

Untersuchung von Boden, Grundwasser und Regen-
würmern auf organische und anorganische Schad-
stoffe in den Landkreisen Karlsruhe und Rastatt so-
wie im Stadtkreis Baden-Baden

 Abschlussbericht



Untersuchung von Boden, Grundwasser und Regen-
würmern auf organische und anorganische Schad-
stoffe in den Landkreisen Karlsruhe und Rastatt so-
wie im Stadtkreis Baden-Baden

 Abschlussbericht

BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe Referat – Boden, Altlasten Stefanie Groh, Dr. Peter Dreher, Dr. Thomas Nöltner Referat – Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel Kay Rahtkens Referat – Grundwasser Emil Hildenbrand
STAND	September 2015

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

1	VERANLASSUNG UND ZIEL	4
2	UNTERSUCHTE STANDORTE	5
2.1	Boden und Grundwasser	5
2.2	Regenwürmer	6
3	PROBENNAHME UND -MATERIAL	8
4	UNTERSUCHUNGSPARAMETER	8
5	ANALYSENERGEBNISSE	10
5.1	Boden	10
5.2	Grundwasser	14
5.3	Regenwürmer	15
6	BEWERTUNG	18
7	LITERATUR	20
8	VERZEICHNIS DER ANLAGEN	21
9	VERZEICHNIS DER ANHÄNGE	21

1 Veranlassung und Ziel

In den Kreisen Rastatt und Baden-Baden wurden Belastungen von Böden und Grundwasser mit PFC festgestellt. Auf den betroffenen Flächen gab es wiederholt Aufbringungen von mit Papierschlamm versetzten Komposten. Da organische Abfälle generell Träger unterschiedlicher Schadstoffe sein können und um sicherzustellen, dass keine weiteren umweltgefährdenden Belastungen in den Böden vorliegen, hat die Kontaktgruppe PFC des Umweltministeriums 2014 die LUBW beauftragt, ergänzend auf ausgewählten Flächen ein breites Spektrum organischer und anorganischer Schadstoffe in Böden und Grundwasserproben zu untersuchen. Das untersuchte Spektrum umfasst die Parameter der landesweiten Studie der LUBW zu klärschlammgedüngten Ackerflächen (Dreher et al, 2003). Der Untersuchungsumfang wurde um weitere Stoffe wie Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe ergänzt. Das ausgewählte Stoffspektrum entspricht weitgehend demjenigen, das seit vielen Jahren im Zusammenhang mit der Verwertung abfallbürtiger Düngemittel diskutiert wird (siehe u.a. Kördel et al, 2007). Im Bereich der ausgewählten belasteten Flächen wurden neben Bodenproben auch Grundwasserproben analysiert. Um einen ersten Hinweis auf eine mögliche Bioakkumulation zu erhalten, wurden von einigen Flächen auch Regenwürmer entnommen und untersucht. Als Vergleichsgrundlage wurden Proben von Regenwürmern aus unbelasteten Flächen analysiert.

Ziel der Untersuchungen ist es, weitere in Böden und Grundwasser eventuell vorhandene Schadstoffe zu erfassen, ggfs. zu quantifizieren, um damit zu ermöglichen, dass alle relevanten Schadstoffparameter in die Gefährdungsabschätzung einbezogen werden.

2 Untersuchte Standorte

Die Bodenuntersuchungsflächen und Grundwassermessstellen wurden durch die Landratsämter Rastatt und Karlsruhe sowie die Stadtverwaltung Baden-Baden gemeinsam mit dem Regierungspräsidium Karlsruhe und der LUBW ausgewählt. Die Standorte für Regenwurmuntersuchungen wurden von der LUBW ausgewählt.

2.1 Boden und Grundwasser

Landkreis Karlsruhe

Das Landratsamt Karlsruhe wählte aufgrund vorhergehender Erhebungen die Flächen entsprechend Tabelle 2.1.1 aus (Lageplan siehe Anlage 1). In einem ersten Schritt wurden nur Bodenproben untersucht, um festzustellen, ob eine PFC-Belastung vorhanden ist.

Tabelle 2.1.1 Flächen im Landkreis Karlsruhe (Boden)

Ort	Informationen zur Fläche
Oberhausen-Rheinhausen	Mehrjährige Beaufschlagung mit Kompost von Kompostanlage Oberhausen-Rheinhausen Voruntersuchungen PFC im Boden (0-30 und 30-60 cm): ohne Befund
Kraichtal-Oberöwisheim	mutmaßliche Beaufschlagung mit Papierschlämmen unbekannter Herkunft (Umweltmeldung) Voruntersuchungen PFC im Boden (0-30 und 30-60 cm): ohne Befund
Kraichtal-Oberacker	Kompostaufbringung 2012 aus Kompostwerk Iffezheim keine Boden-Voruntersuchungen auf PFC
Kraichtal-Gochsheim	Kompostaufbringung 2014 aus Kompostwerk Gochsheim keine Boden-Voruntersuchungen auf PFC
Kraichtal-Münzesheim	mehrmals Kompostaufbringung aus Kompostwerk Iffezheim keine Boden-Voruntersuchungen auf PFC

Landkreis Rastatt

Das Landratsamt Rastatt wählte aufgrund der bekannten Belastungen die Flächen entsprechend Tabelle 2.1.2 und die Grundwassermessstellen entsprechend Tabelle 2.1.3 aus (Lageplan siehe Anlage 2).

Tabelle 2.1.2 Flächen im Landkreis Rastatt (Boden)

Ort	Informationen zur Fläche
Hügelsheim HÜ 19	Bewirtschafter war Abnehmer von Kompost der Kompostanlage bei Bühl-Vimbuch Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 465 µg/kg 30-60 cm 104 µg/kg
Rastatt-Niederbühl Ki 7	Bewirtschafter war Abnehmer von Kompost der Kompostanlage bei Bühl-Vimbuch Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 76 µg/kg 30-60 cm 32 µg/kg
Rastatt-Niederbühl Ki 11	Bewirtschafter war Abnehmer von Kompost der Kompostanlage bei Bühl-Vimbuch Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 84 µg/kg 30-60 cm 28 µg/kg

Tabelle 2.1.3 Grundwassermessstellen im Landkreis Rastatt

Ort	Informationen zur Messstelle
Tiefbrunnen Hügelsheim	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 6,64 µg/L
GWM Hofstelle Kiefer	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 6,20 µg/L
neue GWM Ku 3 oberstrom	Voruntersuchungen: keine, da neu
Neue GWM Ku 3 unterstrom	Voruntersuchungen: keine, da neu
GWM Basi	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 1,72 µg/L

Stadtkreis Baden-Baden

Die Stadt Baden-Baden wählte aufgrund der bekannten Belastungen die Flächen entsprechend Tabelle 2.1.4 und die Grundwassermessstellen entsprechend Tabelle 2.1.5 aus (Lageplan siehe Anlage 3).

Tabelle 2.1.4 Flächen im Stadtkreis Baden-Baden (Boden)

Ort	Informationen zur Fläche
Sandweier A 2	Mehrfache Kompostausbringung (Aussage Kompostausbringer)
	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 383 µg/kg 30-60 cm 162 µg/kg
Sandweier B 2	Mehrfache Kompostausbringung (Aussage Kompostausbringer)
	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 221 µg/kg 30-60 cm 93 µg/kg
Sandweier G 1	Kompostausbringung (Aussage Kompostausbringer)
	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 183 µg/kg 30-60 cm 73 µg/kg
Sandweier G 2	Kompostausbringung (Aussage Kompostausbringer)
	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 108 µg/kg 30-60 cm 74 µg/kg

Tabelle 2.1.5 Grundwassermessstellen im Stadtkreis Baden-Baden

Ort	Informationen zur Messstelle
GWM WP 3	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 6,34 µg/L
GWM Z 9	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 6,16 µg/L
GWM Z 7	Voruntersuchungen: PFC Grundwasser: 1,47 µg/L

2.2 Regenwürmer

Die LUBW wählte die in Tabelle 2.2.1 aufgeführten Standorte für die Regenwurmbeprobung aus.

Tabelle 2.2.1 Standorte der Regenwurmbeprobung

Ort	Informationen zur Fläche
Landkreis Karlsruhe	
Oberhausen OR2 (ersatzweise benachbarter Grünlandstreifen beprobt)	Voruntersuchungen (Acker): PFC Boden: 0-30 cm n.b.
Landkreis Rastatt	
Hügelsheim Hü19	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 465 µg/kg
Stadtkreis Baden-Baden	
Sandweier A 2	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 383 µg/kg
Baden-Baden TZW_Bad_1	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 306 µg/kg
Baden-Baden TZW_Bad_2	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 1 µg/kg
Baden-Baden BAD3_F1	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 51 µg/kg
Baden-Baden BAD3_F3	Voruntersuchungen: PFC Boden: 0-30 cm 343 µg/kg

Ausgewählt für die Untersuchung wurden sieben Flächen, die bereits bodenchemisch analysiert worden waren. Die PFC-Gehalte variieren auf den Flächen von 51 µg/kg bis 465 µg/kg (Tab. 2.2.1).

Die beiden Flächen „Oberhausen OR2“ und „Baden-Baden TZW_Bad_2“ wurden aufgrund der Gehalte der PFC-Einzelsubstanzen unter der analytischen Bestimmungsgrenze bzw. „1 µg/kg“ als Referenzflächen ausgewählt.

Auf der Fläche Oberhausen OR2 konnten keine Regenwürmer gefangen werden, so dass in diesem Fall auf den unmittelbar benachbarten Grünlandstreifen auf der Binnenseite des Hochwasserdammes ausgewichen wurde. Von dieser Fläche liegen keine Bodenuntersuchungen vor.

3 Probennahme und -material

Boden:

Soweit vorhanden wurden Rückstellproben von Böden aus früheren Untersuchungen herangezogen. Dies war der Fall für die Flächen in Oberhausen-Rheinhausen, Hügelsheim Hü 19, Rastatt-Niederbühl Ki 7, Rastatt-Niederbühl Ki 11, Sandweier G 1 und Sandweier G 2 (s. Tab. 2.1.1, 2.1.2 und 2.1.4).

Neubeprobungen waren für die Flächen in Kraichtal-Oberöwisheim, -Oberacker, -Gochsheim und -Münzesheim sowie in Sandweier A 1 und B 2 erforderlich. Hier wurde die Probennahme durch ein qualifiziertes Fachbüro durchgeführt. Pro Fläche wurde eine flächenrepräsentative Mischprobe entnommen und in zwei Tiefenstufen unterteilt (0-30 cm und 30-60 cm). Die neu entnommenen Bodenproben wurden durch die LUBW aufbereitet (Absieben, Homogenisieren, Gefriertrocknen).

Grundwasser:

Die Grundwassermessstellen Tiefbrunnen Hügelsheim, Hofstelle Kiefer, Fa. Basi sowie die Messstellen WP 3, Z 7 und Z 9 auf der Gemarkung Sandweier wurden ebenfalls erneut, die beiden Messstellen oberhalb und unterhalb der Fläche Kuppenheim Ku 3 erstmalig beprobt (s. Tab. 2.1.3 und 2.1.5).

Regenwürmer:

Die Regenwürmer wurden durch Aufgraben des Bodens bis Spatentiefe und anschließende Handauslese gewonnen. Pro Standort mussten rund 300 Würmer gefangen werden, um eine ausreichende und repräsentative Probe zu erhalten. Die Regenwürmer wurden über 7 bis 10 Tage in der LUBW sorgfältig von inkorporiertem Bodenmaterial getrennt und anschließend gefriergetrocknet. Die gefriergetrockneten Proben (Minimum 20 g TS) wurden an das TZW zur weiteren Probenvorbereitung und Analytik geliefert.

4 Untersuchungsparameter

Die Untersuchungsparameter sind Anlage 4 zu entnehmen. Insgesamt wurden je Probe maximal 142 Verbindungen untersucht (14 anorganische und 128 organische Stoffe).

Die anorganischen Stoffe umfassen Cyanid (gesamt), Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Molybdän, Nickel, Thallium, Quecksilber, Vanadium, Zink.

Die organischen Stoffe bzw. Stoffgruppen umfassen: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), synthetische Komplexbildner (z.B. EDTA), Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metabolite, Indol, chlorierte Pestizide (z.B. DDT), polychlorierte Biphenyle (PCB), pharmazeutische Wirkstoffe (z.B. Carbamazepin), Alkylphenole (z.B. 4-iso-Nonylphenol), Tri-(butoxyethyl)-phosphat, Moschusduftstoffe, polybromierte

Diphenylether (BDE), Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), per- und polyfluorierte Verbindungen (PFC), Organozinnverbindungen und Dioxine/Furane (PCDD/F).

PCDD/F wurden nicht im Grundwasser, PCDD/F und Organozinnverbindungen nicht in Regenwürmern untersucht.

Jeweils identische Aliquote der Proben mussten an unterschiedliche Analyseinstitute vergeben werden, um den vorgegebenen Parameterumfang abdecken zu können. Die Organozinnverbindungen wurden beim Labor des Amtes für Umwelt und Energie (AuE) der Stadt Basel, die PCDD/F- Analysen durch das Labor mas münster analytical solutions GmbH, alle anderen Parameter durch das TZW Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, bestimmt

5 Analysergebnisse

5.1 Boden

Die Einzelergebnisse der Bodenanalysen sind in Anhang 1, Anhang 4 (Organozinnverbindungen) und Anhang 5 (PCDD/F) aufgeführt.

Vergleichsgrundlagen

Als Vergleichsgrundlage wurden, soweit möglich, die Vorsorgewerte nach Anh. 2, Ziff. 4 BBodSchV, 1999 herangezogen. Vorsorgewerte für Böden sind Werte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen und großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis des Entstehens einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Bei Überschreitung der Vorsorgewerte sind weitere Schadstoffeinträge zu vermeiden oder zu vermindern, soweit dies auch im Hinblick auf den Zweck der Nutzung des Grundstücks verhältnismäßig ist.

Tabelle 5.1.1 Vorsorgewerte für Metalle in mg/kg Trockenmasse, Feinboden, Königswasseraufschluss

Böden	Cadmium	Blei	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Nickel	Zink
Bodenart Ton	1,5	100	100	60	1	70	200
Bodenart Lehm/Schluff	1	70	60	40	0,5	50	150
Bodenart Sand	0,4	40	30	20	0,1	15	60

Tabelle 5.1.2 Vorsorgewerte für organische Stoffe in µg/kg Trockenmasse, Feinboden

Böden	PCB ₆	Benzo(a)pyren (BaP)	PAK16 nach EPA
Humusgehalt > 8%	100	1.000	10.000
Humusgehalt ≤ 8%	50	300	3000

Die Vorsorgewerte für Böden der BBodSchV werden nach Hauptbodenarten differenziert. Aufgrund der regional vorherrschenden Bodenarten wurden für die Flächen im LK Rastatt und im SK Baden-Baden die Vorsorgewerte der Kategorie „Sand“, im LK Karlsruhe die Vorsorgewerte der Kategorie „Lehm/Schluff“ herangezogen. Neben den Vorsorgewerten der BBodSchV dienten die Hintergrundwerte nach LABO, 2003 als Vergleichsgrundlage.

Anorganische Stoffe:

Von den 14 untersuchten anorganischen Schadstoffen konnten Molybdän, Thallium und Cyanid (gesamt) auf keiner Fläche bestimmt werden.

Die Gehalte der bestimmbareren Elemente liegen auf allen Flächen im Hintergrundbereich nach LABO, 2003.

Vereinzelt werden im Landkreis Rastatt die Vorsorgewerte der BBodSchV für Chrom, Nickel und Zink und im Stadtkreis Baden-Baden die Vorsorgewerte für Blei, Kupfer und Zink überschritten. Die Befunde sind Tabelle 5.1.3 zu entnehmen. Dargestellt sind nur Parameter, die in mindestens einer Probe oberhalb der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Gehalte der anorganischen Stoffe und der PFC-Summenkonzentrationen der Flächen in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden ist nicht festzustellen.

Organische Stoffe:

Folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen liegen in allen Bodenproben unter der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze: Indol, Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metabolite, pharmazeutische Wirkstoffe, Alkylphenole, Trialkylphosphate, Moschusduftstoffe.

Die Konzentrationen der in einzelnen Proben quantifizierbaren polybromierten Diphenylether, Organozinnverbindungen (nur DBT) und synthetischen Komplexbildner (nur EDTA) liegen in ihrer Größenordnung knapp über der analytischen Bestimmungsgrenze und damit auf einem niedrigen Niveau.

Die Gehalte von PCDD/F, PCB₆ und DDT liegen in allen untersuchten Flächen im Bereich des ubiquitären Hintergrunds nach LABO, 2003. PAK wurden in Summenkonzentrationen bis maximal 2.019 µg/kg bestimmt (Fläche Ki 7, LK Rastatt) und liegen über dem von der LABO (2003) genannten bundesweiten Hintergrundwert für Böden. Die PAK-Werte insgesamt sind vergleichbar mit den PAK-Gehalten in ackerbaulich genutzten Böden im Außenbereich städtischer Gebiete wie Karlsruhe oder Stuttgart:

- Karlsruhe, 50. / 90. Perzentil: 900 / 2.600 µg/kg (UMEG, 1995)

- Stuttgart, 50. / 90. Perzentil: 600 / 3.700 µg/kg (UMEG, 1999)

Der maximale PAK-Summenwert liegt noch unter dem Vorsorgewert der BBodSchV. Beim PAK-Einzelstoff Benzo-a-pyren (BaP) wurde der Vorsorgewert für Böden ebenfalls nicht überschritten. Gleiches gilt für PCB₆. Tabelle 5.1.4 gibt einen Überblick über die Untersuchungsergebnisse der Parameter oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze.

DEHP wurde auf den Flächen G1/G2 im Stadtkreis Baden-Baden mit maximal 700 µg/kg bestimmt. Dieser Wert ist mit dem oberen Wertebereich der DEHP-Gehalte in landwirtschaftlich genutzten Böden im Außenbereich von Stuttgart vergleichbar (50. / 90. Perzentil: 249 / 667 µg/kg; UMEG, 1999). DEHP wurde vor allem als Weichmacher in Polymer-Produkten, hauptsächlich Weich-PVC, eingesetzt. Deshalb wurde im Auftrag der LUBW in einer kleinen flankierenden Untersuchung vom Landwirtschaftsamt Kreis Rastatt erhaltene Proben von Landwirtschaftsfolien untersucht. Eine dieser Folien-Proben entsprach der auf den Flä-

chen bei Baden-Baden vorwiegend eingesetzten Folie, darüber hinaus wurden zwei weitere in der Landwirtschaft übliche Folientypen einbezogen. Das Ergebnis erbrachte keinen Hinweis darauf, dass der Eintrag von DEHP über Landwirtschaftsfolien erfolgt ist.

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe der Gehalte der organischen Schadstoffe oder Schadstoffgruppen, soweit quantifizierbar, mit der Höhe der PFC-Summenkonzentrationen der Flächen in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden ist nicht festzustellen.

Im Landkreis Karlsruhe wurden drei der fünf Flächen erstmalig beprobt (s. Tab. 2.1.1). Die Gehalte der PFC-Einzelsubstanzen lagen mehrheitlich unter der Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg. Die PFC-Summenkonzentration lag bei maximal 5 µg/kg, d.h. auf einem sehr niedrigen Niveau.

Tab. 5.1.3 Untersuchungsergebnisse anorganische Schadstoffe im Boden, Anteil > BG (%) = Anteil der Proben, in denen der jeweilige Stoff über der analytischen Bestimmungsgrenze liegt

	mg/kg																					
	Cd		Pb		Cr		Cu		Hg		Ni		Zn		Sb		As		Co		V	
	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max														
BAD	87,5	< 0,1 0,4	100	12,4 51,3	100	15,5 30,8	75	< 10 27,6	25	< 0,1 0,1	100	8,6 13,1	100	31,1 101	12,5	< 1,0 1,2	100	3,7 8,9	100	2,0 3,4	100	14,6 28,4
RA	50	< 0,1 0,3	100	7,6 25,3	100	16,5 40,8	50	< 10 17,9	0	< 0,1	100	7,8 23,6	100	25,4 76,9	16,7	< 1,0 1,1	100	1,1 10,2	100	2,2 6,4	100	16,7 43,1
KA	90	< 0,1 0,2	100	13,8 27,9	100	40,7 55	100	11,8 17,6	0	< 0,1	100	12,4 33,1	100	41,7 62,5	0	< 1,0	100	7,0 11,2	100	5,4 9,0	100	36,7 56,3

Tab. 5.1.4 Untersuchungsergebnisse organische Schadstoffe im Boden, Anteil > BG (%) = Anteil der Proben, in denen **mindestens eine Substanz der jeweiligen Stoffgruppe** über der analytischen Bestimmungsgrenze liegt; * = BG bezogen auf Einzelsubstanz

	µg/kg																	ng I-TEQ/ kg upper bound	
	Σ PFC (18)*		Σ PAK (16)*		Σ chlorierte In- sektizide (i.d.R. nur DDT, DDE)*		Σ polybromierte Diphenylether (i.d.R. nur BDE 209)*		Σ PCB ₆ *		Organozinnver- bindungen (nur Dibutylzinn)		Komplexbildner (nur EDTA)		DEHP		Σ PCDD/F*		
	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil >BG (%)	Min Max	An- teil Σ PCDD/F >BG (%)
BAD	100	113 517	87,5	< 20 1124	100	6,1 24	87,5	< 0,1 1,0	25	< 2,0 5,0	25	< 3,0 3,6	0	< 10	75	< 50 700	100	1,01 4,27	
RA	100	74 1004	66,7	< 20 2019	66,7	< 2,0 31,4	50	< 0,1 1,0	16,7	< 2,0 9,0	16,7	< 3,0 7,3	0	< 10	0	< 50	100	0,59 2,83	
KA	70	< 1,0 5,0	60	< 20 500	40	< 2,0 16,3	50	< 0,1 0,35	0	< 2,0	0	< 3,0	20	< 10 14	0	< 50	100	0,75 1,02	

5.2 Grundwasser

Die Einzelergebnisse der Grundwasseranalysen sind in Anhang 2 und Anhang 4 (Organozinnverbindungen) aufgeführt.

Folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen liegen in allen acht Proben unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze: Alkylphenole, Trialkylphosphate, Moschusduftstoffe, polybromierte Diphenylether, Cyanid, Indol, Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metabolite und polychlorierte Biphenyle (PCB).

Die PFC-Gehalte in den acht analysierten Grundwasserproben liegen zwischen 1,004 (Ku 3 oberhalb) und 6,551 µg/L (Hofstelle Kiefer) und damit im Bereich der bisher bereits bekannten Werte.

Bei den pharmazeutischen Wirkstoffen wurde in zwei Proben (Z 7, Ku 3 oberhalb) Diclofenac mit 0,001 µg/L = BG und bei einer Probe (Basi) Carbamazepin mit 0,005 µg/L bestimmt. Damit liegen diese Werte deutlich unter dem für Trinkwasser abgeleiteten Gesundheitlichen Orientierungswert (GOW) von 0,3 µg/L. Alle anderen Parameter liegen unter der Bestimmungsgrenze.

Bei den Polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wurden in den Proben Z 7, Z 9, W 3 und Hofstelle Kiefer für Einzelstoffe geringe Gehalte über der Bestimmungsgrenze analysiert. Dabei wurde der rechtlich nicht bindende Warnwert im Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz in Höhe von 0,05 µg/L für die „Summe PAK“ bei den Proben Z 7 (0,094 µg/L), Z 9 (0,059 µg/L) und W 3 (0,349 µg/L) überschritten. Allerdings liegen die nach Trinkwasserverordnung (TVO) begrenzten Einzelstoffe Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(ghi)perylen und Indeno(1,2,3-cd)pyren in allen Proben unter der Bestimmungsgrenze.

Bei den synthetischen Komplexbildnern wurde nur Ethylendinitrilotetraacetat (EDTA) in sechs der acht Proben nachgewiesen. Die Werte liegen zwischen 0,72 und 3,8 µg/L. Dabei wird der rechtlich nicht bindende Warnwert im Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz in Höhe von 1,0 µg/L in fünf der sechs Proben überschritten.

Bei den Schwermetallen fallen lediglich die beiden neuen Messstellen Ku 3 oberstrom und Ku 3 unterstrom auf. Bei Ku 3 oberstrom liegt sowohl der Blei-Gehalt (0,047 mg/L) über dem Schwellenwert der Grundwasserverordnung (GrwV) bzw. Grenzwert der TVO in Höhe von 0,01 mg/L als auch der Nickel-Gehalt (0,554 mg/L) deutlich über dem Grenzwert der TVO in Höhe von 0,02 mg/L. Daneben sind die Gehalte an Kupfer (0,3 mg/L) und Zink (0,9 mg/L) erhöht. Bei Ku 3 unterstrom liegt der Nickelgehalt (0,085 mg/L) über dem Grenzwert der TVO in Höhe von 0,02 mg/L. Da diese beiden Messstellen erst kürzlich niedergebracht wurden, sind die erhöhten Schwermetallgehalte möglicherweise auf Einträge und Verschleppungen während der Bauphase zurückzuführen. Es sollte deshalb durch das Landratsamt geprüft werden, ob eine Nachbeprobung durchgeführt werden soll.

Die Organozinnverbindungen liegen mit Ausnahme der Messstelle Basi alle unterhalb der Bestimmungsgrenze. Bei der Messstelle Basi fallen die Gehalte an Monoctylzinn (130 ng/L) und Dioctylzinn (11 ng/L) auf. Grenzwerte, Leitwerte, Orientierungswerte o. ä. sind für diese beiden Parameter nicht bekannt. Ein durch die LUBW aus verschiedenen Quellen abgeleiteter humantoxikologischer Gefahrenschwellenwert (GFS) liegt für Monoctylzinn bei 70.000 ng/L und für Dioctylzinn bei 1.000 ng/L.

5.3 Regenwürmer

Die einzelnen Proben wurden auf die in Anlage 4 aufgeführten Parameter außer Organozinnverbindungen und PCDD/F untersucht. Die Ergebnisse der einzelnen Proben dieser Untersuchung sind in Anhang 3 aufgeführt.

PFC (18 Komponenten)

In allen 7 Proben - also auch in den Referenzproben von unbelasteten Bodenflächen - wurden PFC in den Regenwürmern gefunden. Die Gesamtgehalte an PFC lagen zwischen 137 µg/kg TS und 67.994 µg/kg TS. Die Regenwürmer der Referenzflächen enthielten mit 137 µg/kg und 347 µg/kg die mit Abstand geringsten Gehalte an PFC.

Für den Standort Oberhausen OR2 konnte kein Vergleich zwischen den PFC-Gehalten im Boden und in Regenwürmern gezogen werden, da unmittelbar von dieser Fläche keine Bodenanalyse vorliegt. In allen anderen Fällen wurde ein höherer PFC-Gehalt in Regenwürmern als im Boden gemessen (s. Abb. 5.3.1). Eine enge Beziehung zwischen Bodengehalten und Gehalten in Regenwürmern konnte nicht festgestellt werden. Allerdings ist die Grundgesamtheit von 6 Probenpaaren für eine statistische Auswertung sehr gering. Anhand der vorliegenden Daten kann aus dem PFC-Gehalt im Boden nicht auf den Gehalt in Regenwürmern geschlossen werden. Tendenziell deutet sich eine Zunahme der Regenwurm-Gehalte an PFC mit steigenden Bodengehalten an.

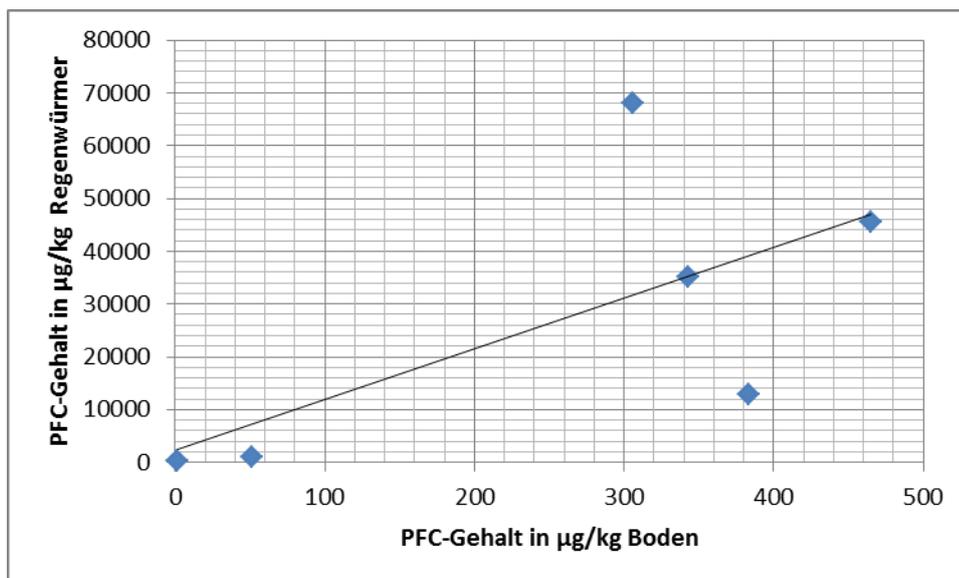


Abbildung 5.3.1 Beziehung zwischen PFC-Gehalt in Regenwürmern und PFC-Gehalt im Boden

In allen Proben machte die Summe der beiden Stoffe Perflourdodecanoat (PFDoA) und Perflouroctansulfonat (PFOS) zusammen den Hauptanteil aus. Die Summe dieser beiden Stoffe lag zwischen 56,9 und 83,8 Prozent der gesamten PFC. Der Anteil des 1H,1H,2H,2H-Perfluorooctylsulfonat (H4PFOS) lag bei nur maximal 0,02 Prozent.

Die Messergebnisse zeigen, dass auf allen Standorten eine Bioakkumulation von PFC stattfindet (s. Abb. 5.3.2). Die Bioakkumulationsfaktoren, berechnet als Quotient aus dem Gehalt im Lebewesen (hier: Regenwurm) und dem Gehalt im Medium (hier: Boden), liegen zwischen 21 und 347, d.h. in den Regenwürmern

wurden zwischen dem 21fachen und dem 347fachen des Bodengehaltes gemessen (s. Abb. 5.3.2). Der hohe Bioakkumulationswert von 347 an der Referenzfläche Baden-Baden (TZW_Bad_2) ist mit Vorbehalt zu sehen, weil der Bodengehalt mit 1 µg/kg unmittelbar an der analytischen Bestimmungsgrenze liegt. Im diesem Messbereich nahe der Bestimmungsgrenze ist der Messfehler erfahrungsgemäß hoch, was sich bei der Berechnung des Bioakkumulationsfaktors sehr stark auswirkt.

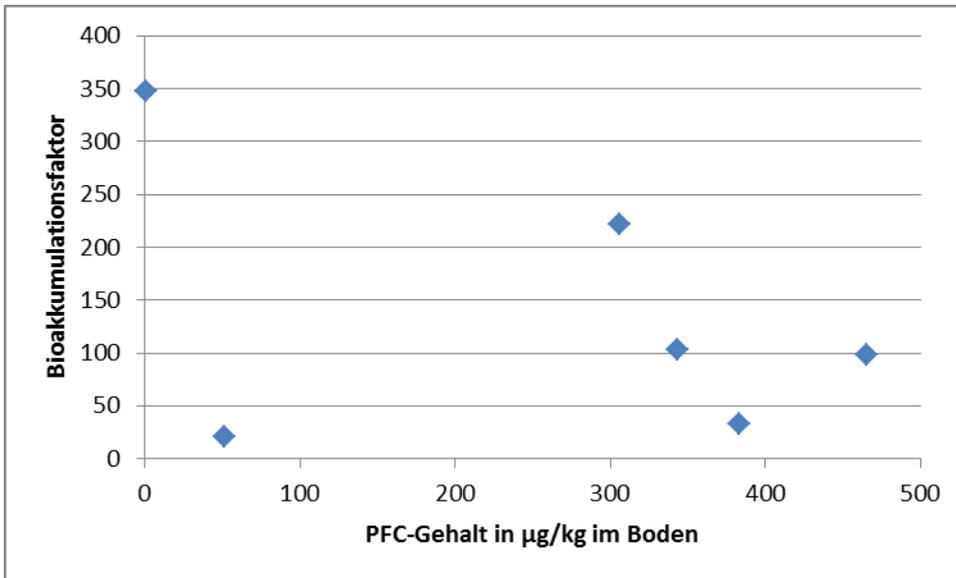


Abbildung 5.3.2 Beziehung zwischen PFC-Gehalt im Boden und Bioakkumulation in Regenwürmern

Indol

Indol wurde in allen Proben analysiert. Die Gehalte variieren zwischen 120 und 740 µg/kg. Die höchsten Gehalte wurden in den beiden Referenzproben gemessen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Es wurden zwar in jeder Probe mindestens eins, höchstens drei der untersuchten 16 PAK analysiert. Die Gehalte liegen knapp über der Bestimmungsgrenze.

Synthetische Komplexbildner

Nur in einer Probe (TZW_Bad_1) wurde EDTA nachgewiesen.

Pflanzenschutzmittel und Metabolite

Die meisten untersuchten PSM konnten nicht nachgewiesen werden, lediglich das schwer abbaubare p,p-DDE wurde in allen Proben gefunden; zusätzlich auch das p,p-DDT in zwei Proben.

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

In allen Proben wurden zwischen zwei und vier der untersuchten 9 PCB bestimmt. Die Gehalte lagen mit unter 10 µg/kg geringfügig über der Bestimmungsgrenze von 2 µg/kg.

Pharmazeutische Wirkstoffe

Die 10 untersuchten pharmazeutischen Wirkstoffe konnten in keiner Probe analysiert werden.

Alkylphenole und Trialkylphenole

Die 4 untersuchten Stoffe konnten in keiner Probe analysiert werden.

Moschusduftstoffe

Von den beiden Moschusduftstoffen konnte das AHTN in keiner Probe und das HHCB in jeder Probe bestimmt werden. Die HHCB-Gehalte lagen zwischen 9,9 und 24 µg/kg. Die beiden Referenzflächen lagen mit 19 und 20 µg/kg im oberen Bereich der Messwertespanne.

Polybromierte Diphenylether

In allen Proben konnten einzelne der untersuchten Polybromierten Diphenylether (BDE-47, BDE-99, BDE-100) bestimmt werden und in zwei der Proben zusätzlich BDE-209.

6 Bewertung

Boden

Aus den vorliegenden Bodenuntersuchungen ergeben sich keine Hinweise auf weitere, für die Gefährdungsabschätzung relevante Schadstoffparameter. Vereinzelt werden auf den untersuchten Flächen in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden aufgrund der dort verbreiteten Sandböden die in der BBodSchV sehr niedrig angesetzten bodenart-spezifischen Vorsorgewerte für Zink, Chrom und Nickel, Blei und Kupfer überschritten. Auf diesen Flächen sind weitere Einträge dieser Stoffe zu vermeiden oder zu vermindern. Prüfwerte nach BBodSchV werden nicht erreicht.

Vorsorgewerte und Prüfwerte für organische Schadstoffe werden nicht überschritten. Von 128 untersuchten organischen Stoffen waren ca. 40 % in Spuren nachweisbar. Dabei handelt es sich überwiegend um ubiquitäre Stoffe, die auch in weitestgehend unbelasteten Böden heutzutage in geringen Konzentrationen vorhanden sind.

Die im Vergleich zu den anderen untersuchten Standorten etwas erhöhten DEHP-Gehalte auf den Flächen G1/G2 in Kreis Baden-Baden liegen im Rahmen der bisher in landwirtschaftlichen Böden ermittelten DEHP-Gehalte. Der Eintrag von DEHP in Böden erfolgt über atmosphärische Deposition oder Düngung mit Kompost, Gärprodukten oder Klärschlamm, (Litz et al., 2009, Kördel et al., 2007). Eine Zuordnung zu einer konkreten Eintragsquelle ist im vorliegenden Fall nicht möglich.

Die Gehalte der PFC-Einzelsubstanzen auf den Flächen im Landkreis Karlsruhe lagen meist unterhalb der Bestimmungsgrenze bzw. auf einem sehr niedrigen Niveau. Offensichtlich hat die Aufbringung von Kompost (vgl. Tab. 2.1.1) auf diesen Flächen zu keinem wesentlichen Eintrag von PFC geführt. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen können keine Rückschlüsse auf den PFC-Eintrag in den Kreisen Rastatt und Baden-Baden gezogen werden. Dies war auch nicht Gegenstand dieser Studie. Verallgemeinerbare Aussagen über PFC-Konzentrationen in Böden, die mit Kompost beaufschlagt wurden, lassen sich aufgrund der wenigen Untersuchungsflächen ebenfalls nicht ableiten. Die LUBW, Referat 35 führt deshalb im Auftrag des Umweltministeriums eine landesweite Probennahme- und Analysenkampagne zur PFC-Belastung von Flächen durch, die mit Kompost beaufschlagt wurden. Damit sollen weitere Erkenntnisse gewonnen werden, ob mit Kompost beaufschlagte Flächen PFC-belastet sind. Hierzu werden aktuell landwirtschaftlich genutzte Flächen beprobt, die möglichst langjährig mit:

a) Kompost ohne Papierschlamm,

b) bekanntermaßen papierschlammhaltigen Komposten

beaufschlagt wurden, ohne dass gleichzeitig Klärschlamm aufgebracht wurde. Mit ersten Erkenntnissen aus dieser Kampagne wird bis Ende 2015 gerechnet.

Grundwasser

Aus den acht untersuchten Grundwasserproben ergeben sich keine Hinweise auf eine zusätzliche Belastung durch weitere Schadstoffe. Die in den Messstellen KU 3 oberstrom und Ku 3 unterstrom festgestellte erhöhten Blei- und Nickelgehalte können infolge des Messstellenbaus entstanden sein. Eine gelegentliche Nachkontrolle sollte geprüft werden. Auch die erhöhten Organozinngehalte in der Messstelle Basi sollten gelegentlich geprüft werden.

Regenwürmer

Die Gesamtgehalte an PFC in den untersuchten Regenwürmern lagen zwischen 137 µg/kg TS und 67.994 µg/kg TS. Für Regenwürmer gibt es keine gesetzlich verankerten Prüf-, Vorsorge- oder Maßnahmenwerte. Ein Geringfügigkeitsschwellenwert wurde bislang nicht ermittelt. Auch gibt es nur wenige Untersuchungen auf PFC in Regenwürmern weltweit. Eine abschließende ökotoxikologische Einschätzung der zum Teil auffällig hohen Werte an PFC in den Regenwürmern ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich.

Da Regenwürmer wegen ihres hohen Rohproteingehaltes Nahrung zahlreicher Fressfeinde (z.B. Wildschweine, carnivore Mäuse, viele Vogelarten, u.a. auch Hühner aus Bodenhaltung) sind, sind schädliche Auswirkungen auf die Umwelt über die Nahrungskette nicht auszuschließen. Die ökotoxikologische Bedeutung der Befunde wäre im Rahmen eines separaten spezifischen Fachgutachtens zu klären.

7 Literatur

BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 23. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3758)

Dreher (2003): Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerböden Baden-Württembergs, Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1513)

Kördel, Herrchen, Müller, Kratz, Fleckenstein, Schnug, Saring, Thomas, Haamann und Reinhold (2007): Begrenzung von Schadstoffeinträgen bei Bewirtschaftungsmaßnahmen in der Landwirtschaft bei Düngung und Abfallverwertung, Hrsg: Umweltbundesamt, Dessau

LABO (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden, Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, 3. überarbeitete und ergänzte Auflage

Litz, Wilcke, und Wilke (2009): DEHP, In: Bodengefährdende Stoffe, Bewertung-Stoffdaten-Ökotoxikologie-Sanierung, Hrsg.: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

TrinkwV (2013): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser-Verordnung – TrinkwV 2001) vom 2. August 2013 (BGBl. I S. 2977)

UMEG (1995): Bodenzustandsbericht Karlsruhe, Hrsg: Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

UMEG (1999): Bodenzustandsbericht Großraum Stuttgart, Hrsg: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

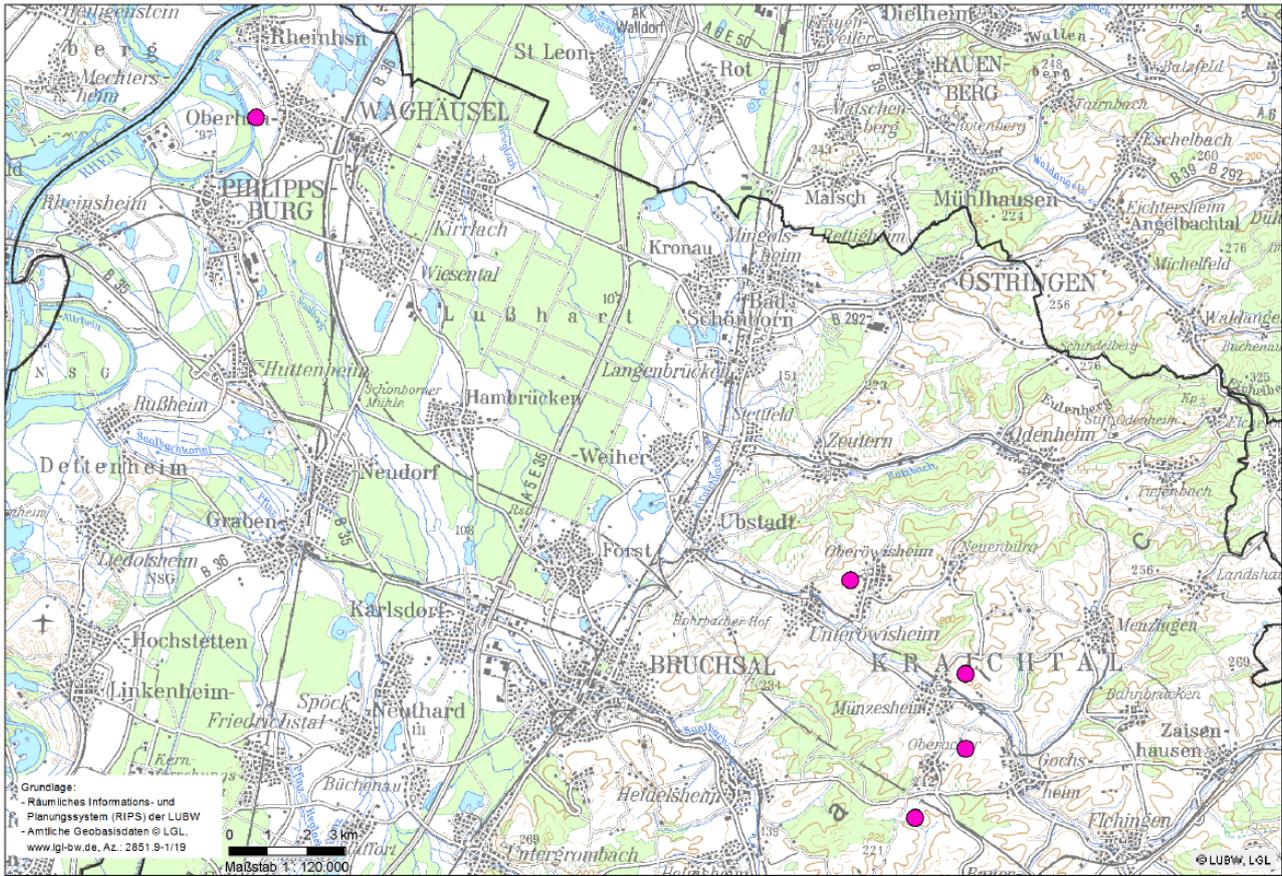
8 Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1	Lageplan Probennahmeflächen Landkreis Karlsruhe
Anlage 2	Lageplan Probennahmestellen Landkreis Rastatt
Anlage 3	Lageplan Probennahme stellen Stadt Baden-Baden
Anlage 4	Untersuchungsparameter

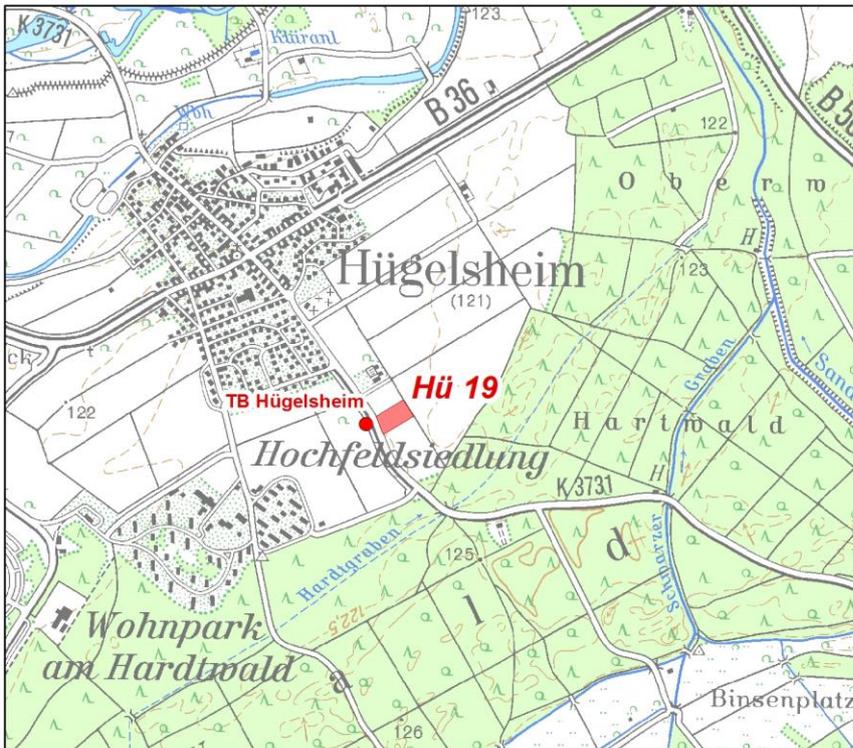
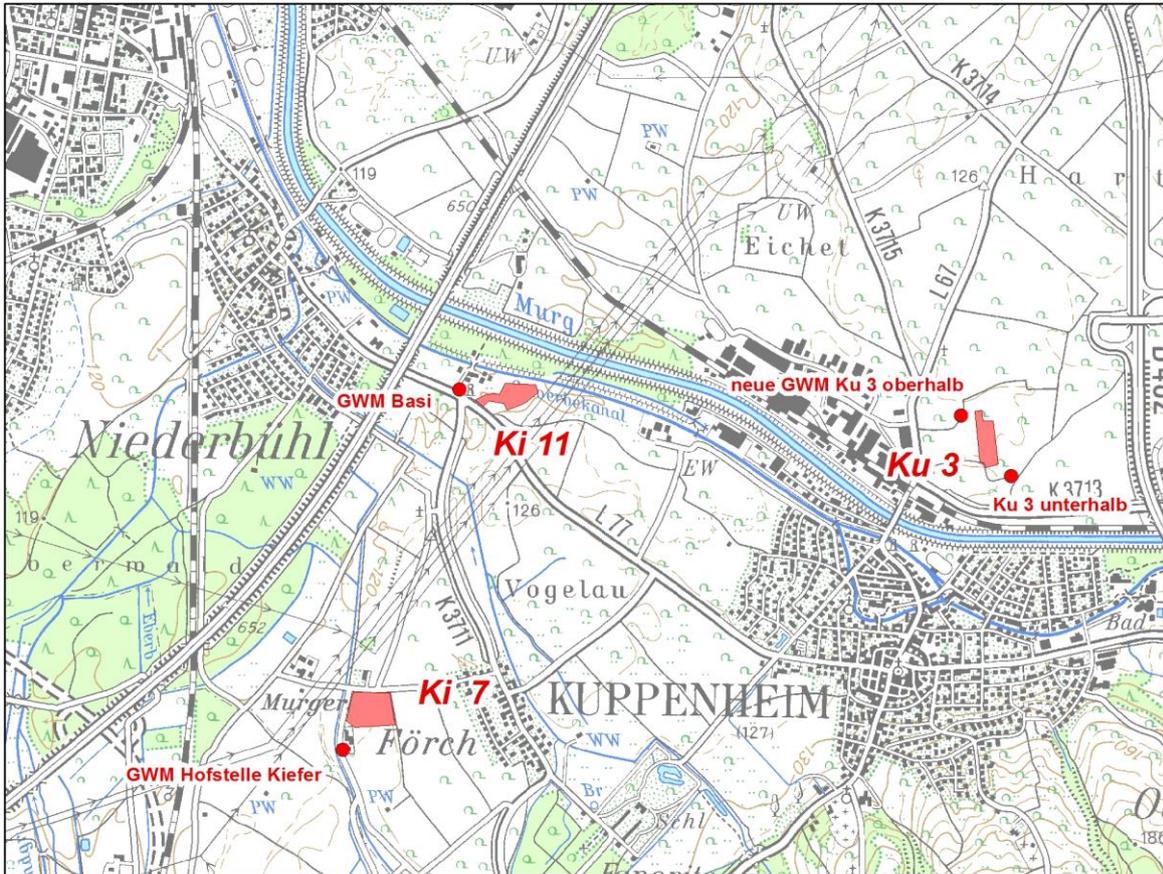
9 Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1	Analysen Boden (ohne Organozinn)
Anhang 2	Analysen Grundwasser (ohne Organozinn)
Anhang 3	Analysen Regenwürmer
Anhang 4	Analysen Boden und Grundwasser (Organozinn)
Anhang 5	Analysen Dioxine-Furane

Anlage 1 Lageplan Probennahmeflächen Landkreis Karlsruhe



Anlage 2 Lageplan Probennahmestellen Landkreis Rastatt

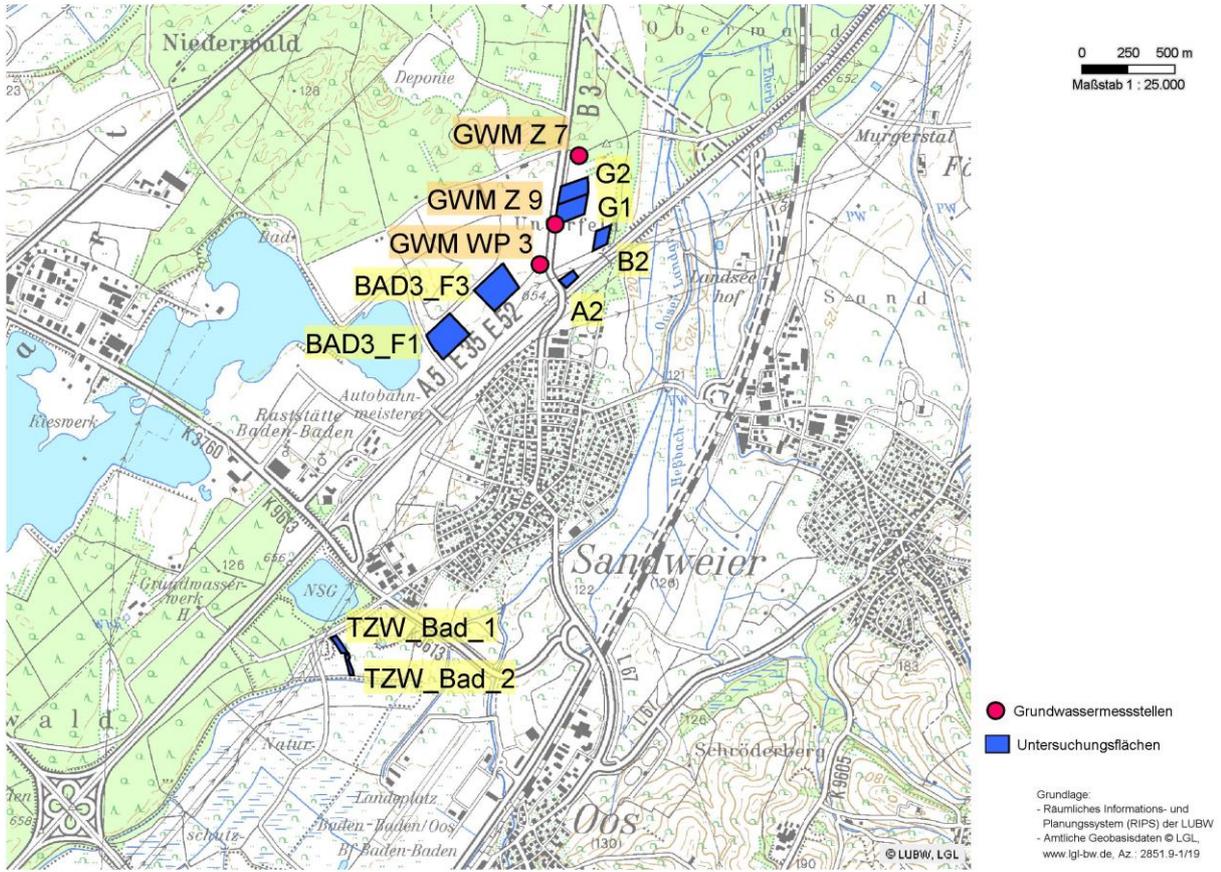


● Grundwassermessstellen
 belastete Ackerschläge

Maßstab 1 : 25 000
 0 125 250 500 750 1.000 m

Grundlage:
 - Räumliches Informations- und Planungssystem (RIPS) der LUBW
 - Amtliche Geobasisdaten © LGL,
 www.lgl-bw.de, Az.: 2851.9-1/19

LUBW



Parameter	Boden		Wasser		Regenwürmer	
	BG	Einheit	BG	Einheit	BG	Einheit
Cyanid, gesamt	0,1	mg/kg	0,01	mg/L	1	mg/kg
Indol	5	µg/kg	0,005	µg/L	5	µg/kg
<i>Polycycl. Aromat. Kohlenwasserstoffe</i>						
Acenaphthen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Acenaphthylen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Anthracen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Benzo(a)anthracen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Benzo(a)pyren	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Benzo(b)fluoranthen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Benzo(ghi)perylene	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Benzo(k)fluoranthen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Chrysen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Dibenz(ah)anthracen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Fluoranthen	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Fluoren	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Indeno(1,2,3-cd)pyren	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Naphthalin	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Phenanthren	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
Pyren	20	µg/kg	0,005	µg/L	20	µg/kg
<i>Synthetische Komplexbildner</i>						
NTA (Nitotriacetat)	10	µg/kg	0,5	µg/L	10	µg/kg
EDTA (Ethyldinitrotetraacetat)	10	µg/kg	0,5	µg/L	10	µg/kg
DTPA (Diethylentriaminpentaacetat)	10	µg/kg	1,0	µg/L	10	µg/kg
PDTA (1,3-Propyldiamintetraacetat)	10	µg/kg	1,0	µg/L	10	µg/kg
MGDA (Methylglycindiacetat)	10	µg/kg	1,0	µg/L	10	µg/kg
<i>PSM-Wirkstoffe und Metabolite</i>						
DEET	10	µg/kg	0,01	µg/L	10	µg/kg
Terbutryn	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
<i>Chlorierte Insektizide</i>						
Aldrin	2	µg/kg	0,005	µg/L	2	µg/kg
cis-Chlordan	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
trans-Chlordan	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
oxy-Chlordan	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
Dieldrin	2	µg/kg	0,005	µg/L	2	µg/kg
alpha-Endosulfan	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
beta-Endosulphan	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
0,p-DDD	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
o,p-DDE	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
o,p-DDT	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
p,p-DDD	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
p,p-DDE	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
p,p-DDT	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
alpha-HCH	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
beta-HCH	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
delta-HCH	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
gamma-HCH (Lindan)	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
epsilon-HCH	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
Heptachlor	2	µg/kg	0,005	µg/L	2	µg/kg
cis-Heptachlorepoxyd	2	µg/kg	0,005	µg/L	2	µg/kg
trans-Heptachlorepoxyd	2	µg/kg	0,005	µg/L	2	µg/kg
Hexachlorbenzol (HCB)	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
Methoxychlor	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
Mirex	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
<i>Polychlorierte Biphenyle</i>						
PCB 28	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 52	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 101	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 118	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 138	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
Pcb 153	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 170	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 180	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg
PCB 194	2	µg/kg	0,01	µg/L	2	µg/kg

Pharmazeutische Wirkstoffe						
Carbamazepin	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Clarithromycin	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Diclofenac	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Lamotrigin	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Metoprolol	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Phenazon	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Propranolol	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Propyphenazon	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Roxithromycin	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Sotalol	10	µg/kg	0,001	µg/L	10	µg/kg
Alkylphenole						
4-tert.-Oktylphenol	10	µg/kg	0,005	µg/L	10	µg/kg
4-iso-Nonylphenol	10	µg/kg	0,025	µg/L	10	µg/kg
Bisphenol A	10	µg/kg	0,005	µg/L	10	µg/kg
Trialkylphosphate						
Tri-(butoxyethyl)-phosphat	10	µg/kg	0,05	µg/L	10	µg/kg
Moschusduftstoffe						
AHTN	5	µg/kg	0,005	µg/L	5	µg/kg
HHCB	5	µg/kg	0,005	µg/L	5	µg/kg
Elemente						
Antimon	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Arsen	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Blei	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Cadmium	0,0001	g/kg	0,0001	mg/L	0,0001	g/kg
Chrom	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Cobalt	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Kupfer	0,01	g/kg	0,01	mg/L	0,01	g/kg
Molybdän	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Nickel	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Thallium	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Quecksilber	0,0001	g/kg	0,00005	mg/L	0,0001	g/kg
Vanadium	0,001	g/kg	0,001	mg/L	0,001	g/kg
Zink	0,01	g/kg	0,02	mg/L	0,01	g/kg
Polybromierte Diphenylether						
BDE-28	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-47	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-66	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-85	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-99	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-100	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-138	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-153	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-154	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-183	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
BDE-209	0,1	µg/kg	0,001	µg/L	0,1	µg/kg
Phthalate						
Di-(2-ethylhexyl)phthalat	50	µg/kg	0,2	µg/L	50	µg/kg
Polyfluorierte Verbindungen						
Perfluorbutanoat (PFBA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorpentanoat (PFPA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorhexanoat (PFHxA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorheptanoat (PFHpA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluoroctanoat (PFOA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluornonanoat (PFNA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluordecanoat (PFDA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorundecanoat (PFUnA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluordodecanoat (PFDoA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorbutansulfonat (PFBS)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluorhexansulfonat (PFHxS)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluoroctansulfonat (PFOS)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluordecansulfonat (PFDS)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
Perfluoroctansulfonsäureamid (PFOSA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
7H-Dodecafluorheptanoat (HPFHpA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
2H,2H-Perfluordecanoat (H2PFDA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
2H,2H,3H,3H-Perfluorundecanoat (H4PFUnA)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
1H,1H,2H,2H-Perfluorocetylsulfonat (H4PFOS)	1	µg/kg	0,001	µg/L	1	µg/kg
AOF			1	µg/L		
Organozinverbindungen						

Monobutylzinn	2,5	µg/kg	4,5	ng/L		
Dibutylzinn	3	µg/kg	4	ng/L		
Tributylzinn	2	µg/kg	4	ng/L		
Tetrabutylzinn	3	µg/kg	5	ng/L		
Monooctylzinn	2	µg/kg	3	ng/L		
Diocetylzinn	3	µg/kg	5	ng/L		
Tricyclohexylzinn	2	µg/kg	3,5	ng/L		
Triphenylzinn	2	µg/kg	3,5	ng/L		
<i>Dioxine und Furane</i>						
2,3,7,8-TCDD	0,1	ng/kg				
1,2,3,7,8-PeCDD	0,2	ng/kg				
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,3	ng/kg				
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,3	ng/kg				
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,3	ng/kg				
1,2,3,3,6,7,8-HpCDD	1,5	ng/kg				
OCDD	4,5	ng/kg				
2,3,7,8-TCDF	0,2	ng/kg				
1,2,3,7,8-PeCDF	0,2	ng/kg				
2,3,4,7,8-PeCDF	0,2	ng/kg				
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,3	ng/kg				
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,3	ng/kg				
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,3	ng/kg				
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,3	ng/kg				
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	1,5	ng/kg				
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1,5	ng/kg				
OCDF	4,5	ng/kg				

