittel zu überwachen [EU-E, 2014].

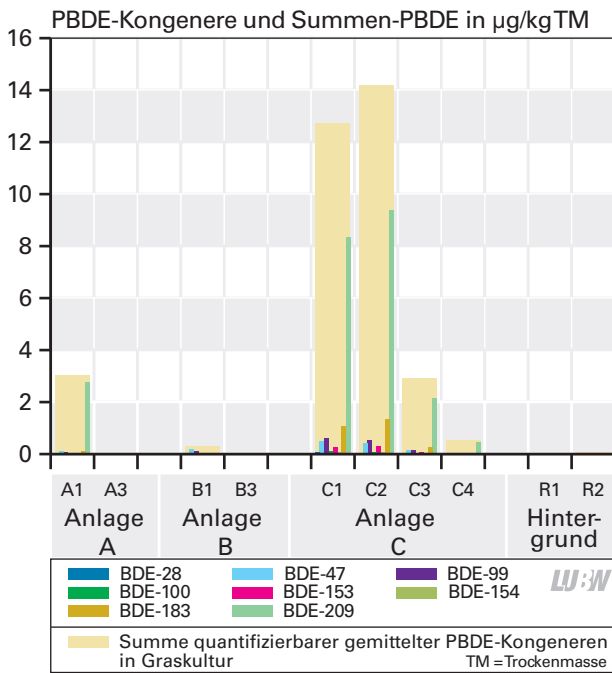


Abbildung 4-6: Summe der quantifizierbaren gemittelten PBDE und bestimmte PBDE-Kongeneren in Graskulturen an allen Messpunkten

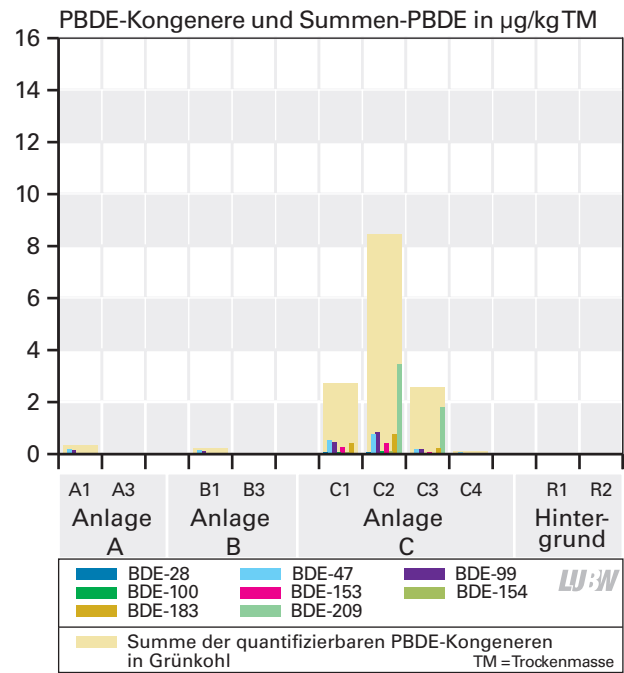


Abbildung 4-7: Summe der quantifizierbaren PBDE und bestimmte PBDE-Kongeneren in Grünkohlkulturen an allen Messpunkten

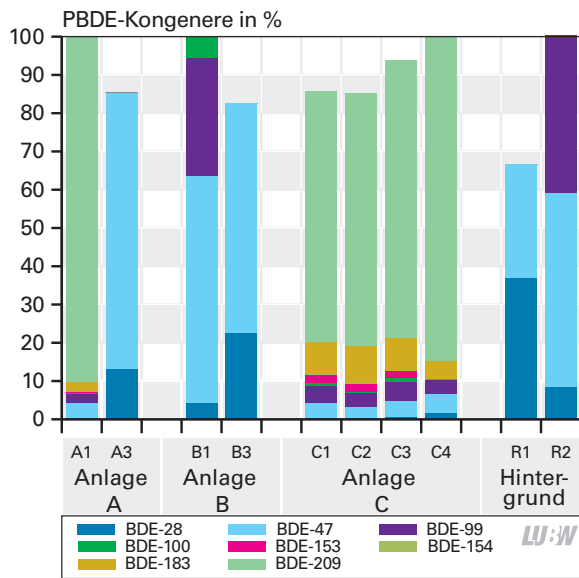


Abbildung 4-8: Anteile der quantifizierbaren gemittelten PBDE-Kongeneren in Graskulturen an allen Messpunkten

Abbildung 4-8 stellt für alle Messpunkte die Anteile der acht PBDE-Kongeneren an den insgesamt nachweislich analysierten PBDE dar. Im direkten Umfeld des Betriebs C akkumulierte das höher bromierte, überwiegend partikelgebundene BDE-209 mit bis zu 80 % am Gesamt-PBDE in den Graskulturen. Ein ähnliches Muster zeigte lediglich der Messpunkt A1 auf dem Betriebsgelände A.

Die Muster, die sich bei den Messpunkten C1 bis C3 darstellen, deuten auf ein typisches Muster für einen überwiegend Elektro- und Elektronikaltgeräte verwertenden Be-

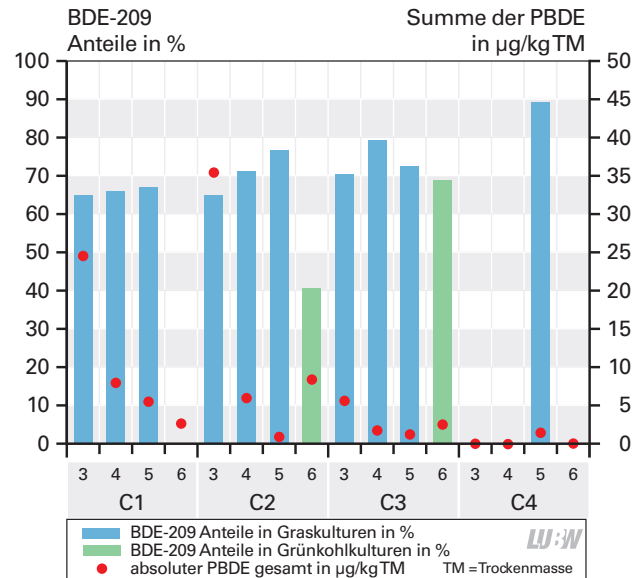


Abbildung 4-9: Anteile von BDE-209 am quantifizierbaren PBDE in allen Graskulturen im Umfeld der Anlage C

trieb hin. Das ermittelte Muster an den Messpunkten A1 und C4 konnte bisher nicht eindeutig geklärt werden.

Die Anreicherungen der analysierten PBDE-Kongeneren nahm zwischen den Graskulturserien an den Messpunkten C1 bis C3 deutlich ab. Die Anteile am Kongener BDE-209 stiegen zum Teil leicht an. Die einzelnen Kongeneren verhalten sich bezüglich ihrer Bioakkumulation unterschiedlich.

# 5 Emissionsminderungsmaßnahmen

Der Betreiber der Anlage C leitete nach ersten Zwischenergebnissen des Projekts eigenständig Emissionsminderungsmaßnahmen ein, die Ende August 2014 abgeschlossen waren und seither konsequent kontrolliert werden. Folgende Emissionsminderungsmaßnahmen fanden schrittweise statt:

- Installieren einer fernsteuerbaren Befeuchtungsanlage „Mist-Air“ für die Bereiche Abtransport, Anlieferung und bei der Lagerung der Granulate
- Einbau einer Klima- und Belüftungsanlage im Sortierbereich zum Vermeiden von Staubaufwirbelungen und Verbessern der Arbeitsbedingungen
- Getrenntes Lagern der angelieferten Ware in Bildschirme/Monitore und restlicher Elektronikschrott, separiert durch Trennwände und eigenen Anlieferungswegen
- Abdecken der LKW vor dem Abtransport aus der Halle und beladen nur in der Halle
- Verringern der Toröffnungszeiten beim Abtransport auf das Mindestmaß
- Reinigen des Hallenbodens und der Hoffläche einmal wöchentlich durch eine Reinigungsfirma

Unabhängig von den Maßnahmen wurden am Untersuchungsgebiet C die Staubbiederschläge sowie die Schwermetalleinträge bis zum 16.01.2015 gemessen und insgesamt

19 Zyklen analysiert. Damit konnte die Anfangsphase der eingeleiteten emissionsmindernden Maßnahmen erfasst werden.

Insgesamt nahmen die Schwermetalleinträge ab Zyklus 16 mit der Umsetzung der Minderungsmaßnahmen ab. Am deutlichsten wirkte sich dies auf die Cadmumeinträge bei den anlagennahen Messpunkten aus (Abbildung 5-1). Hier lagen die Einträge ab Zyklus 16 unterhalb des Immissionswertes  $2 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$  nach TA Luft.

Die Bleieinträge nehmen vor allem an den anlagennahen Messpunkten deutlich ab, mit der Tendenz unterhalb von  $100 \mu\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$  Bleieintrag zu bleiben. Für den Messpunkt C1 ist dies jedoch noch nicht erkennbar (Abbildung 5-2).

Die Effizienz dieser emissionsmindernden Maßnahmen verdeutlicht der Vergleich der gemittelten Schwermetalleinträge über die Zyklen 1-13 (Projektphase ohne Maßnahmen) und die Zyklen 7-19 (Emissionsminderungsmaßnahmen). Die gemittelten Zyklen 7-19 enthalten die vier Monate der eingeleiteten Minderungsmaßnahmen (Tabelle 5-1). Durch die Maßnahmen reduzierten sich die mittleren Schwermetallanteile im direkten Umfeld der Anlage an allen vier Messpunkten, bis auf Kupfer und Zink am Messpunkt C3.

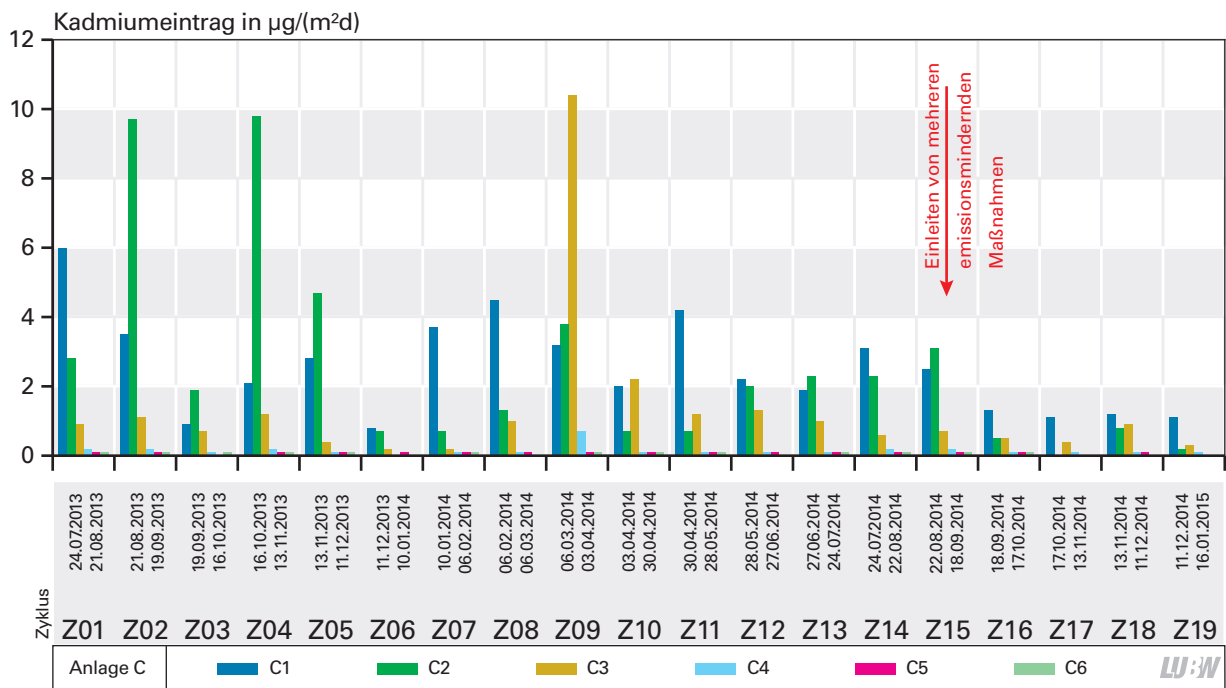


Abbildung 5-1: Cadmumeinträge je Messzyklus (insgesamt 19) und je Messpunkt von 24.07.2013 bis 16.01.2015

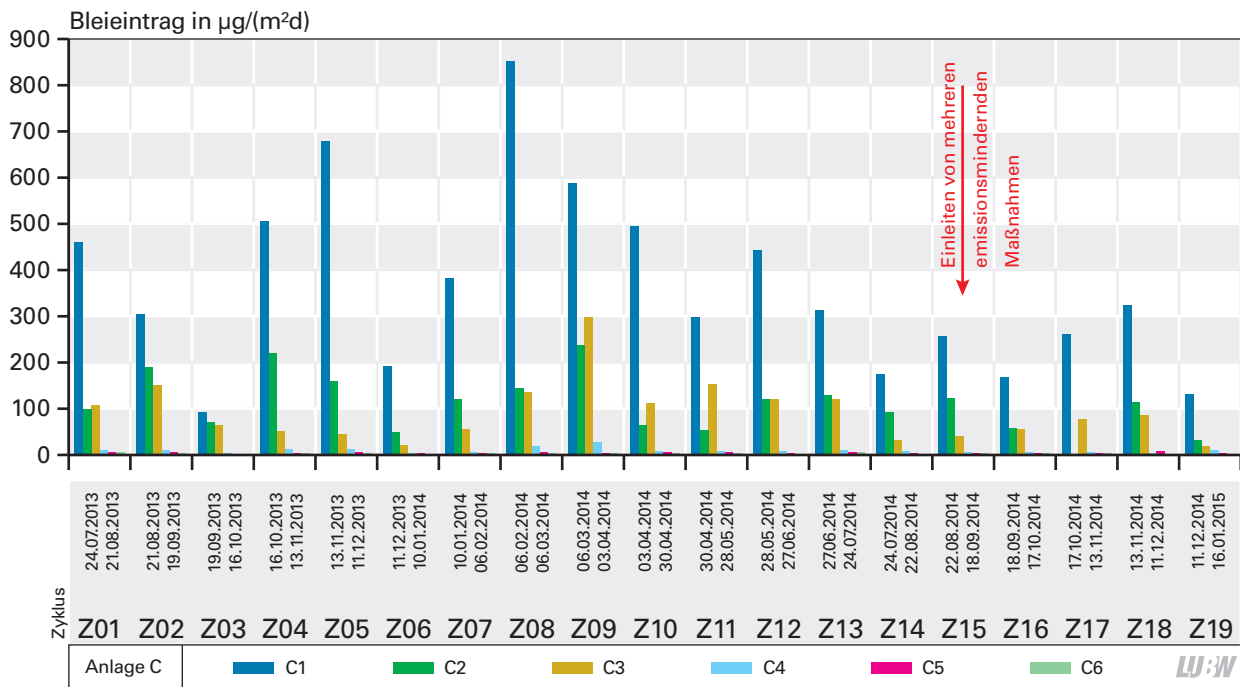


Abbildung 5-2: Bleieinträge je Messzyklus und je Messpunkt von 24.07.2013 bis 16.01.2015

Tabelle 5-1: Vergleich der über 12 Monate gemittelten Stoffeinträge für die Zyklen 1 - 13 vor den Emissionsminderungsmaßnahmen und den Zyklen 7 - 19 mit den Emissionsminderungsmaßnahmen

MP	MW	mg/(m²d)														
		Zyklen	Staub	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Tl*	V	Zn
C1	1-13	78	1,6	2,9	4,2	18,6	46,1	0,44	1,6	22,3	431	13,2		2,3	228	
	7-19	76	1,5	2,5	3,7	16,7	43,3	0,36	1,6	21,0	360	11,2		2,1	229	
C2	1-13	68	0,8	3,2	5,3	7,4	25,9	0,26	0,8	12,1	127	5,4		2,1	138	
	7-19	58	0,7	1,5	3,4	6,5	21,5	0,17	0,8	8,1	107	4,1		1,8	127	
C3	1-13	70	0,7	1,7	2,6	9,5	22,9	0,17	1,0	9,8	110	4,6		2,9	112	
	7-19	66	0,7	1,6	2,5	7,8	25,0	0,15	0,9	9,4	100	4,2		2,6	120	
C4	1-13	38	0,3	0,2	0,4	4,6	8,6	0,06	0,5	2,3	10	0,8		1,4	28	
	7-19	36	0,3	0,2	0,4	3,9	8,3	0,05	0,4	2,1	9	0,7		1,2	28	
C5	1-13	45	0,3	0,1	0,3	2,8	7,2	0,04	0,3	1,3	4	0,5		1,4	19	
	7-19	40	0,3	0,1	0,3	2,8	8,3	0,03	0,3	1,2	4	0,4		1,2	22	
C6	1-13	47	0,3	0,1	0,4	2,8	5,7	0,03	0,3	1,2	3	0,4		1,3	16	
	7-19	49	0,3	0,1	0,4	2,4	5,3	0,03	0,3	1,2	3	0,4		1,2	16	
<b>TA Luft</b>		<b>350</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	-	-	-	<b>1,0</b>	-	<b>15</b>	<b>100</b>	-	<b>2</b>	-	-	
<b>BBodSchV</b>		-	-	<b>1,6</b>	-	<b>82</b>	<b>99</b>	<b>0,4</b>	-	<b>27</b>	<b>110</b>	-	-	-	<b>329</b>	

\* an der Nachweisgrenze

Für die Messpunkte C5 und C6 hatten die Maßnahmen keine direkten Auswirkungen, da hier kein Einfluss durch den Betrieb C nachweisbar war.

Von den emissionsmindernden Maßnahmen profitierte der Messpunkt C2 am meisten. Hier konnten die Schwermetal-

leinträge zwischen 10 % bei den Arseneinträgen und 50 % für Cadmumeinträge reduziert werden. Damit unterschritten die Cadmumeinträge den Immissionswert nach TA Luft an diesem Messpunkt, für Blei konnte dies noch nicht erreicht werden. Für den Messpunkt C1 ergaben sich geringere Schwermetalleinträge, die Immissionswerte nach

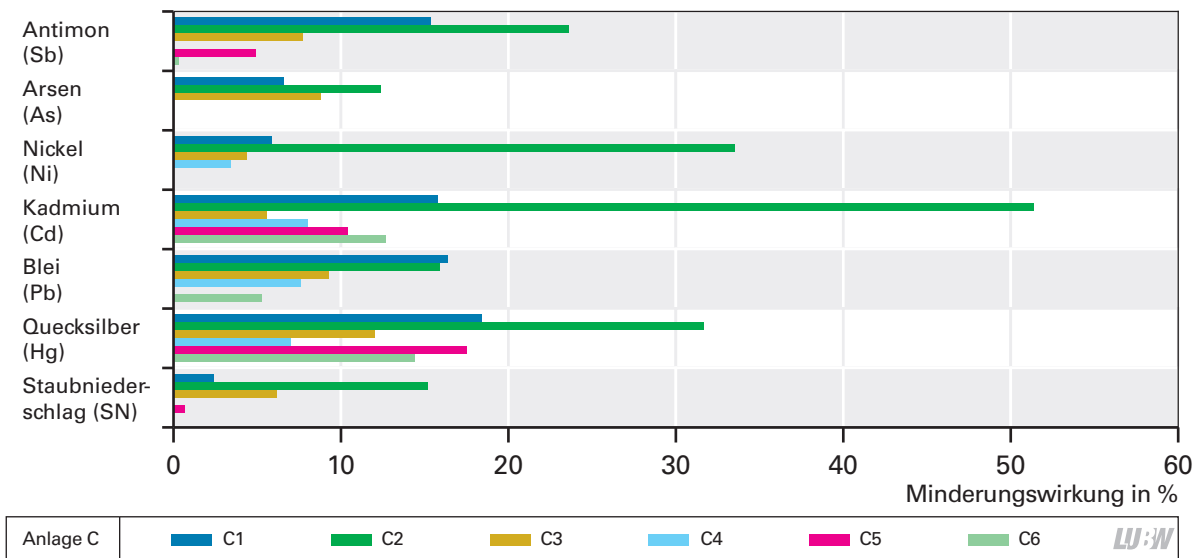


Abbildung 5-3: Wirkung der Emissionsminderungsmaßnahmen, Vergleich der Jahresmittelwerte vor und nach der Maßnahme

TA Luft wurden innerhalb des gemittelten Zeitraums (Zyklen 7-19) für Pb, Cd und Ni überschritten. Wie sich diese Minderungsmaßnahmen über einen längeren Zeitraum, der nur die Situation nach den Minderungsmaßnahmen erfasst, auswirken und welche Nachbesserungen gegebenenfalls notwendig sind, sollten durch weitere Messungen abgesichert werden (Abbildung 5-3).

# 6 Schlussfolgerungen

Aus den Messergebnissen lässt sich Folgendes ableiten:

- Die Freisetzung von Schadstoffen im Umfeld von Recyclinganlagen hängt in erster Linie von der Zusammensetzung des recyclingfähigen Materials, vom betrieblichen Verarbeitungsprozess und der Weiterbehandlung der anfallenden Materialien ab.
- Bei geschlossenen (eingehausten) Prozessabläufen können über diffuse Quellen auch bei bester verfügbarer Technik in erheblichem Umfang Schadstoffe freigesetzt werden. Als diffuse Emissionsquellen traten hier Anlieferungs-, Abtransport- und Lagerungsbereiche in Erscheinung.
- Das Einhalten der Staubbiederschläge in Anlagennähe kann zur Beurteilung einer möglichen Umweltbelastung nicht ausreichend sein, sofern Staubinhaltsstoffe nicht analysiert und bewertet werden.
- Die eingeleiteten Emissionsminderungsmaßnahmen an diffusen Emissionsquellen bei Betrieb C, wie zusätzliche Luftbefeuchter, Ladeflächen in der Halle abdecken, Reinigung des Hallenbodens geben erste Hinweise auf deutlich reduzierte Schadstoffeinträge. Die Wirkungen dieser Maßnahmen sind über den bisher erfassten Untersuchungszeitraum hinweg zu verifizieren und gegebenenfalls Nachbesserungen umzusetzen.
- Die Umsetzung weiterer Maßnahmen zur Minderung der Schadstofffreisetzung kann erfolgen durch:
  - Vermindern von Bruch schadstoffhaltiger Geräte (Bildschirme, Leuchtstoffröhren)
  - Verschließen des Anlieferungsbereichs
  - Abdecken von im Freien stehenden Lagercontainern
  - Einhausen von kritischen Bereichen mit entsprechender Absaugung
- Die regelmäßige Kontrolle der Stoffeinträge aus diffusen Quellen sollte bei Betrieben mit schadstoffhaltigen Recyclingmaterialien zusätzlich zu den vorgeschriebenen Emissionsmessungen eingeführt werden.
- Zur Absicherung dieser Ergebnisse sollten weitere vergleichbare Recyclinganlagen auf diffuse Emissionsquellen überprüft werden. Da für einen potentiellen Schadstofftransfer nicht nur das Ausgangsmaterial sondern auch der Verarbeitungsprozess relevant ist, sollten Anlagen mit Schreddereinsatz auf potentielle Schadstoffeinträge ins naheliegende Umfeld überprüft werden.
- Das Ausgasen von schadstoffhaltigen Inhaltsstoffen aus Recyclingmaterialien wie z.B. Kunststoffgehäusen und Elektroaltgeräten, ist bei der Auswahl von Lagerflächen zu berücksichtigen.
- Die Anwendungsverbote bei organischen Schadstoffen wie PCB und PBDE zeigen nicht sofort ihre Wirkung, da über das Altgeräterecyclen diese Substanzen nachweislich immer noch in die Umwelt gelangen.
- Bei einer nach Stand der Technik betriebenen Recyclinganlage, deren Ausgangsmaterialien gering bis nicht schadstoffhaltig sind und keine Zerkleinerungsprozesse stattfinden, kann davon ausgegangen werden, dass keine unmittelbare Gefahr für das Umfeld besteht.
- Die o. g. Maßnahmen wirken am Ende eines Produktlebens, effizienter ist bereits am Anfang dieser Kette - bei der Produktion - im Rahmen der Produktverantwortung des Herstellers, dafür zu sorgen, dass keine schadstoffhaltigen Materialien eingesetzt und eine möglichst hohe stoffliche Verwertung der eingesetzten Rohstoffe bereits bei der Entwicklung berücksichtigt und umgesetzt werden.

# 7 Literatur

## [BAFU, 2013]

Bundesamt für Umwelt. Magazin Umwelt 1/2013 – Umweltgefährdende Stoffe, Ausgabe 1 2013, Bern, S. 49-51.

## [BBodSchV, 1999]

Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 31 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I Nr. 10, S. 212).

## [BImSchG, 2011]

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz) vom 26. September 2002 (BGBl. I, S. 3830) zuletzt geändert durch Artikel 8 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I, Nr. 57, S. 2178) in Kraft getreten am 1. Dezember 2011

## [4. BImSchV, 2007]

Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) vom 23. Oktober 2007 (BGBl. I, Nr. 53, S. 2470) in Kraft getreten am 30. Oktober 2007

## [EFSA, 2009]

European Food Safety Authority (2009): Wissenschaftliches Gutachten zur Verwendung von Kobaltverbindungen als Zusatzstoffe in der Tierernährung. EFSA Journal 2009;7(12):1383, Parma 2009.

## [ElektroG2, 2015]

Neuordnung Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG2, Gesetz zur Neuordnung des Rechts über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten, voraussichtliche Veröffentlichung im BGBl Okt. 2015

## [EU-VO, 2006]

Verordnung Nr. 1881/2006 der Kommission vom 19. Dezember 2006 zur Fortsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminationen in Lebensmittel (1881/2006/EG).

## [EU-VO, 2011]

Verordnung (EU) Nr. 835/2011 der Kommission vom 19. August 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 im Hinblick auf Höchstgehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln (Text von Bedeutung für den EWR)

## [EU-VO, 2012]

Verordnung Nr. 277/2012 der Kommission vom 28. März 2012 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte und Aktionsgrenzwerte für Dioxine und polychlorierte Biphenyle. (277/2012/EG).

## [EU-VO, 2012-1]

Verordnung Nr. 744/2012 der Kommission vom 16. August 2012 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Höchstgehalte für Arsen, Fluor, Blei, Quecksilber, Endosulfan, Dioxine, Ambrosia spp., Diclazuril und Lalsalocid-A-Natrium sowie der Aktionsgrenzwerte für Dioxine (744/2012/EG).

## [EU-VO, 2013]

Verordnung Nr. 1275/2013 der Kommission vom 6. Dezember 2013 zur Änderung von Anhang I der Richtlinie 2002/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates Richtlinie hinsichtlich der Höchstgehalte für Arsen, Cadmium, Blei, Nitrite, flüchtige Senföle und schädliche botanische Verunreinigungen (1275/2013/EG).

## [EU-E, 2014]

Empfehlung der Kommission vom 3. März 2014 zur Überwachung auf Spuren bromierter Flammschutzmittel in Lebensmitteln (2014/118/EG).

## [KrWG, 2012]

Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, Kreislaufwirtschaftsgesetz KrWG vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212), zuletzt geändert durch § 44 Abs. 4 vom 22. Mai 2013 (BGBl. I S. 1324).



**[LfU, 2014]**

[http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe\\_luft/orientierungswerte/index.htm](http://www.lfu.bayern.de/umweltqualitaet/umweltbeobachtung/schadstoffe_luft/orientierungswerte/index.htm)  
(13.11.2014)

**[NOBEL, KOSTKA-RICK, WINKELBAUER, 2011]**

Nobel W.; Kostka-Rick R.; Winkelbauer W.: Biomonitoring im Rahmen der Ökosystembewertung eines Automobil-Produktionsstandorts. Teil 2 Erfassung der Metallanreicherung mit standardisierten Graskulturen. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 5/2011.

**[TA Luft, 2002]**

TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24. Juli 2002 (GMBI. S. 511).

**[VDI 2310 - ff ]**

VDI 2310 Blatt 27 - 39: Maximale Immissions-Werte, Berlin Beuth Verlag, September (1998 – 2011).

**[VDI 3857-2, 2014]**

VDI 3857 Blatt 2 (2014): Beurteilungswerte für immissionsbedingte Stoffanreicherungen in standardisierten Graskulturen. Orientierungswerte für maximale Hintergrundgehalte ausgewählter anorganischer Luftverunreinigung. Berlin Beuth Verlag, Februar 2014.

**[VDI 3957-2, 2013]**

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

**[VDI 3957-3, 2008]**

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

**[VDI 3957-10, 2004]**

VDI 3957 Blatt 10 (2004): Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Emittentenbezogener Einsatz pflanzlicher Bioindikatoren. Berlin Beuth Verlag, Dezember 2004.

**[VDI 4320-1, 2010]**

VDI 4320 Blatt 1 (2010): Messung atmosphärischer Depositionen – Probenahme mit Bulk- und Wet-Only-Sammlern – Grundlagen. Berlin Beuth Verlag, Januar 2010

**[VDI 4320-2, 2012]**

VDI 4320 Blatt 2 (2012): Messung atmosphärischer Depositionen – Bestimmung des Staubniederschlags nach der Bergerhoff-Methode. Berlin Beuth Verlag, Januar 2012





