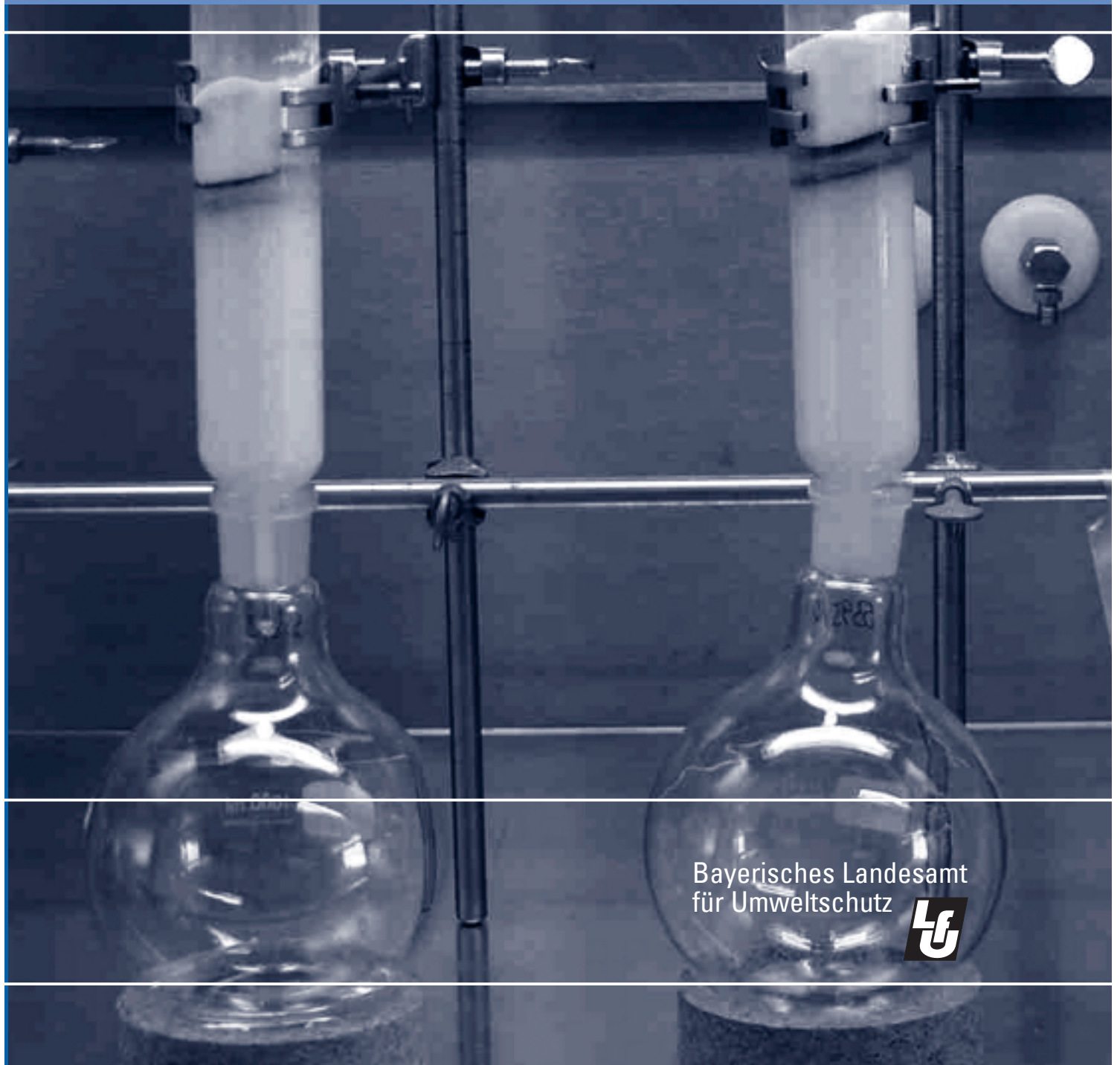




Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren



Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz



Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umwelt- kompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren

Augsburg, Oktober 2003

Untersuchung und Bewertung von Proben aus verschiedenen Umweltkompartimenten auf PCDD/PCDF sowie PCB unter Berücksichtigung der neuen WHO-Toxizitätsäquivalenzfaktoren

Forschungsvorhaben im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

Abschlussbericht zum FuE-Projekt Nr. 7000

01.12.2002 – 28.02.2003

Projektleitung

Dr. Melanie Kerst
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
Referat Z5 - Zentrallabor
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: +49-(0)821-9071-5285
Fax: +49-(0)821-9071-5559
Email: melanie.kerst@lfu.bayern.de

PD Dr. Wolfgang Körner
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
Referat Z5 - Zentrallabor
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Tel.: +49-(0)821-9071-5287
Fax: +49-(0)821-9071-5559
Email: wolfgang.koerner@lfu.bayern.de

Layout: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Bezug: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz (LfU) gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.

© Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg 2003

1	Einleitung und Problemstellung	3
2	Ergebnisse	4
2.1	Methodenentwicklung - Kohlesäule	5
2.2	Qualitätssicherung	5
2.2.1	Laborreferenzmaterial	6
2.2.2	Blindwerte	8
2.2.3	Nationaler Ringversuch Klärschlamm	9
2.2.4	Internationaler Ringversuch Boden/Sediment	10
2.3	Umweltproben	13
2.3.1	Pflanzenproben	13
2.3.1.1	Weidelgras	13
2.3.1.2	Grünkohl	14
2.3.1.3	Fichtennadeln	14
2.3.2	Kompost	15
2.3.3	Klärschlamm	15
2.3.4	Immission	16
2.3.5	Emission	16
2.3.6	Innenraumluft	17
3	Diskussion	19
3.1	Qualitätssicherung	19
3.2	Pflanzenproben	19
3.3	Weitere Umweltmatrices	20
3.3.1	Klärschlamm	20
3.3.2	Kompost	21
3.4	Innenraumluft	21
4	Zusammenfassung und Ausblick	22
5	Literatur	23
6	Anhang	25
6.1	Konzentration der dioxinähnlichen PCB und Indikator kongenere	25
6.1.1	Qualitätssicherung	25

1 Einleitung und Problemstellung

In einem neuen Konzept der WHO wurden 1998 Toxizitätsäquivalenzfaktoren auch für 12 dioxinähnlich wirkende Kongenere der polychlorierten Biphenyle (PCB) festgelegt [Van den Bergh et al. 1998]. Der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zum Gesamt-Toxizitätsäquivalent (TEQ) der polychlorierten Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) und der PCB ist jedoch für die meisten Umweltmatrices bislang weitgehend unbekannt. Die Hauptbelastungsquelle für den Menschen stellt der Eintrag über die Nahrungsketten dar [Alcock et al. 1998], sodass eine Datenerfassung in Umweltproben immer mehr an Bedeutung gewinnt. Nur so sind Aussagen über Quellen und Transport sowie den Verbleib der dioxinähnlichen PCB in der Umwelt und innerhalb der Nahrungsketten möglich.

Technische Gemische von polychlorierten Biphenylen wurden seit den 30er Jahren bis in die 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts für eine Vielzahl von technischen Zwecken in offenen und geschlossenen Systemen eingesetzt. Weltweit wurden insgesamt etwa eineinhalb Millionen Tonnen PCB produziert, die ihre Anwendung u.a. als Weichmacher, Isolierflüssigkeiten oder Hydrauliköle fanden oder zur Imprägnierung und Stabilisierung eingesetzt wurden [DFG 1988]. Von den insgesamt 209 möglichen PCB-Einzelverbindungen sind in den technischen PCB-Gemischen verschiedenen Chlorierungsgrades jeweils etwa 100 Kongenere enthalten. Gemeinsam ist allen PCB, dass sie sich in der Umwelt als persistent erwiesen haben. Aufgrund der hohen Stabilität und ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften werden PCB durch atmosphärischen Ferntransport global verbreitet. Wegen der guten Fettlöslichkeit besitzen zahlreiche PCB-Kongenere eine ausgeprägte Fähigkeit zur Bioakkumulation, sodass sich in Lebewesen, welche die letzten Glieder der Nahrungsketten bilden, dazu gehört insbesondere der Mensch, erhebliche Konzentrationen dieser Schadstoffe anreichern können [UMWELTBUNDESAMT 2001]. In der Umwelt sind bisher 132 Kongenere nachgewiesen worden. Hauptbestandteil der technischen Gemische sind PCB-Kongenere, bei denen an zwei oder mehr der Kohlenstoffatome 2, 2', 6 und 6' - also an den sogenannten ortho-Positionen - Chloratome gebunden sind. Dazu gehören auch die sechs DIN- oder Indikator-kongenere, die in Umwelt- und Lebensmittelproben nach den bislang geltenden Vorschriften in Deutschland ausschließlich zu bestimmen sind. Zur näherungsweisen Ermittlung der PCB-Gesamtgehalte wird die Summe dieser 6 Indikator-kongenere mit dem Faktor 5 multipliziert (DIN EN 12766-1).

Im Gegensatz zu den PCB sind PCDD und PCDF nie industriell hergestellt worden, sondern treten ausschließlich als unerwünschte Produkte bei Verbrennungs- oder anderen thermischen Prozessen auf. Bei der Synthese der PCB sowie von Pentachlorphenol sind Dioxine und Furane als

Nebenprodukte angefallen und in den Produkten enthalten [StMLU 1993]. Von den insgesamt 75 Dioxin- und 135 Furankongeneren sind 17 Verbindungen stark toxisch und bioakkumulierend. Dies sind die an den Kohlenstoffatomen 2, 3, 7 und 8 chlorierten Kongenere, die durch ihre Planarität und rechteckige Molekülgeometrie an den Ah-Rezeptor binden können [Abel 1987]. Seit 1988 werden diese Kongenere international nach einem Vorschlag der NATO über Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) bewertet, die relativ zum 2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin (2,3,7,8-TCDD) vergeben wurden [Van den Bergh et al. 1998]. 1998 wurden diese Faktoren von der WHO neu bewertet, wodurch sich Änderungen für das 1,2,3,7,8-Pentachlordibenzodioxin sowie für das Octachlordibenzodioxin und -furan ergeben haben. Gleichzeitig wurde für Erwachsene die duldbare lebenslange tägliche Aufnahme an Toxizitätsäquivalenten – der tolerable daily intake, kurz TDI – für Erwachsene auf 1-4 pg TEQ pro Kilogramm Körpergewicht und Tag festgesetzt [Kommission 2001].

Sind an den ortho-Kohlenstoffatomen des PCB-Gerüsts keine oder ist nur ein Chlorsubstituent vorhanden, so sind die beiden Phenylringe um die C-C-Einfachbindung frei drehbar und die Einnahme einer planaren Molekülgeometrie ist leicht möglich. Solche nicht- und mono-ortho-substituierten PCB zeigen vergleichbare biologische und toxische Wirkungen wie die Dioxine und Furane. Vier nicht-ortho- und acht mono-ortho-substituierten PCB-Kongeneren wurden daher Toxizitätsäquivalenzfaktoren relativ zum 2,3,7,8-TCDD zugewiesen. PCB 126 ist mit einem TEF von 0.1 die toxikologisch bedenklichste Verbindung unter den dioxinähnlichen PCB [VAN DEN BERGH et al. 1998].

Erste Untersuchungen von Lebensmitteln tierischen Ursprungs in Deutschland und anderen Ländern zeigen, dass der Beitrag dieser dioxinähnlich wirkenden PCB zum Gesamt-TEQ oft höher liegt als der TEQ der PCDD/PCDF [Alcock et al. 1998]. Trotz der deutlichen Abnahme der Belastung der Umwelt und der Nahrungsmittel mit PCDD/PCDF in den letzten 15 Jahren in vielen europäischen Ländern liegt unter Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB aufgrund neuerer Untersuchungen die durchschnittliche ernährungsbedingte Aufnahme an Gesamt-TEQ in der EU im Bereich von 1,2 – 3 pg TEQ/kg KG pro Tag [SCOOP 2002]. Dies bedeutet, dass ein beträchtlicher Teil der deutschen wie der europäischen Bevölkerung gegenwärtig die duldbare tägliche Aufnahme an dioxinähnlichen Substanzen noch überschreitet.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, bislang möglicherweise unbekannte Primär- und Sekundärquellen der dioxinähnlichen PCB und deren Eintragspfade in die Nahrungsketten aufzuspüren. Bislang sind in Umweltmatrices allerdings nur wenige Daten zu den dioxinähnlichen PCB bekannt, sodass eine Reihe von Fragen zu den Quellen, dem Transport und Verbleib dieser Verbindungen offen bleibt.

Daher wurden im Zentrallabor des LfU die Integration der Analytik der 12 dioxinähnlichen PCB in die Probenvorbereitung für die Bestimmung der PCDD/PCDF und DIN-PCB umgesetzt und für verschiedene Umweltmatrices Daten zu diesen Verbindungen erarbeitet.

2
Ergebnisse

Die Integration der Analytik der dioxinähnlichen PCB in die bestehende Probenvorbereitung zur Bestimmung der PCDD/PCDF wurde im ersten Teil des Projektes abgeschlossen, sodass im Jahr 2002 hauptsächlich größere Probenserien parallel auf PCDD/PCDF und Indikator- und dioxinähnliche PCB untersucht wurden. Abb. 1 gibt einen Überblick über die Probenvorbereitung, die im

LfU Zentrallabor zur Bestimmung der PCDD/PCDF und PCB sowie der dioxinähnlichen PCB verwendet wird.

Zur gefriergetrockneten Probe werden ein Gemisch aller 2,3,7,8-substituierten ¹³C-markierten Dioxin- und Furan-Kongenere sowie ¹³C-markierte Standards aller 6 Indikator-PCB und aller 12 dioxinähnlichen PCB zugesetzt. Anschließend wird die Probe 24 h im Soxhlet mit Toluol extrahiert. Die Aufreinigung erfolgt zunächst über eine Schwerkraftsäule mit saurem Kieselgel, gefolgt von einer Aluminiumoxidsäule, an der die PCB-Fraktion durch Vorelution von der PCDD/PCDF Fraktion abgetrennt wird. Letztere wird weiter aufgereinigt und mittels hochauflösender Gaschromatographie und Massenspektrometrie

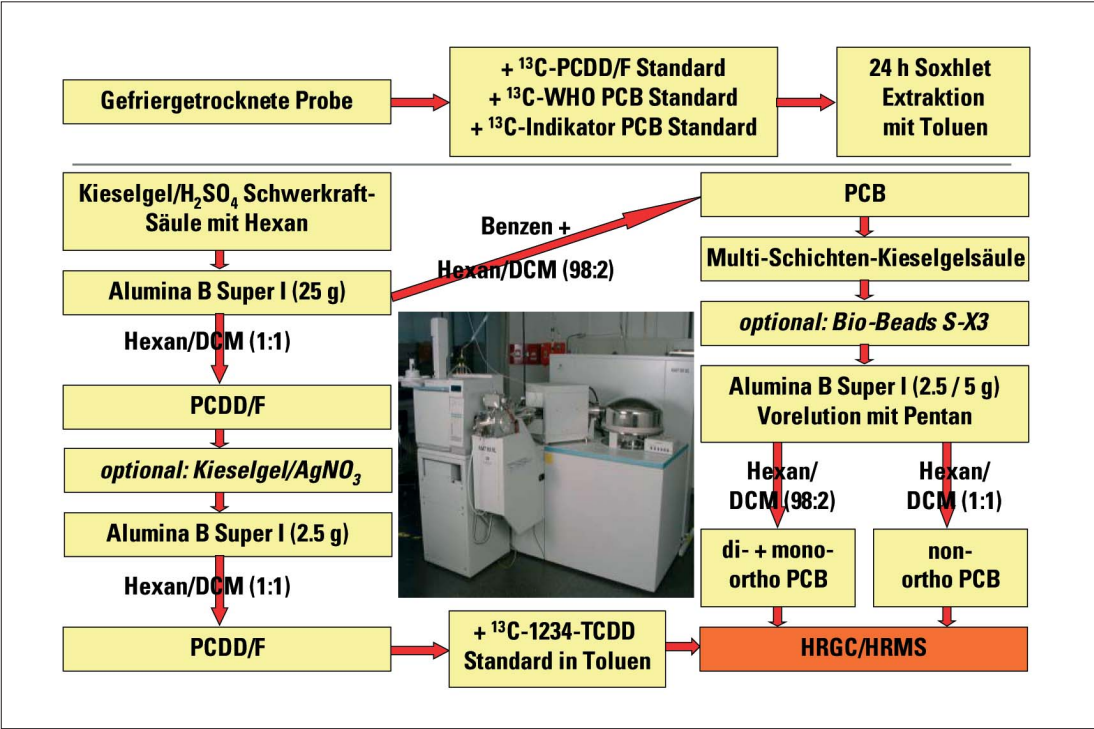


Abb. 1: Probenvorbereitung zur Bestimmung der PCDD/PCDF und PCB

Tab. 1: Messbedingungen am HRGC/HRMS

Gerät	Bedingungen
ThermoFinniganMAT	MAT 95XL: R=10.000 für PCDD/F
MAT 95XL, bzw. MAT 95	MAT 95: R>5000 für PCB
Sektorfeldmassenspektrometer	MID mode
Agilent Gaschromatograph 6890 mit Autosampler 7683	Trärgas He mit 30 cm/s
Gerstel Kas 4 Plus Injektionssystem	80°C – 4°C/s – 120°C – 1.5 min – 12°C/s – 300°C – 10 min Injektionsvolumen: 1, 2 oder 4 µl
Agilent Kapillartrennsäule DB-XLB (l=60 m, ID=0,25 mm, FD=0,25 µm)	PCDD/F: 120°C – 1 min – 20°C/min – 230°C – 2°C/min – 300°C – 10 min PCB: 100°C – 1 min – 3°C/min – 200°C – 1.5°C/min – 280°C – 20°C/min – 300°C – 5 min
Supelco Kapillartrennsäule SP2331 (l=60 m, ID=0,32 mm, FD=0,20 µm)	PCDD/F: 100°C – 1 min – 30°C/min – 200°C – 2°C/min – 260°C – 20 min

(HRGC/HRMS) nach Zusatz eines Wiederfindungsstandards auf zwei verschiedenen GC-Säulen analysiert.

Die PCB-Fraktion kann nach weiterer Aufreinigung über eine Aluminiumoxidsäule in die Fraktion der di- und mono-ortho-substituierten PCB sowie die Fraktion der nicht-ortho-substituierten PCB aufgetrennt werden. Diese Abtrennung ist aufgrund der geringen Konzentrationen der nicht-ortho PCB nötig. Anschließend werden beide PCB-Fraktionen mittels HRGC/HRMS auf einer schwach polaren DB-XLB Kapillarsäule getrennt voneinander untersucht. Die exakten Details zur Messanalytik für die PCDD/PCDF und PCB sind in Tabelle 1 angegeben.

2.1 Methodenentwicklung - Kohlesäule

Ausschließlich die begonnene Entwicklung und Optimierung der Fraktionierung der PCB an der HPLC-Kohlesäule musste in diesem Teil des Projektes noch fertig gestellt werden, da die Methode die Möglichkeit einer Automatisierung dieses bei vielen Proben zusätzlich notwendigen Trennschrittes bietet. Zunächst war geplant gewesen, von der Firma Macherey-Nagel eine zweite HPLC-Kohlesäule zu beziehen und zu testen, ob die Packung der Säule und damit die Trenneigenschaften reproduzierbar sind. Allerdings stellte sich heraus, dass die erste gepackte Kohlesäule unter anderen Voraussetzungen hergestellt worden war, als ursprünglich angenommen. Damit lassen sich auch die anfänglichen Schwierigkeiten bei der Optimierung der Trennung der PCB erklären. Aufgrund von hohen Kosten bei der Anschaffung einer zweiten Säule, wurde daher auf eine Überprüfung der Herstellung dieser Säulen verzichtet und die Validierung der Methode bislang nur an der vorhandenen Säule bezüglich der Bestimmung von Wiederfindungsraten und der Kontrolle auf mögliche Verschleppungen (Memory-Effekte) durchgeführt.

Aufgrund der Struktur der Aktivkohle lassen sich organische Verbindungen an der Kohlesäule anhand ihrer Planarität auftrennen. So ist eine Aufreinigung der PCDD/PCDF-Fraktion von anderen störenden Substanzen möglich [WALLER 1995]. Auch die PCB-Fraktion lässt sich nach abgeschlossener Optimierung des Elutionsgradienten unter der Verwendung verschieden polarer, bzw. planarer Lösungsmittel in drei Fraktionen trennen:

Fraktion 1: Di- und höher-ortho-substituierte PCB
Fraktion 2: Mono-ortho-substituierte PCB
Fraktion 3: Nicht-ortho-substituierte PCB

Zunächst waren Probleme bei der Abtrennung der Fraktion der nicht-ortho-substituierten PCB von den mono-ortho-substituierten PCB aufgetreten. In weiteren Versuchen wurde daher der Elutionsgradient schrittweise geändert (Verringerung des Toluol-Anteils). Damit wurde das Trennver-

halten allmählich besser. Die Fraktionierung einer Probe erfolgt nun nach dem folgenden Schema:

0 - 50 min	Hexan/DCM (9:1)	Fraktion 1
50 - 90 min	Steigerung des Gradienten bis auf 50 % Toluol	Fraktion 2
90 - 160 min	Toluol rückwärts	Fraktion 3

Tabelle 2 zeigt die Fraktionierung der PCB anhand einer Standardmischung. Ausschließlich PCB 81 und PCB 77 sind zu merklichen Anteilen in der „unerwünschten“ Fraktion enthalten.

Tab. 2: Überprüfung der Fraktionierung der PCB mit der Kohlesäule anhand einer Standardmischung

PCB	F1 [%]	F2 [%]	F3 [%]
PCB28	ND	100	ND
PCB52	100	ND	ND
PCB101	99.78	0.22	ND
PCB138	99.47	0.53	ND
PCB153	99.68	0.32	ND
PCB180	99.32	0.68	ND
PCB105	ND	95.56	4.44
PCB114	ND	96.95	3.05
PCB118	ND	95.52	4.48
PCB123	ND	96.07	3.93
PCB156	ND	97.15	2.85
PCB157	ND	95.47	4.53
PCB167	ND	97.20	2.80
PCB189	ND	97.43	2.57
PCB77	ND	15.85	84.15
PCB81	ND	51.19	48.81
PCB126	ND	2.79	97.21
PCB169	ND	2.10	97.90

Etwaige Memoryeffekte wurden durch die Injektion des bereits gereinigten Extraktes einer relativ stark belasteten Klärschlammprobe überprüft. Hierbei handelt es sich um das Klärschlammreferenzmaterial, das auch zur internen Qualitätskontrolle der PCB- und PCDD/PCDF-Analytik eingesetzt wird. Nach der Fraktionierung der Klärschlammprobe wurde eine Blindprobe aufgearbeitet, indem eine Lösung ^{13}C -markierter Standards der PCB (12 WHO PCB + 6 Indikator kongenere) sowie der PCDD/PCDF Standard aller 17 ^{13}C -markierten 2,3,7,8-substituierten Kongenere injiziert und fraktioniert wurde. In den 3 Fraktionen wurden anschließend die nativen Kongenere über die ^{13}C -Standards quantifiziert. Die quantifizierbaren Mengen an PCB entsprachen in etwa den jeweiligen Laborblindwerten (vgl. Kap. 2.2.3), d.h. innerhalb des Probenvorbereitungsmoduls „Kohlesäule“ sind keine zusätzlichen Blindwerte bzw. Verschleppungseffekte zu erwarten.

2.2 Qualitätssicherung

Zur Qualitätssicherung der PCB- und PCDD/PCDF-Analytik werden sowohl interne als

auch externe Maßnahmen ergriffen, deren Ergebnisse im folgenden getrennt voneinander vorgestellt werden. Hierbei wird hauptsächlich auf die Qualitätssicherung der Analytik der dioxinähnlichen PCB eingegangen, da das LfU Zentrallabor im Januar 2002 erfolgreich für den Bereich der PCDD/PCDF-Analytik von der Deutschen Akkreditierungsstelle Chemie (DACH) akkreditiert wurde. Im Rahmen dieser Akkreditierung fand im Februar 2003 eine Nachbegehung des Labors statt. In diesem und auch in den nächsten Kapiteln, in denen

die Untersuchungen der einzelnen Umweltmatrixes vorgestellt werden, werden die Ergebnisse anhand von Graphiken diskutiert. Die ermittelten Konzentrationen der einzelnen Verbindungen sind im Anhang in Tabellen zusammengestellt.

2.2.1 Laborreferenzmaterial

Als wesentliche Maßnahme der internen analytischen Qualitätssicherung für die PCDD/PCDF-Analytik wird im LfU-Zentrallabor seit Januar 2002 eine

Tab. 3: Verfahrenskennndaten der Indikator-Kongenere und dioxinähnlichen PCB für das Klärschlammreferenzmaterial zur internen Qualitätssicherung

Konz. [ng/g]	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6	A 7	A 8	A 9	A 10	Median	AW[%]
PCB28	ND	16.5	15.7	16.2	14.2	13.9	14.4	14.3	14.1	13.8	14.3	6.9
PCB52	14.9	11.1	10.9	11.1	12.5	11.9	11.9	11.4	12.0	10.5	11.7	10.0
PCB101	17.9	16.9	16.5	17.6	16.8	15.5	16.4	15.0	15.2	15.3	16.5	5.9
PCB138	23.1	20.9	21.7	24.2	21.5	21.3	21.5	19.9	20.5	20.7	21.4	5.7
PCB153	29.8	31.0	30.9	33.0	34.9	33.0	33.5	32.6	31.9	34.0	32.8	4.6
PCB180	18.0	18.2	18.5	19.4	18.0	18.4	18.2	18.8	18.0	19.1	18.3	2.5
PCB105	ND	2.33	2.07	2.19	2.00	1.97	1.97	1.99	1.92	1.90	1.99	6.6
PCB114	ND	0.07	0.08	0.09	0.07	0.07	0.09	0.07	0.09	0.08	0.08	10.8
PCB118	5.22	5.17	5.08	5.14	5.10	4.88	4.95	4.60	5.06	4.80	5.07	3.6
PCB123	0.94	0.44	0.44	0.43	0.43	0.45	0.41	0.38	0.40	0.43	0.43	36.1
PCB156	2.08	2.20	2.07	2.34	2.08	2.12	2.15	2.15	2.10	2.16	2.13	3.6
PCB157	0.28	0.23	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.24	0.24	0.25	0.24	6.3
PCB167	1.07	1.03	0.97	1.04	0.97	0.98	0.98	1.00	1.01	1.04	1.00	3.3
PCB189	0.37	0.40	0.38	0.41	0.38	0.40	0.38	0.39	0.37	0.39	0.38	3.3
PCB77	0.67	0.79	0.66	0.67	0.75	0.63	0.60	0.66	0.67	0.64	0.67	7.8
PCB81	0.039	0.044	0.042	0.046	0.044	0.036	0.034	0.038	0.034	0.034	0.039	11.3
PCB126	0.040	0.040	0.039	0.041	0.040	0.036	0.037	0.041	0.035	0.039	0.040	5.3
PCB169	0.0078	0.0080	0.0079	0.0078	0.0086	0.0087	0.0088	0.0085	0.0081	0.0089	0.0083	5.1

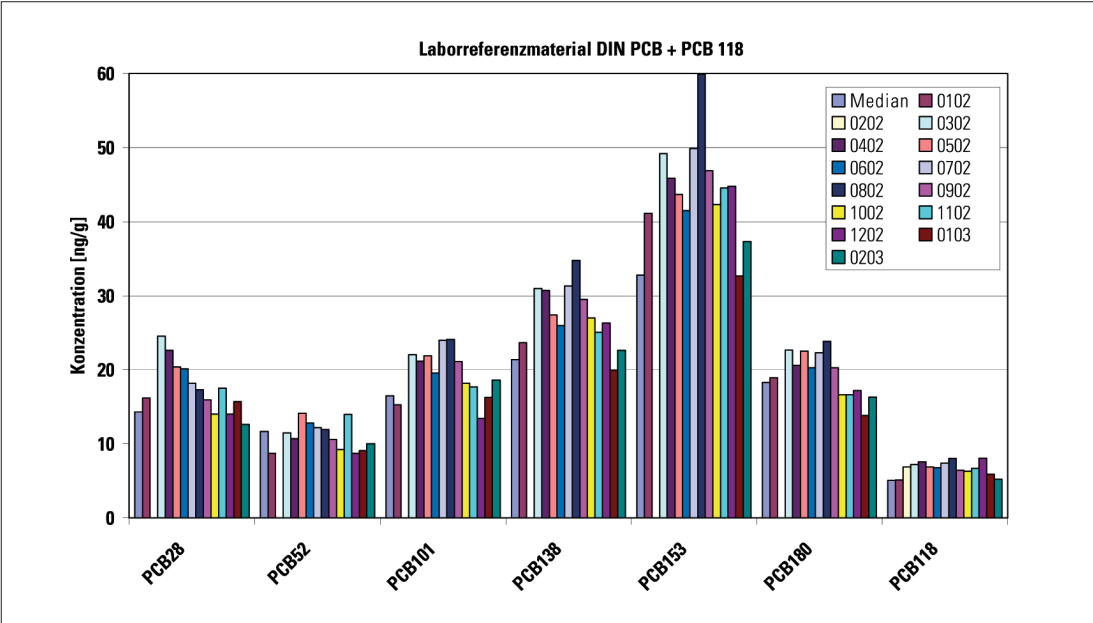


Abb. 2: Konzentrationen der Indikatorkongenere sowie von PCB 118 im Klärschlammreferenzmaterial – Aufarbeitungen Januar 2002 – Februar 2003

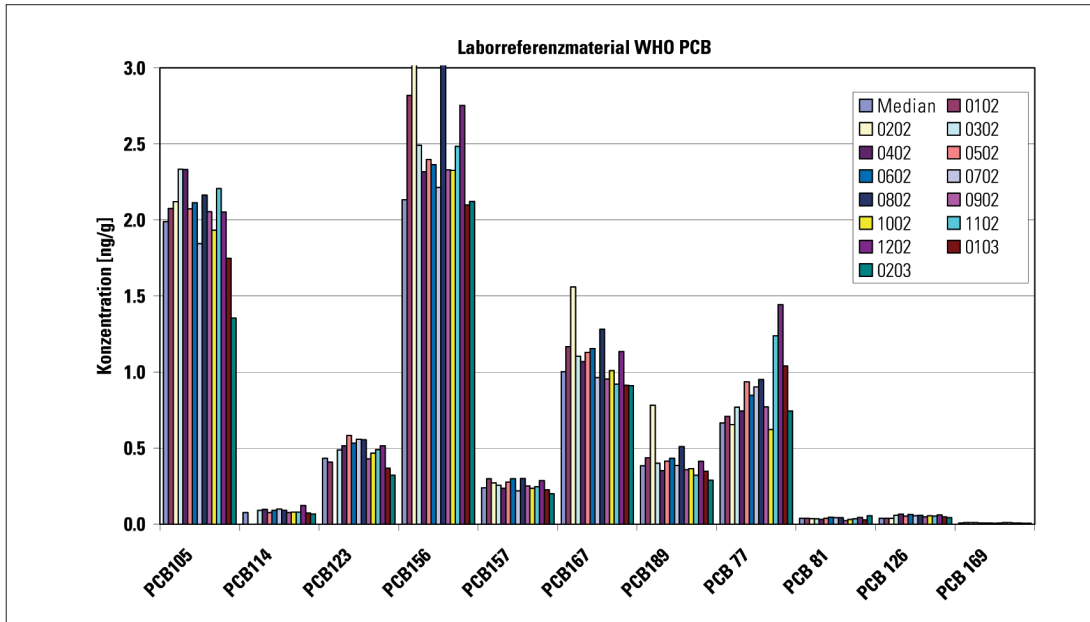


Abb. 3: Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB im Klärschlammreferenzmaterial – Aufarbeitungen Januar 2002 – Februar 2003

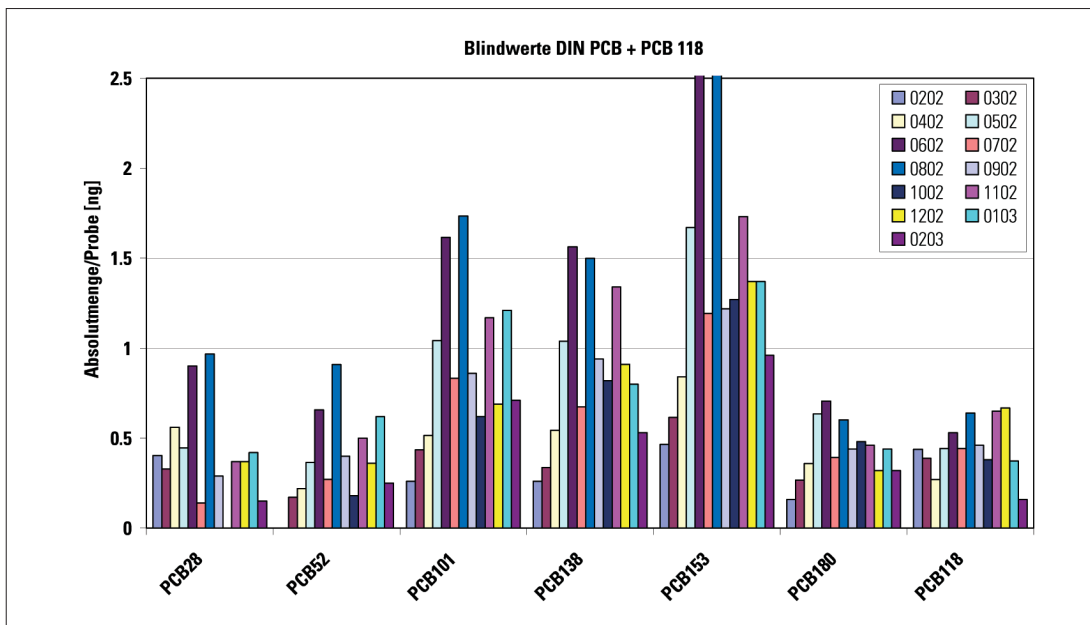


Abb. 4: Laborblindwerte [ng/Probe] der Indikator-kongener und von PCB 118 von Februar 2002 bis Februar 2003

Klärschlammprobe als laborinternes Referenzmaterial mindestens einmal monatlich aufgearbeitet und analysiert. Die Werte werden mit dem Mittelwert einer im September 2001 zur Ermittlung der Verfahrenskennndaten durchgeführten Zehnfachbestimmung verglichen (vgl. Tab. 3). Dieses Material wurde 1995 innerhalb eines bundesweiten Ringversuches für PCDD/PCDF zertifiziert. Da die PCB-Fractionen dieser bisher aufgearbeiteten Proben aufbewahrt wurden, wurden die Ermittlung der Verfahrenskennndaten und die interne Qualitätssicherung des kompletten Analysenverfahrens rückwirkend ab Januar 2002 auch auf die dioxinähnlichen PCB und die Indikator-PCB erweitert.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Aufarbeitung des Laborreferenzmaterials im Jahr 2002 bis

einschließlich Februar 2003 für die Indikator-kongener sowie PCB 118. Die Ergebnisse für PCB 118 sind in dieser und in den folgenden Darstellungen aufgrund der besseren Übersicht in die Abbildung der Indikator-PCB integriert. Im Jahresverlauf ergaben sich Schwankungen für die Konzentrationen der DIN PCB im untersuchten Klärschlammreferenzmaterial, die deutlich größer sind als die Standardabweichungen, die während der 10fachen Aufarbeitung des Materials im September 2001 erzielt wurden. Dennoch stimmen die Konzentrationen im jahreszeitlichen Verlauf gut miteinander überein.

Ebenso erfolgte die Bestimmung der dioxinähnlichen PCB im Klärschlammreferenzmaterial monatlich seit Januar 2002. Abbildung 3 kann

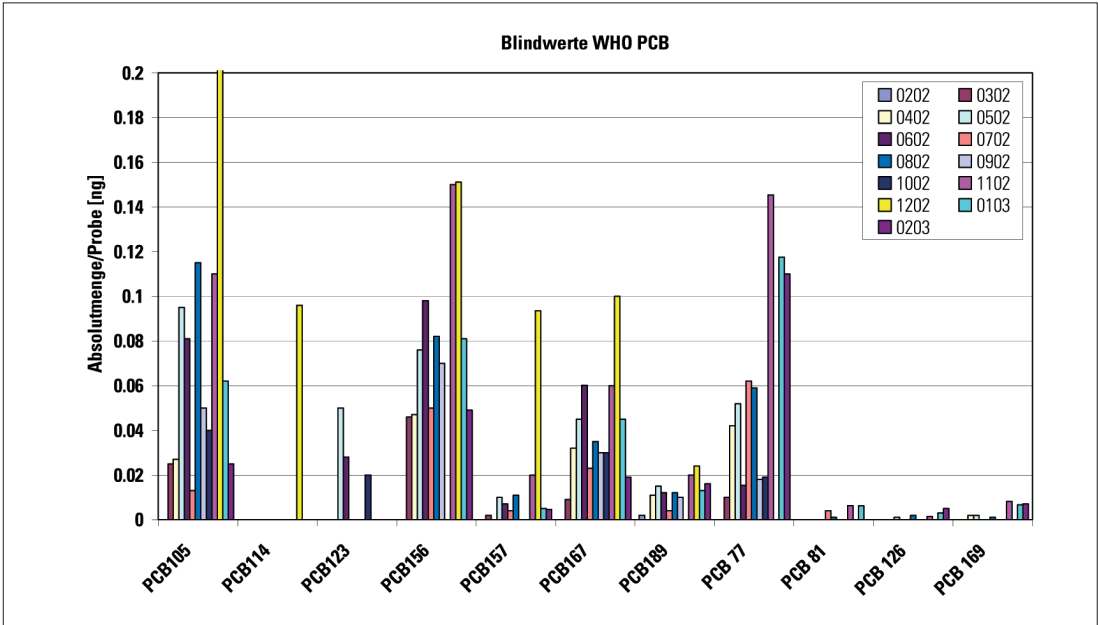


Abb. 5: Laborblindwerte der dioxinähnlichen PCB [ng/Probe] seit Februar 2002

man entnehmen, dass auch die Konzentrationen der WHO PCB im jahreszeitlichen Verlauf im Durchschnitt gut mit den zu Anfang ermittelten Gehalten übereinstimmen.

2.2.2 Blindwerte

Als weitere interne Qualitätssicherungsmaßnahme wird nicht nur für die Dioxine und Furane,

sondern auch für die PCB-Indikatorkongenere und dioxinähnliche PCB, ein monatlicher Laborblindwert erfasst. Die Ermittlung der Hintergrundbelastung im eigenen Labor ist aufgrund der niedrigen Konzentrationen der PCB und PCDD/PCDF in gering belasteten Matrices wie Pflanzenproben oder auch Immissions- und Depositionsproben dringend erforderlich. Nur wenn sich die ermittelten Gehalte in den Proben signifikant vom Labor-

Tab. 4: Prozentualer Anteil des Blindwertes am Gehalt der PCB in den untersuchten Matrices. Der durchschnittliche Blindwert aller Werte des letzten Jahres wird hier mit dem mittleren Gehalt (Median) der Proben verglichen.

%ualer Anteil Blindwert/Probe	Weidelgras (n=27)	Grünkohl (n=18)	Fichtennadeln (n=10)	Kompost (n=44)	Klärschlamm (n=10)	Innenraumluft (n=2)
PCB105	3.5	3.1	5.3	1.0	0.16	0.05
PCB114	52	113	213	40	6.5	2.5
PCB118	7.3	6.0	11	1.9	0.35	0.031
PCB123	4.3	4.2	7.4	2.0	0.31	0.049
PCB156	6.8	4.6	11	0.78	0.23	0.018
PCB157	5.3	3.6	6.7	0.71	0.19	0.028
PCB167	5.7	4.2	9.7	0.80	0.24	0.017
PCB189	12	6.5	15	0.77	0.23	0.042
PCB 77	19	25	13	5.3	0.99	1.2
PCB 81	23	30	28	12	2.3	5.10
PCB 126	8	4.7	2.6	0.7	0.22	0.13
PCB 169	109	109	54	12	3.4	2.18
PCB28	4.2	4.7	13	7.1	0.65	0.18
PCB52	4.4	4.0	9.1	2.7	0.25	0.017
PCB101	8.1	3.2	11	1.4	0.24	0.012
PCB138	8.5	2.7	8.9	0.80	0.19	0.014
PCB153	8.1	2.5	8.5	0.81	0.19	0.010
PCB180	10	3.2	10	0.65	0.16	0.024

blindwert unterscheiden, können diese Konzentrationen in die weitere Auswertung einbezogen werden.

Die Probenvorbereitung zur Bestimmung des Laborblindwertes wird genauso durchgeführt, wie dies für eine normale Realprobe gehandhabt wird. Zunächst wird eine Soxhletapparatur 24 h mit Toluol ausgekocht. Der eingeeengte Extrakt wird anschließend wie in Kapitel 2 beschrieben aufgereinigt und sowohl die PCDD/PCDF-Fraktion als auch die beiden PCB-Fraktionen mittels HRGC/HRMS untersucht.

Abbildung 4 zeigt die Blindwerte, die im Verlauf des letzten Jahres bis einschließlich Februar 2003 für die Indikatorkongenere sowie PCB 118 ermittelt wurden. Für alle Kongenere werden durchschnittliche Blindwerte unter 1 ng pro Probe (PCB 153 1.3 ng) erreicht.

Die Laborblindwerte der dioxinähnlichen PCB liegen deutlich geringer und betragen im Mittel nur ca. 0.03 ng pro Probe (vgl. Abb. 5).

gemessenen Werte nicht verlässlich. Dies muss bei der Beurteilung der im folgenden beschriebenen Ergebnisse für PCB 169 und 114 in den Pflanzenproben berücksichtigt werden.

2.2.3 Nationaler Ringversuch Klärschlamm

Die Gesellschaft für Analytische Qualitätssicherung und Methodenvvalidierung (GAM) hat in Kooperation mit dem Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg eine externe Qualitätssicherung zur Bestimmung von PCDD/PCDF und PCB in Klärschlamm durchgeführt. Dabei nahmen 19 Teilnehmer an der Bestimmung der PCDD/PCDF, 16 an der Bestimmung der Indikatorkongenere sowie 7 an der Untersuchung der dioxinähnlichen PCB teil. Als Ergebnisse gingen die Mittelwerte aus je zwei unabhängigen Analysen zweier Klärschlammproben in die Bewertung ein. Für alle untersuchten Substanzgruppen konnte dem LfU Zentrallabor eine erfolgreiche Teilnahme bescheinigt werden. Auf die Ergebnisse zur Analytik der dioxinähnlichen PCB wird im folgenden detailliert eingegangen.

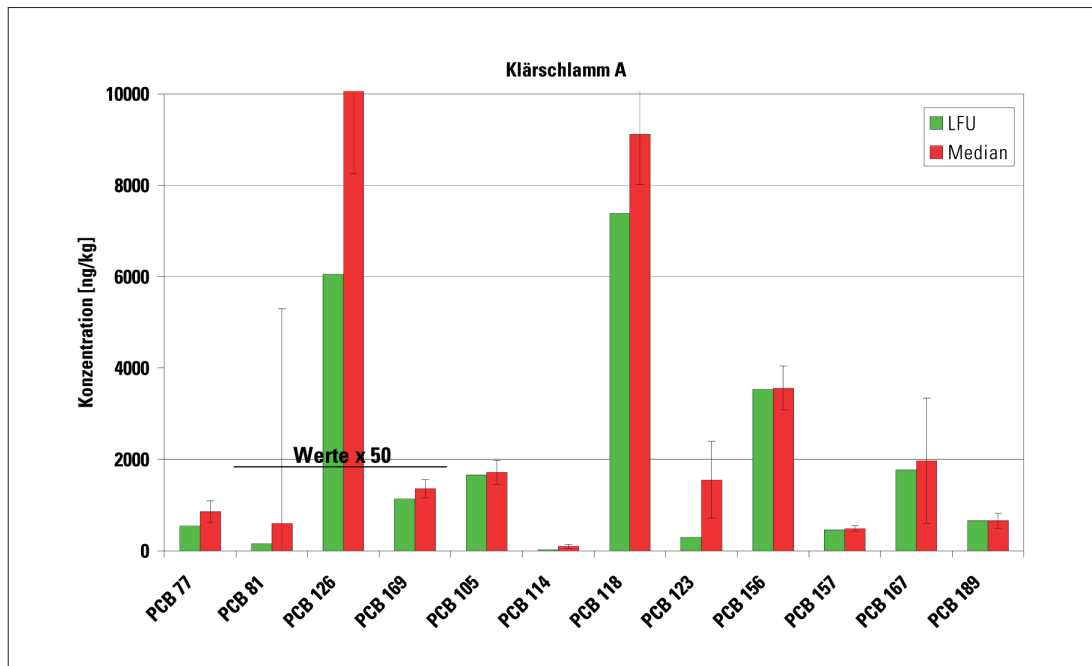


Abb. 6: Vergleich der vom LfU ermittelten Konzentrationen [ng/kg] mit den ausreißerbereinigten Labormedianen (+/- Standardabweichung). In dieser und in den folgenden Abbildungen sind die LfU-Werte grün, die der Ringversuchsmidiane rot dargestellt. Der besseren Übersicht halber wurden die Konzentrationen der drei non-ortho PCB 81, 126 und 169 mit einem Faktor 50 multipliziert.

Entscheidender als der absolute Laborblindwert einer Komponente ist allerdings das Verhältnis des Blindwertes zu den normalerweise in den untersuchten Proben vorliegenden Konzentrationen. Einen Überblick darüber gibt Tabelle 4.

Tabelle 4 macht deutlich, dass die Laborblindwerte nur für die geringen Konzentrationen des PCB 169 und des PCB 114 (rot gekennzeichnet) in den Pflanzenproben Probleme verursachen. Da der Blindwert von PCB 169 und PCB 114 teilweise höher als der jeweilige Gehalt in den Proben liegt, sind die für diese beiden Verbindungen

Abbildung 6 stellt die Ergebnisse der dioxinähnlichen PCB in Klärschlammprobe A graphisch dar. Die Konzentrationen der einzelnen Kongenere sind in dieser Probe sehr unterschiedlich und schwanken zwischen 3 ng/kg für PCB 81 und 7.400 ng/kg für PCB 118 bezogen auf die Trockensubstanz. Die Bewertung der Teilnehmer wird nach dem Z-Score vorgenommen. Das Qualitätskriterium gilt als erfüllt, wenn der entsprechende Labormittelwert in dem Bereich des ausreißerbereinigten Gesamtmittelwertes zuzüglich bzw. abzüglich der zweifachen Standardabweichung liegt. Alle vom LfU ermittelten Konzentra-

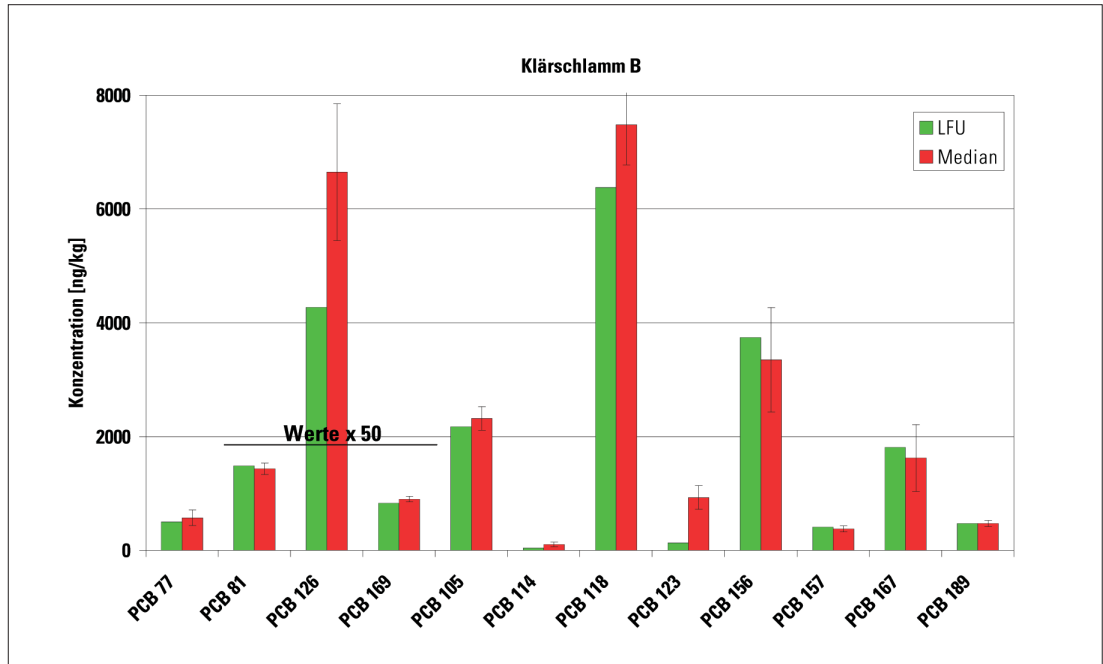


Abb. 7: Vergleich der vom LfU ermittelten Konzentrationen [ng/kg] mit den ausreißerbereinigten Labormedianen (+/- Standardabweichung) für Klärschlammprobe B. Der besseren Übersicht halber wurden auch hier die Konzentrationen der drei non-ortho PCB 81, 126 und 169 mit einem Faktor 50 multipliziert.

tionen in der Klärschlammprobe A erfüllen dieses Qualitätskriterium.

Die Konzentrationen der einzelnen dioxinähnlichen PCB unterscheiden sich auch in Klärschlammprobe B sehr (vgl. Abb. 7) und liegen zwischen 40 ng/kg für PCB 169 und 6400 ng/kg für PCB 118. Bei der Untersuchung dieser Probe wurde allerdings vom LfU Zentrallabor eine deutlich zu niedrige Konzentration für PCB 123 ermittelt, die nicht mehr im Rahmen der zweifachen Standardabweichung der Ringversuchsteilnehmer liegt und somit einen nicht akzeptablen Wert darstellt. Die für alle anderen dioxinähnlichen PCB ermittelten Konzentrationen stimmen gut mit den Ergebnissen der anderen Ringversuchsteilnehmer überein.

Da von den im Rahmen des nationalen Ringversuches insgesamt 24 zu bestimmenden Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB nur ein einziger Wert nicht innerhalb der zweifachen Standardabweichung der Ringversuchsteilnehmer liegt, sind die Ergebnisse als sehr gut zu bewerten. Somit wurde eine erfolgreiche Teilnahme bescheinigt.

2.2.4 Internationaler Ringversuch Boden/Sediment

Im Rahmen des 7. Internationalen Ringversuches der Universität Umeå in Schweden wurden 4 Boden- bzw. Sedimentproben, 2 Fischproben und eine Standardlösung auf PCDD/PCDF und dioxinähnliche PCB untersucht. In diesem Ringversuch nahmen 48 Laboratorien an der Bestimmung der WHO PCB in Boden/Sediment teil. Für alle 4 unterschiedlich kontaminierten Proben wurde eine sehr gute Übereinstimmung mit den

Labormedianen erzielt, obwohl diese für fast alle WHO PCB sehr große Standardabweichungen zeigen. Einziger Ausreißer bildet hier die Bestimmung des PCB 123, bei dem die vom LfU Zentrallabor ermittelte Konzentration in fast allen Proben zu hoch liegt.

Die Ursache hierfür konnte jedoch im nachhinein auf eine Koelution mit einer anderen Verbindung auf der DB-XLB Säule zurückgeführt werden. Die Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse des LfU Zentrallabors im Vergleich mit den Medianen der anderen Ringversuchsteilnehmer.

Im gleichen Ringversuch wurden zusätzlich zwei Fischproben und eine Standardlösung auf dioxinähnliche PCB untersucht. Im nachhinein stellte sich heraus, dass vom Ringversuchsveranstalter zweimal die gleiche Fischprobe versendet worden war, doch vergleicht man die Ergebnisse der beiden Aufarbeitungen, so stimmen diese sehr gut miteinander überein. Die Labormediane der ebenfalls 48 teilnehmenden Laboratorien zeigen bei den Fischproben noch größere Standardabweichungen als bei der Untersuchung der Boden- und Sedimentproben. Die Ergebnisse des LfU Labors stimmen jedoch auch hier gut mit den Medianen überein, wenn man auch hier von der ermittelten Konzentration des PCB 123 absieht, die deutlich zu hoch liegt, was wiederum auf eine Koelution hindeutet (vgl. Abb. 9).

Wirft man einen Blick auf die Ergebnisse der Bestimmung der WHO PCB in der versandten Standardlösung so fällt auf, dass alle ermittelten Konzentrationen innerhalb der Standardabweichungen der Labormediane liegen, allerdings alle Minderbefunde aufweisen.

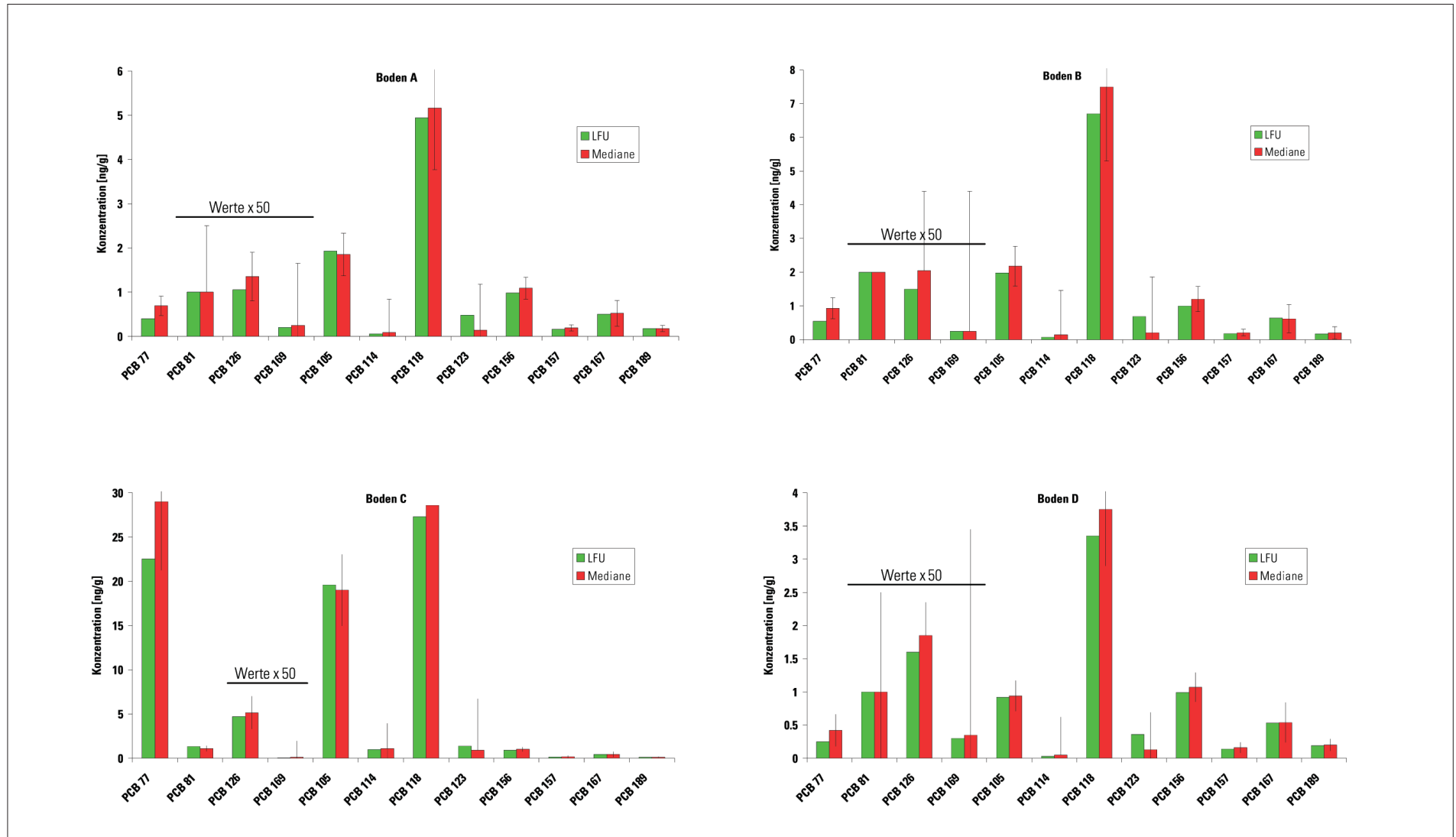


Abb. 8: Vergleich der vom LfU ermittelten Konzentrationen [ng/g] mit den ausreißerbereinigten Labormedianen (+/- Standardabweichung) für die vier untersuchten Boden- und Sedimentproben. Der besseren Übersicht halber wurden hier die Konzentrationen einiger Kongenere mit einem Faktor 50 multipliziert.

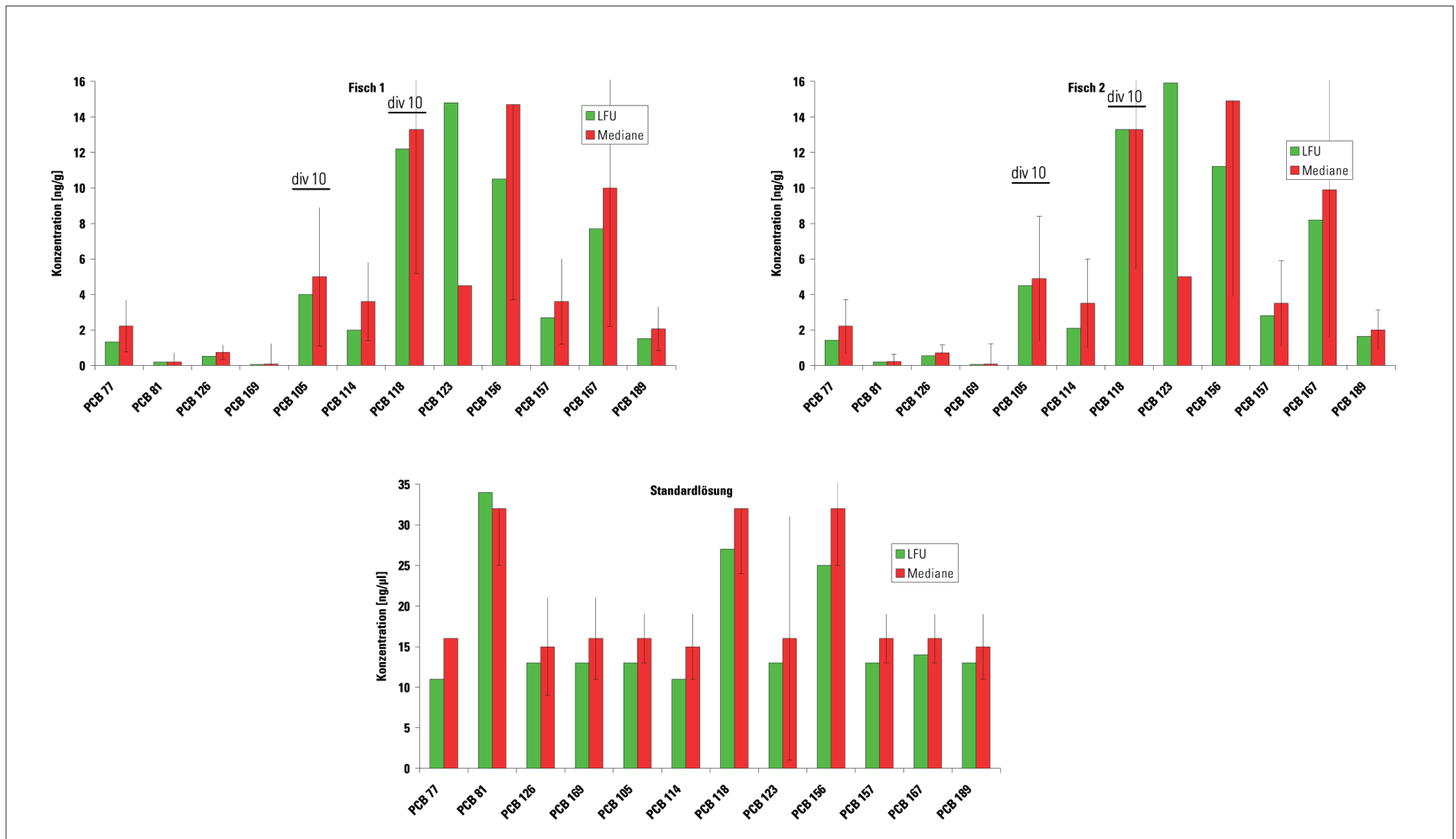


Abb. 9: Vergleich der vom LfU ermittelten Konzentrationen [ng/g] mit den ausreißerbereinigten Labormedianen für die untersuchten Fischproben und die Standardlösung. Der besseren Übersicht halber wurden hier die Konzentrationen einiger Kongenere in den Fischproben durch 10 dividiert.

2.3 Umweltproben

Im ersten Zeitabschnitt des Projektes lag die Hauptarbeit noch bei der Entwicklung der Methoden zur systematischen Bestimmung der dioxinähnlichen PCB in den auf Indikatorkongenere und PCDD/PCDF routinemäßig im LfU Zentrallabor untersuchten Umweltmatrices. Daher konnten in diesem Zeitraum dioxinähnliche PCB nur in ausgewählten Proben bestimmt werden. Im zweiten Abschnitt des Projektes konnte nach Abschluss der Methodenoptimierungen im Bereich der HPLC-Kohlesäuletrennung die Bestimmung der dioxinähnlichen PCB in verschiedenen Umweltproben routinemäßig mit aufgenommen werden. Dabei wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, innerhalb einer Matrix größere Probenserien zu erfassen, um repräsentative Daten der Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB zu erhalten. Ein Schwerpunkt der Arbeit lag dabei auf der Bestimmung der dioxinähnlichen PCB in den im Rahmen des Biomonitorings analysierten Pflanzenproben, aber auch andere Umweltmatrices wie Klärschlamm und Kompost wurden auf dioxinähnliche PCB untersucht.

Zusätzlich war geplant, Innenraumluftproben in PCB-belasteten öffentlichen Gebäuden zu nehmen und neben den PCDD/PCDF auf dioxinähnliche PCB zu untersuchen. In PCB-belasteten Innenräumen kann der PCB-TEQ relativ zum I-TEQ der PCDD/PCDF deutlich höher liegen, sodass möglicherweise durch die dioxinähnlichen PCB der für Dioxine geltende Vorsorgewert in Innenräumen von $0,5 \text{ pg I-TEQ/m}^3$ überschritten wird. Auch wird aktuell diskutiert, ob der für die PCB-Summe gültige Gefahrenwert von 3000 ng/m^3 bestehen bleiben kann. Daher wurden in einigen ausgewählten Gebäuden Innenraumluftproben genommen und auf dioxinähnliche PCB analysiert.

2.3.1 Pflanzenproben

Im Rahmen des Biomonitorings luftgetragener Schadstoffe werden an 9 Dauerbeobachtungsstationen vom LfU (PS3) jährlich Weidelgras- und Grünkohlproben exponiert und vom Zentrallabor auf PCDD/PCDF, Indikator-PCB, PAK (16 EPA) sowie Elemente untersucht. Zusätzlich werden an 27 ausgewählten Standorten Fichtennadeln im Herbst und Frühjahr im zweijährigen Rhythmus analysiert. Ab dem Jahr 2001 werden diese Pflanzenproben nun ebenfalls auf dioxinähnliche PCB untersucht.

Eingezeichnet sind in der Karte (Abb. 10) blau die Dauerbeobachtungsstationen Weibersbrunn (205), Kulmbach (KB), Weißenstadt (206), Eining (201), Scheyern (202), Augsburg (207), Bidingen (208), München (204), Grassau (203), an denen Weidelgras und Grünkohl beprobt werden. Fichtennadeln wurden bislang von 9 ausgewählten Standorten – nämlich aus Anger, Scheyern, Drosendorf, Boxbrunn, Bidingen, Bärnau, Schlüsselfeld, Weißenstadt und Arnstein - auf dioxinähnliche

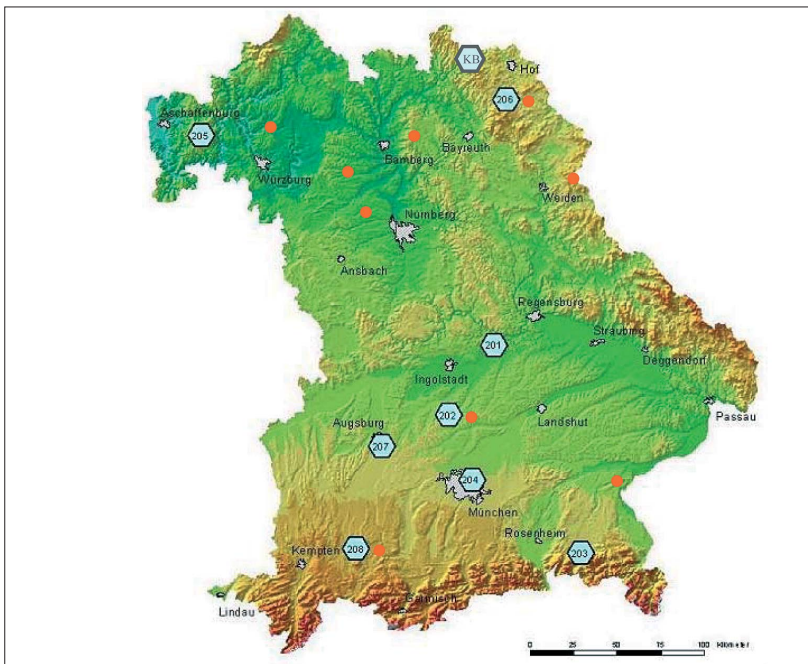


Abb. 10: Standorte der Dauerbeobachtungsstationen des Biomonitorings in Bayern. Zusätzlich sind die Standorte, von denen Fichtennadelproben auf dioxinähnliche PCB untersucht wurden, orange eingezeichnet.

PCB untersucht; diese sind hier orange gekennzeichnet.

2.3.1.1 Weidelgras

In den Sommermonaten wird Weidelgras zum Schadstoffmonitoring eingesetzt. Dabei werden die Pflanzen ab Mai an den Dauerbeobachtungsstationen für vier Wochen exponiert. Die ersten drei Probenahmen vom 13.06., 11.07. und 08.08. von der jeweiligen Station werden zu einer Mischprobe vereinigt. Dies ist aufgrund der geringeren Gehalte an Schadstoffen in den Sommermonaten sowie wegen der niedrigeren Wachstumsrate der Pflanzen zu Beginn der Exposition nötig. Die nächsten Probenahmen erfolgten für das Jahr 2001 am 05.09. und 03.10.; diese wurden getrennt voneinander aufgearbeitet. Daher

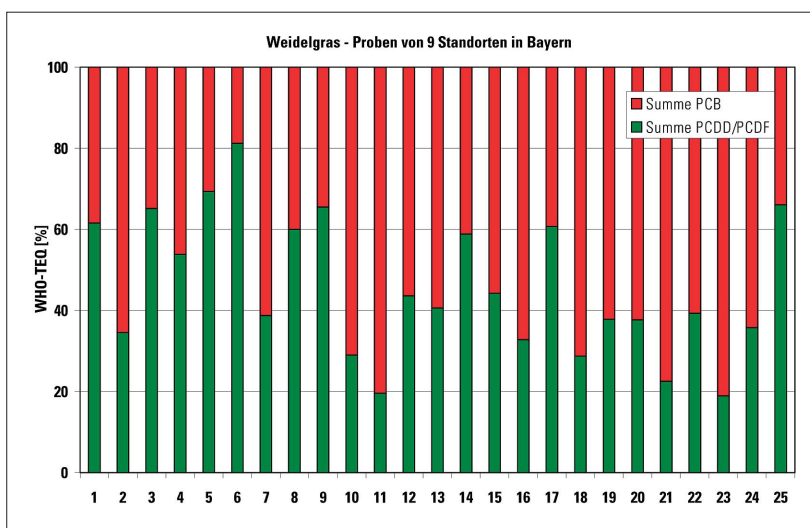


Abb. 11: TEQ Verteilung auf PCB und PCDD/PCDF in den Weidelgrasproben 2001

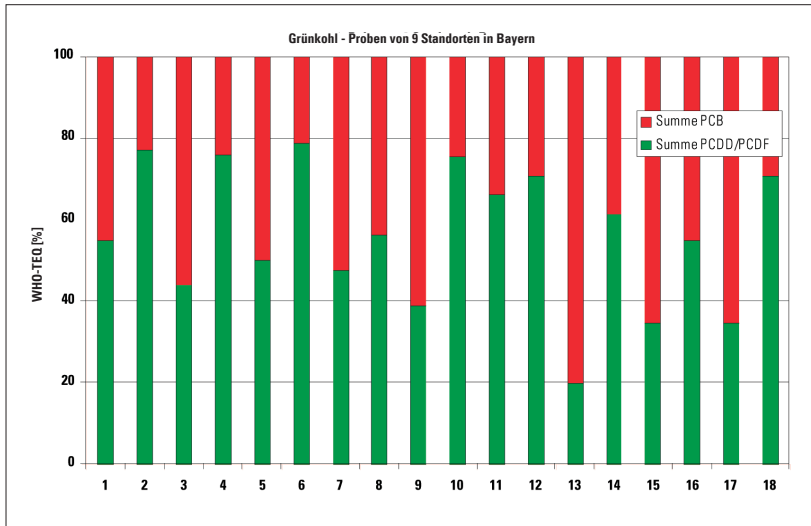


Abb. 12: TEQ Verteilung auf PCB und PCDD/PCDF in den Grünkohlproben 2001

liegen für jeden Standort 3 Weidelgrasproben des jeweiligen Jahres vor. Im Jahr 2000 wurden nur exemplarisch drei Proben auf dioxinähnliche PCB untersucht, nun liegen die Ergebnisse für alle Proben des Jahres 2001 vor.

Im weiteren wird der TEQ-Beitrag der dioxinähnlichen PCB zum Gesamt-TEQ aus PCDD/PCDF und PCB diskutiert. Die exakten Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB in den einzelnen Proben, sowie der TEQ der PCB und PCDD/PCDF finden sich im Anhang in Tabelle 12.

In Abb. 11 – wie auch in den folgenden Graphiken – ist der Beitrag der WHO PCB zum Gesamt-TEQ rot, der Beitrag der Dioxine und Furane grün dargestellt. Es zeigt sich, dass der Anteil des PCB TEQ am Gesamt-TEQ in den hier untersuchten Weidelgrasproben sehr hoch ist, teilweise sogar den TEQ der Dioxine und Furane übertrifft, generell aber sehr von Probe zu Probe schwankt. Der durchschnittliche WHO TEQ der PCB in den untersuchten Weidelgrasproben beträgt 0.18 ng/kg, der der PCDD/PCDF 0.12 ng/kg bezogen auf die Trockensubstanz (TS). Bislang wurde nur eine einzige komplette Serie von Weidelgraspro-

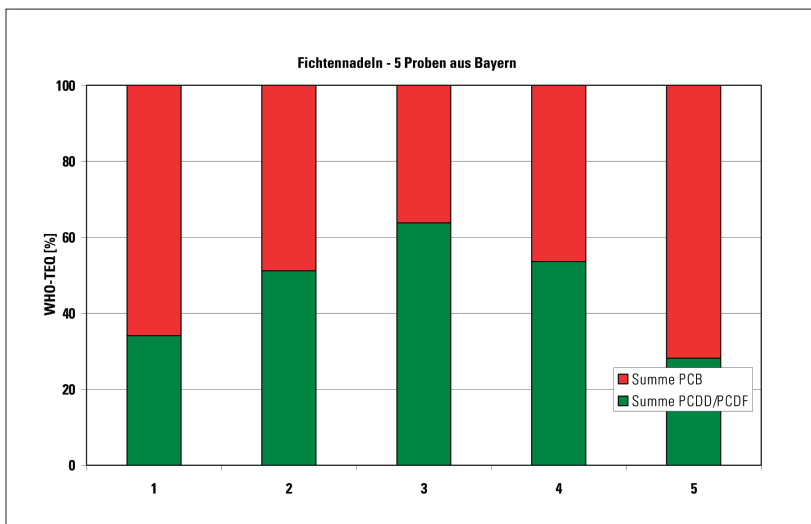


Abb. 13: TEQ Verteilung auf PCB und PCDD/PCDF in Fichtennadeln der Herbstbeprobung 2001

ben auf dioxinähnliche PCB untersucht, so dass mögliche standortspezifische Unterschiede im TEQ-Anteil der PCB schwer zu erkennen wären. Betrachtet man alle Proben, so liegt der Beitrag der PCB zum Gesamt-TEQ zwischen 20 und 80 %, ist also teilweise sogar 4mal so hoch wie der TEQ der Dioxine und Furane.

2.3.1.2 Grünkohl

Zum Biomonitoring im Winter wird als frostresistente Pflanze Grünkohl verwendet. Dieses Monitoring wird an den gleichen 9 Standorten durchgeführt, an denen im Sommer die Weidelgräser exponiert werden. Die Probenahmen erfolgen am 03.10. und 28.11 nach jeweils 8 Wochen Exposition. Daher liegen für jeden Standort 2 Grünkohlproben des jeweiligen Jahres vor.

In Abbildung 12 nebeneinander dargestellt sind jeweils die zwei Proben, die zu einem Standort gehören, also 1 und 2, 3 und 4 usw. Bei den hier untersuchten Proben aus dem letzten Jahr liegt der Anteil der PCB am Gesamt-TEQ ebenfalls zwischen 20 und 80 % (mittlerer PCB WHO TEQ: 0.14 ng/kg TS, PCDD/PCDF WHO TEQ: 0.25 ng/kg TS). Die Konzentrationen der einzelnen Proben sind im Anhang in Tabelle 13 angegeben.

Tendenziell fällt auf, dass die zweite Probenahme im Fortlauf des Winters am jeweiligen Standort einen geringeren TEQ-Anteil der PCB zeigt. Eine Erklärung hierfür können vermehrte Dioxin- und Furan-Emissionen durch Heizungen sowie verringerte PCB Konzentrationen in der Gasphase durch kältere Temperaturen sein.

2.3.1.3 Fichtennadeln

Als Langzeitmonitoring werden Fichten an 27 verschiedenen Standorten in Bayern beprobt. Von jedem dieser Standorte wird eine Mischprobe aus der Beprobung von drei verschiedenen Bäumen hergestellt. Diese Probenahme findet sowohl im Herbst als auch im Frühjahr im zweijährigen Rhythmus statt. Auf dioxinähnliche PCB wurden bislang 10 Fichtennadelproben aus dem Herbst 2001 und Frühjahr 2002 untersucht. Die Ergebnisse sind auch hier graphisch dargestellt (Abb. 13), die einzelnen Daten finden sich im Anhang in Tabelle 14. Wie auch schon in den anderen untersuchten Pflanzenmatrices Weidelgras und Grünkohl haben die dioxinähnlichen PCB in Fichtennadeln einen erheblichen Beitrag zum Gesamt-TEQ (PCB WHO TEQ: 190 ng/kg TS, PCDD/PCDF WHO TEQ: 160 ng/kg TS).

Da bislang nur 5 Proben aus dem selben Zeitraum sowohl auf PCB als auch auf PCDD/PCDF untersucht wurden, können noch keine Aussagen getroffen werden, ob und in wie weit sich Herbst- und Frühjahr-Beprobung voneinander unterscheiden werden. Die weitere Aufarbeitung von Fichtennadelproben auf dioxinähnliche PCB ist jedoch ebenfalls geplant.

2.3.2. Kompost

Zusätzlich zu den Pflanzenproben wurden auch in weiteren ausgewählten Umweltmatrices dioxinähnliche PCB bestimmt. In einem Forschungsprojekt des Josef-Vogl-Technikums wurden im letzten Jahr verschiedene Kompostierungsanlagen u. a. zur Untersuchung auf PCB und PCDD/PCDF beprobt. Um auch für diese Matrix eine repräsentative Erfassung der dioxinähnlichen PCB durchzuführen, wurden alle genommenen Proben auch auf WHO PCB untersucht.

Es zeigte sich, dass der Beitrag der dioxinähnlichen PCB im Kompost im Durchschnitt geringer liegt als bei den Pflanzenproben; der mittlere PCB WHO TEQ liegt im Kompost bei 2.9 ng/kg TS, der PCDD/PCDF WHO TEQ bei 7.4 ng/kg TS. Untersucht wurden hier Proben aus 22 verschiedenen kommunalen Kompostierungsanlagen in Bayern, bei denen es sich um zwei verschiedene Typen von Anlagen handelt, Typ 1, in dem Bioabfall gemischt mit Grüngut kompostiert wird, und Typ 2, in dem ausschließlich Grüngut kompostiert wird. Zwischen beiden Anlagentypen ist jedoch hinsichtlich der PCB-Gehalte im Kompost kein Unterschied festzustellen. Im Durchschnitt liegt bei allen untersuchten Anlagen der PCB TEQ-Anteil zwischen 20 und 50 %. Bei allen hier untersuchten Kompostproben machen also die Dioxine und Furane den größten Beitrag zum TEQ aus. Die PCB Konzentrationen der einzelnen untersuchten Kompostproben finden sich im Anhang in den Tabellen 15 und 16.

Die gleichen 22 Anlagen wurden im Lauf des letzten Jahres ein zweites Mal beprobt. Vergleicht man den PCB TEQ für die beiden Probenahmen in einer Anlage (Abb. 15), so ergeben sich für die meisten Kompostierungsanlagen keine Unterschiede in den PCB-Gehalten. Ausschließlich in einer Bioabfall-Kompostierungsanlage (BA-2) liegt der PCB TEQ bei der zweiten Probenahme niedriger. Bei einer Grüngut-Kompostierungsanlage (GG-4) dagegen lag der PCB TEQ bei der zweiten Probenahme nahezu fünffach höher. Dagegen hat sich der TEQ der PCDD/PCDF bei dieser Anlage zwischen den beiden Probenahmen nicht gravierend verändert. Möglicherweise ist für diesen Anstieg der PCB Konzentrationen eine spezifische PCB-Quelle bzw. -belastung im Grüngutabfall, der kompostiert wurde verantwortlich, die während der ersten Probenahme nicht vorgelegen hat.

2.3.3 Klärschlamm

Bezüglich der Belastung mit dioxinähnlichen PCB liegen in Deutschland z. Zt. auch für Kläranlagen nur unzureichend Daten vor. Vom Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart wurden im November 2001 verschiedene Kläranlagen beprobt. Aliquote dieser Proben wurden dem LfU Zentrallabor zur Untersuchung auf dioxinähnliche PCB zur Verfügung gestellt.

In den hier untersuchten 10 Klärschlammproben haben die PCB einen erheblichen Anteil am

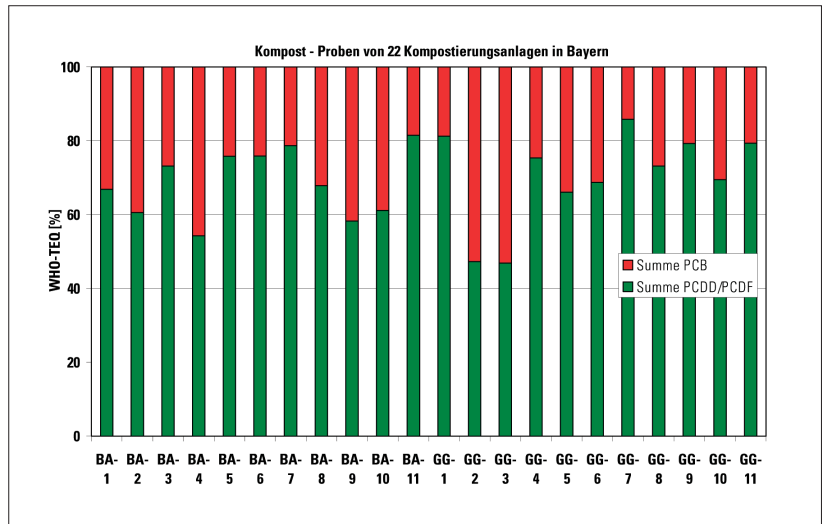


Abb. 14: TEQ Verteilung auf PCB und PCDD/PCDF Kompostproben von 22 bayerischen Kompostierungsanlagen 2002 – 1. Beprobung

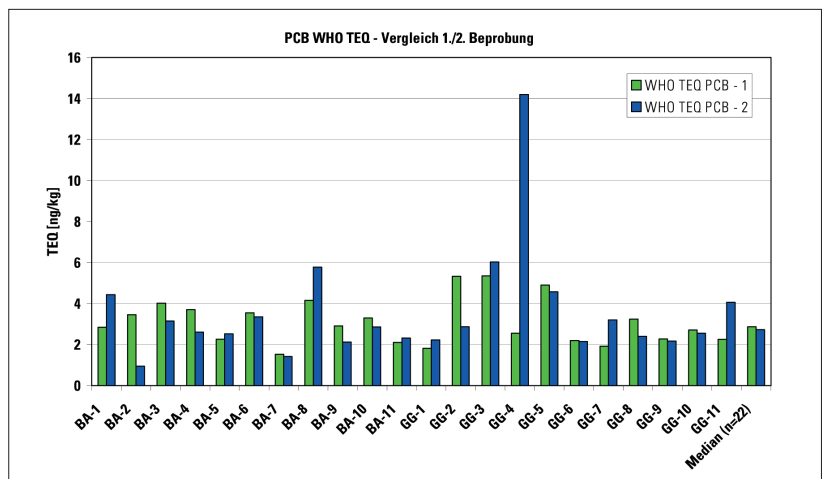


Abb. 15: Vergleich der PCB WHO TEQ der beiden Probenahmen an 22 bayerischen Kompostierungsanlagen 2002

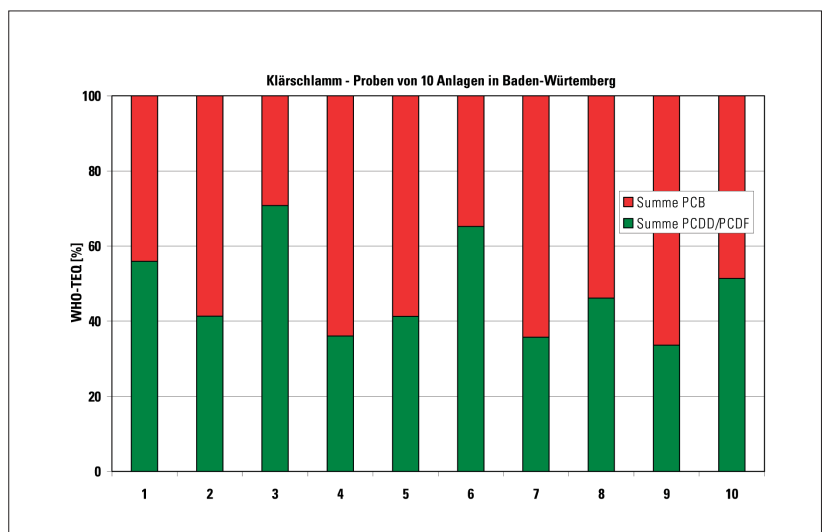


Abb. 16: TEQ Verteilung auf PCB und PCDD/PCDF von Klärschlämmen aus kommunalen Kläranlagen – Baden-Württemberg

Gesamt-Toxizitätsäquivalent. Diese Proben stammen aus 10 verschiedenen kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg mit unterschiedlicher Größe, Reinigungstechnik, Einzugsgebiet und Anteil industrieller Einleiter. Der Beitrag der PCB liegt zwischen 30 und 60 %, ist also teilweise sogar wieder höher als der Anteil der Dioxine und Furane. Allerdings wird auch bei Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB der nach der Klärschlammverordnung geltende Grenzwert für PCDD/PCDF von 100 ng I-TEQ/kg TS in den untersuchten Proben nicht annähernd erreicht, da der mittlere PCB WHO TEQ bei 13 ng/kg TS und der PCDD/PCDF WHO TEQ bei 11 ng/kg TS liegt. Weder bei den PCB- noch bei den PCDD/PCDF-Konzentrationen (vgl. Anhang Tabelle 17) waren nennenswerte Unterschiede zwischen den Anlagen zu beobachten, was auf einen diffusen Eintrag dieser Verbindungen hinweist.

2.3.4 Immission

In der Nähe eines kleinen Industriegebietes in Ebenhausen in Bayern wurden Anfang letzten

Jahres über einen Zeitraum von 12 Wochen Immissionsmessungen durchgeführt.

Die Probenahme erfolgte mittels eines low-volume-Sammlers, der über einen Zeitraum von 14 Tagen ca. 1000 m³ Luft sammelte. Die in der Luft vorhandenen organischen Schadstoffe wurden auf einem Glasfaserfilter gefolgt von einer Adsorptionseinheit mit zwei Polyurethanschäumen gesammelt.

Die Konzentrationen an PCB und PCDD/PCDF in diesen Proben spiegeln die typische Hintergrundbelastung der Außenluft wieder (vgl. Anhang Tabelle 18). Der durchschnittliche PCB WHO TEQ liegt bei 0.0061 pg/m³ Außenluft, der PCDD/PCDF WHO TEQ bei 0.025 pg/m³. Vergleicht man den Beitrag der PCB mit dem der PCDD/PCDF zum Gesamt-TEQ (Abb. 17), so tragen die PCB also durchschnittlich nur zu etwa 20 % bei. Ohne spezifische PCB-Quellen in der Nachbarschaft der Messungen sollte der Anteil an dioxinähnlichen PCB am Gesamt-TEQ in der Außenluft geringer sein als der Anteil der PCDD/PCDF [HIESTER 2003].

2.3.5 Emission

Das Josef-Vogl-Technikum führt seit Ende letzten Jahres ein Projekt zur Ermittlung der Emissionen an PCDD/PCDF und PCB im Anfahrbetrieb von Müllverbrennungsanlagen durch. Untersuchungen an einer Hamburger Müllverbrennungsanlage [Gass et al. 2002] geben Hinweise darauf, dass im Anfahrbetrieb einer MVA der zulässige Grenzwert von 0.1 ng I-TEQ /m³ auch im Reingas deutlich überschritten werden kann. Daher werden im Rahmen eines Forschungsprojektes Messungen an verschiedenen bayerischen Hausmüllverbrennungsanlagen durchgeführt. Um zu ermitteln, in welcher Phase erhöhte Emissionen auftreten, wird der Anfahrbetrieb in drei Messperioden unterteilt. Die Emissionsmessungen werden in diesen drei Zeiträumen sowohl im Rein- als auch im Rohgas durchgeführt, um Unterschiede in der Abgasreinigung innerhalb der verschiedenen Messzeiträume beobachten zu können.

Bislang wurden Emissionsmessungen an der Abfallverbrennungsanlage Augsburg durchgeführt. An dieser Anlage wurde auch unter Einbeziehung der dioxinähnlichen PCB der Grenzwert von 0.1 ng TEQ /m³ im Anfahrbetrieb nicht erreicht (PCB WHO TEQ maximal 0.012 ng/m³, PCDD/PCDF WHO TEQ maximal 0.068 ng/m³). Lediglich bei Normierung auf einen Sauerstoffgehalt von 11% wurde der Grenzwert in zwei der drei Reingasproben überschritten. Wie schon andere Untersuchungen an Müllverbrennungsanlagen im laufenden Betrieb gezeigt haben, ist der Beitrag der PCB zum Gesamtoxizitätsäquivalent auch im Anfahrbetrieb niedrig (vgl. Tabelle 19 im Anhang).

Sowohl in den drei Reingas- als auch in den drei Rohgasproben, die in unterschiedlichen Zeiträumen während des Anfahrbetriebes der MVA Augsburg genommen wurden, tragen die dio-

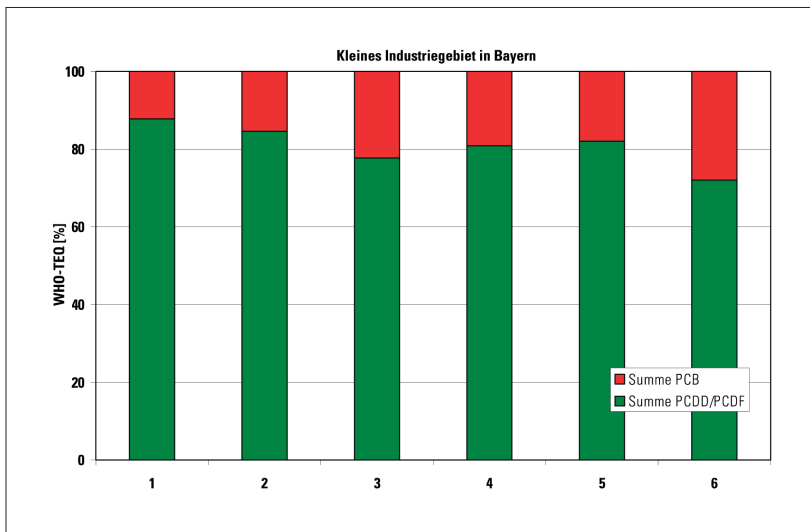


Abb. 17: TEQ Beitrag der PCB und PCDD/PCDF in Außenluftproben

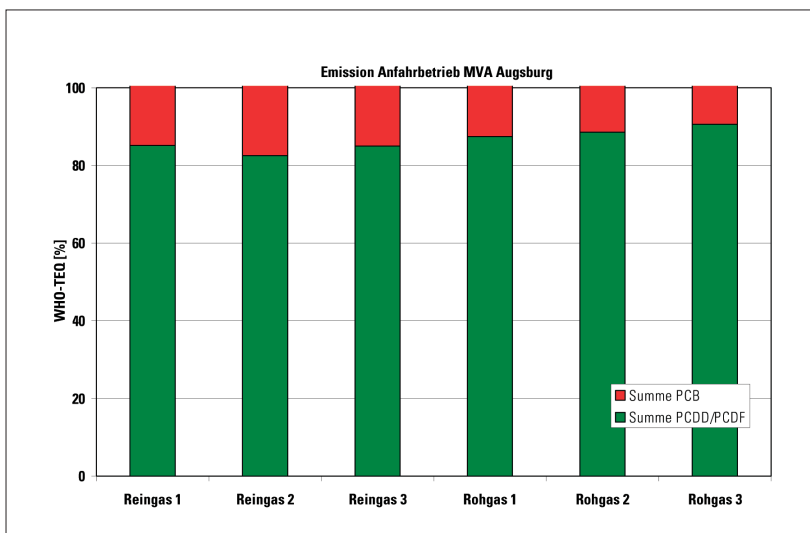


Abb. 18: TEQ Beitrag der PCB und PCDD/PCDF in Emissionsproben der MVA Augsburg im Anfahrbetrieb

xinähnlichen PCB zu weniger als 20 % zum Gesamt-TEQ bei (vgl. Abb. 18).

Im Rahmen dieses Projektes des Josef-Vogl-Technikums werden mehrere weitere bayerische Müll- und auch Sondermüllverbrennungsanlagen beprobt. Bei allen Anlagen werden Emissionsmessungen im Anfahrbetrieb durchgeführt, um festzustellen, ob während dieser Phase gegenüber dem normalen Betrieb erhöhte PCDD/PCDF- und PCB- (einschließlich der dioxinähnlichen PCB) Emissionen auftreten.

2.3.6 Innenraumluft

Im Rahmen dieses Projektes wurden auch mehrere Innenraumluftmessungen in unterschiedlich belasteten Gebäuden durchgeführt. Dies war allerdings bislang nur an ausgewählten Gebäuden möglich. Im weiteren Verlauf ist geplant, weitere Gebäude in Bayern, von denen eine hohe PCB Belastung bekannt ist, zu untersuchen.

Diskutiert wird schon seit längerem, ob eine Bestimmung der dioxinähnlichen PCB in belasteten Innenräumen zu einer anderen Bewertung der Konzentrationen der gemessenen Indikator-kongenerere führen muss. Bislang gelten hier der Vorsorgewerte von 300 ng/m^3 Gesamt-PCB (Summe der 6 Indikator-kongenerere * 5 nach DIN EN 12766-1) sowie der Gefahrenwert von 3000 ng/m^3 Gesamt-PCB [PCB-Richtlinie 1995]. Allerdings liegen zur Zeit wenig Daten über die TEQ Belastung der Raumluft mit dioxinähnlichen PCB vor.

Bislang wurden vom bayerischen LfU in 2 belasteten Innenräumen Immissionsproben genommen. Dabei handelt es sich um 2 verschiedene Hochschulgebäude, bei denen die PCB Belastung bekanntermaßen durch den Einbau von Wilhelmi-Deckenplatten hervorgerufen wird, welche hochchlorierte PCB-Mischungen als Flammschutzmittel in den Anstrichen enthalten. Im zweiten Gebäude scheint allerdings auch noch eine andere PCB Quelle vorzuliegen. Die Luftprobenahme wurde mittels eines High-Volume-Sammlers durchgeführt, mit dem über Nacht die PCB-Probenahme auf Polyurethan-Schaum erfolgte. Bestimmt wurden nach Extraktion und Aufarbeitung sowohl die 6 Indikator-kongenerere, die 12 dioxinähnlichen PCB, sowie die 17 Dioxin- und Furan-Kongenerere.

Die Ergebnisse der beiden Innenraumluftproben zeigen für die Indikator-PCB eine Belastung von 1250 bzw. 1380 ng/m^3 Gesamt-PCB. Betrachtet man allerdings die Verteilung innerhalb der Indikator-kongenerere (Abb. 19), so sind Unterschiede zwischen den beiden Innenräumen festzustellen. Probe 1 – hier gelb dargestellt – zeigt die typische Homologen-Verteilung einer PCB Belastung durch Wilhelmi-Platten mit einem Maximum bei PCB 153.

Im anderen Raum, in dem Probe 2 genommen wurde – hier rot dargestellt – scheint neben den Wilhelmi-Deckenplatten noch eine zweite PCB

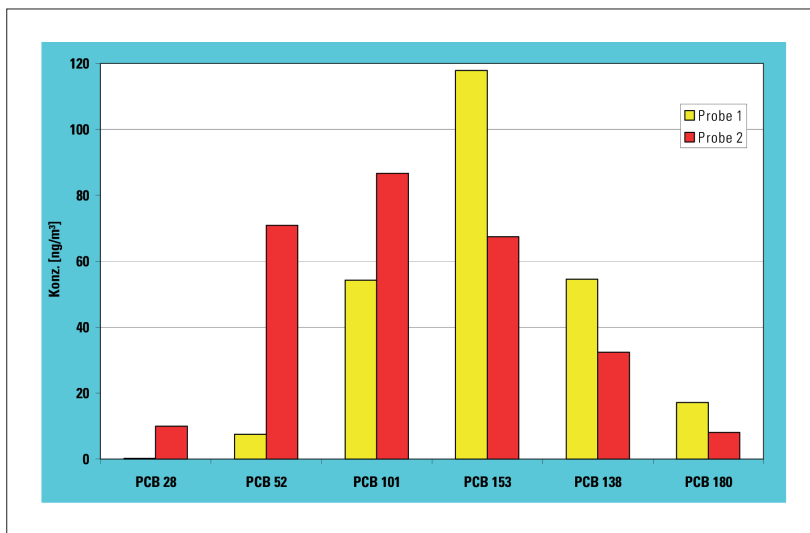


Abb. 19: Homologenverteilung der PCB Indikator-kongenerere in 2 Proben von belasteten Innenräumen

Quelle, wahrscheinlich Fugendichtungsmaterial, vorzuliegen. Hier sind die Kongenerere 52, 101 und 153 relativ gleichverteilt, was auf eine zusätzliche Belastung mit niedriger chlorierten PCB hindeutet. Bei beiden Proben ist der Gefahrenwert von 3000 ng/m^3 Gesamt-PCB allerdings nur zu etwa 40 % erreicht.

Im Bereich der dioxinähnlichen PCB unterscheiden sich die Proben hinsichtlich ihrer Verteilung nach mono-ortho und nicht-ortho-substituierten PCB. Probe 1 hat deutlich höhere Konzentrationen an non-ortho PCB als Probe 2, die im Rahmen von 40 pg/m^3 liegen. Dagegen hat Probe 2 höhere Konzentrationen an mono-ortho-substituierten PCB, die insgesamt bei 24 ng/m^3 liegen.

Aus den vorliegenden Konzentrationen an dioxinähnlichen PCB sowie Dioxinen und Furanen ergeben sich die folgenden Toxizitätsäquivalente. Probe 1 weist einen Gesamt-TEQ einschließlich der Dioxine und Furane von 5.9, Probe 2 von 4.8 pg/m^3 auf. Bei beiden Proben machen die dio-

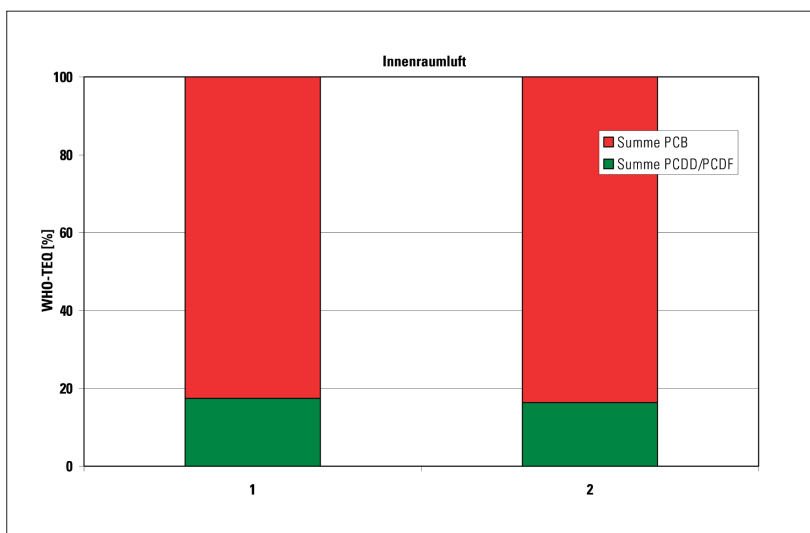


Abb. 20: TEQ-Beitrag der PCB zum Gesamtoxitätsäquivalent in belasteten Innenräumen

xinähnlichen PCB einen Anteil von über 80 % am Gesamt-Toxizitätsäquivalent aus (Abb. 20). Die Daten zu den einzelnen Kongeneren finden sich im Anhang in Tabelle 20.

Die WHO empfiehlt für dioxinähnliche Verbindungen eine maximale tägliche Aufnahme von 1 pg TEQ pro kg Körpergewicht pro Tag. Dies bedeutet, dass wenn sich ein erwachsener Mensch von ca. 70 kg Körpergewicht 24 h in einem Raum aufhält und so ein Atemvolumen von ca. 20 m³ inhaliert, so darf die Raumlufkonzentration an Toxizitätsäquivalenten maximal 4.7 pg/m³ betragen, wenn man für die PCB eine pulmonale Resorptionsrate von 0,75 annimmt. Damit ist die tolerierbare tägliche Aufnahme von 1 pg TEQ/kg KG pro Tag allein durch die PCB-Belastung der Raumluf ausgeschöpft. Das heißt, in beiden untersuchten Proben wäre die tolerierbare tägliche Aufnahme an TEQ allein durch die Raumlufkonzentrationen

überschritten, obwohl der Gefahrenwert für PCB nur zu 40 % erreicht ist.

In den beiden untersuchten Innenräumen entspricht eine Raumlufkonzentration von 1000 ng Gesamt-PCB in etwa einer TEQ Belastung von 3-3.5 pg/m³. In einer Studie aus der Schweiz (EMPA) [KÖHLER et al. 2002] wurde gefunden, dass 1000 ng Gesamt PCB nur 0.3 bis 1.2 pg TEQ/m³ entsprechen. Allerdings waren die damals untersuchten Gebäude durch Fugendichtungsmassen mit niedriger chlorierten PCB-Gemischen belastet.

Die bislang erhobenen Daten zeigen also, dass für eine Beurteilung der Innenraumlufbelastung mit PCB die Art der PCB-Quelle und damit vor allem der Chlorierungsgrad der verwendeten PCB-Mischung zu berücksichtigen sind. Nur so kann eine realistische Einschätzung des Risikos, das von belasteter Innenraumluf ausgeht, gegeben werden.

3 Diskussion

3.1 Qualitätssicherung

Für eine abgesicherte Analytik im Ultraspurenbereich ist die Qualitätssicherung innerhalb der Probenvorbereitung und der sich anschließenden Messanalytik unabdingbar. Daher wurden sowohl interne als auch externe Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt. Die im Rahmen der Akkreditierung des Laborbereiches für die PCDD/PCDF-Analytik seit 2001 umgesetzten internen Qualitätssicherungsmaßnahmen wurden nun auch auf die Indikator-PCB sowie die dioxinähnlichen PCB ausgeweitet.

Die monatliche Aufarbeitung des Klärschlammreferenzmaterials auch auf dioxinähnliche und Indikator-PCB hat gezeigt, dass die Ergebnisse innerhalb des Jahresverlaufs sehr gut miteinander übereinstimmen. Daher ist eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse innerhalb der Probenvorbereitung und Messanalytik gewährleistet. Die Relevanz einer regelmässigen Bestimmung der Labor-

der zu untersuchenden Matrices auf Futtermittel und Kuhmilch sowie Fischproben wird das LfU Zentrallabor im Jahr 2003 zusätzlich an einem internationalen Ringversuch zur Bestimmung der dioxinähnlichen PCB und der PCDD/PCDF in Nahrungsmitteln teilnehmen. Im Rahmen dieses Ringversuches werden eine Fischprobe und eine Käseprobe untersucht werden.

3.2 Pflanzenproben

Die systematische Untersuchung der Pflanzenproben des Jahres 2001 konnte die ersten Ergebnisse der exemplarisch aufgearbeiteten Weidelgrasproben von 2000 bestätigen. Dioxinähnliche PCB waren in allen untersuchten Weidelgras- und Grünkohlproben nachzuweisen. Es hat sich bestätigt, dass der Beitrag der dioxinähnlichen PCB in den Pflanzenproben keinesfalls zu vernachlässigen ist, sondern dass im Gegenteil in vielen Proben die dioxinähnlichen PCB den WHO TEQ dominieren. Dies führt zu einem mittleren Beitrag der PCB zum Gesamt-TEQ von 44 % für Grünkohl bzw. 59 % für Weidelgras.

Tab. 5: Anteil der PCB am Gesamt-TEQ, sowie PCB TEQ und PCDD/PCDF TEQ in den Pflanzenproben der Standorte Augsburg und Kulmbach.

PCB Anteil am TEQ [%]	Weidelgras 1	Weidelgras 2	Weidelgras 3	Grünkohl 1	Grünkohl 2
Augsburg	71	62	65	80	38
Kulmbach	80	64	33	65	29
PCB TEQ [ng/kg]					
Augsburg	1.7E-01	1.7E-01	2.2E-01	9.0E-02	1.9E-01
Kulmbach	2.4E-01	2.1E-01	7.8E-02	1.3E-01	2.2E-01
PCDD/F TEQ [ng/kg]					
Augsburg	6.9E-02	1.0E-01	1.2E-01	2.2E-02	3.1E-01
Kulmbach	6.0E-02	1.2E-01	1.6E-01	7.0E-02	5.3E-01

blindwerte ist bei den teilweise sehr geringen Konzentrationen einiger PCB-Kongeneren in den Pflanzenproben offensichtlich. Diese beiden internen Qualitätssicherungsmaßnahmen allein führen zu einem jährlichen Probenaufkommen von mindestens 24 Proben. Desweiteren kommen Blindwertbestimmungen an verschiedenen Probenvorbereitungsmodulen wie der HPLC-Anlage oder auch der beschleunigten Lösemittelextraktion (ASE, accelerated solvent extraction) hinzu.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse des LfU Zentrallabors mit denen anderer Laboratorien unter Beweis zu stellen, wird eine regelmässige Teilnahme an Ringversuchen angestrebt. Im letzten Jahr konnten zwei Ringversuche zu den dioxinähnlichen PCB erfolgreich absolviert werden. Auf nationaler Ebene wird zur Zeit nur ein Ringversuch zur Bestimmung der dioxinähnlichen PCB angeboten, bei dem auch in diesem Jahr Klärschlammproben zu analysieren sind. Auch innerhalb des internationalen Ringversuches der Universität Umeå in Schweden werden 2003 wieder drei Sedimentproben auf dioxinähnliche PCB untersucht. Durch die geplante Ausweitung

Auffällig ist hier der geringere Anteil der PCB in den Pflanzenproben, die im Fortlauf des Jahres beprobt werden. Der Trend, der schon innerhalb der Matrix Grünkohl zwischen den beiden Probenahmen des gleichen Standortes offensichtlich wurde, setzt sich auch für alle Pflanzenproben eines Standortes fort. Vergleicht man den Beitrag der dioxinähnlichen PCB zum Gesamt-TEQ für einen bestimmten Standort, so wird dieser immer geringer, je später im Jahr die Pflanzenprobe-

Tab. 6: Vergleich der PCB und PCDD/PCDF TEQ der Weidelgrasproben 2000 und 2001

	PCB TEQ	PCDD/PCDF TEQ	Anteil der PCB am Gesamt-TEQ [%]
München 2000 - 2. PN	1.00	0.38	73
München 2001 - 2. PN	0.67	0.16	80
München 2000 - 3. PN	0.79	0.43	65
München 2001 - 3. PN	0.46	0.35	57
Augsburg 2000 - 2. PN	0.19	0.12	62
Augsburg 2001 - 2. PN	0.17	0.10	60

nahme erfolgt. Ursache hierfür ist jedoch nicht der geringere PCB TEQ durch geringere Konzentrationen in der Gasphase aufgrund niedrigerer Außentemperaturen, wie zunächst vermutet. Der PCB TEQ ist in den untersuchten Pflanzenproben (Weidelgras und Grünkohl) eines Standortes nahezu gleich. Allerdings steigt im Fortlauf des Herbstes der PCDD/PCDF TEQ signifikant um einen Faktor 5 bis Faktor 10 je nach Standort an (Tab. 5).

Eine Ursache hierfür kann in verstärkt auftretenden Emissionen durch Heizungen und andere Kleinf Feuerungsanlagen festgemacht werden. Dieser Trend spiegelt sich auch in den Immissions- und Depositionsproben wieder, die im Rahmen des Projektes zur „Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern“ seit Juli 2002 an den Dauerbeobachtungsstationen in Augsburg und Kulmbach genommen wurden.

Aus dem Jahr 2000 konnten zu Beginn des Projektes exemplarisch für die Pflanzenproben nur drei Weidelgrasproben auf dioxinähnliche PCB untersucht werden, da die Hauptarbeit am Anfang in der Entwicklung der Methoden zur parallelen Bestimmung der PCDD/PCDF und der WHO PCB steckt. Bei diesen drei Proben handelt es sich um die zweite und dritte Probenahme der Weidelgräser von der Dauerbeobachtungsstation (DBS) am Isarring in München, sowie die zweite Probenahme an der DBS in Augsburg. Die Ergebnisse dieser drei untersuchten Proben werden in Tabelle 6 den entsprechenden Daten von 2001 gegenüber gestellt.

Betrachtet man für den Standort München die beiden Probenahmen des jeweiligen Jahres, so ist auch hier ein deutlicher Trend zu einem niedrigeren PCB Beitrag zum Gesamt-TEQ bei der dritten Probenahme im Fortlauf des Herbstes zu erkennen. Für diesen Standort hat hier allerdings nicht nur eine Zunahme des PCDD/PCDF TEQ stattgefunden, sondern auch eine Abnahme des PCB TEQ. Dies gilt sowohl für das Jahr 2000 als auch für das Jahr 2001. Generell liegen die TEQ Werte sowohl der PCB als auch der PCDD/PCDF im Jahr 2001 geringer als im Jahr 2000. Der Beitrag der PCB zum Gesamt-TEQ hat sich dagegen für beide Probenahmen von 2000 zu 2001 nicht wesentlich verändert.

Vergleicht man die beiden Proben aus 2000 und 2001 von der DBS in Augsburg so ist sowohl im PCDD/PCDF TEQ als auch im PCB TEQ kein merklicher Unterschied festzustellen. Daher ist auch der Beitrag der PCB zum Gesamt-TEQ hier annähernd gleich bei rund 60 %. Offensichtlich müssen bei der Betrachtung standortspezifischer Unterschiede hier die Proben aus dem gleichen Expositionszeitraum der verschiedenen Jahre miteinander verglichen werden, um nach verschiedenen örtlichen Einflüssen differenzieren zu können.

Der durchschnittliche WHO TEQ – PCDD/PCDF und dioxinähnliche PCB - in den Weidelgraspro-

ben beträgt 0.30 ng/kg Trockensubstanz, für die Grünkohlproben 0.39 ng/kg. Diese für sich gering erscheinenden Konzentrationen in den Pflanzenproben führen jedoch im Verlauf der Nahrungskette zu einer erheblichen Anreicherung. Ausgehend von einer tolerierbaren Tagesdosis von 70 pg TEQ/Mensch (TDI nach WHO: 1 pg TEQ/(kg KG*d)), der Annahme, dass die Hälfte davon (35 pg) mit 50 g Milchfett/Tag (= 35 pg/50 g = 0.7 ng/kg) aufgenommen wird und eine Kuh insgesamt 1 kg Milchfett/Tag liefert, und bei weiterer Annahme eines Carry over für PCDD/PCDF von 35 %, ergibt sich schließlich die tolerierbare Tagesmenge von 2 ng TEQ/Milchkuh, die dann in 17.5 kg Futtertrockenmasse/Tag vorhanden sein darf. Daraus leitet sich rechnerisch eine tolerierbare Konzentration von 0.1 ng/kg Milchkuhfuttertrockenmasse ab [HAPKE 2003]. Die Gehalte der untersuchten Pflanzenproben aus dem Biomonitoring liegen also deutlich über der Konzentration an TEQ, die in Futtermitteln enthalten sein dürfen, wenn dieses Modell zur Akkumulation innerhalb der Nahrungskette zugrunde gelegt wird.

Da die zum Biomonitoring verwendeten Pflanzenproben in Töpfen in ca. 80 cm Höhe über dem Boden exponiert werden, muss allerdings noch geklärt werden, ob aufgrund der unterschiedlichen Anströmb arkeit gegenüber Pflanzen auf dem Boden höhere TEQ Konzentrationen in den hier untersuchten Pflanzenproben vorliegen können. Daher wird dieses Jahr gleichzeitig zur Probenahme der Weidelgräser im Sommer, das Gras auf dem Boden der Dauerbeobachtungsstationen exemplarisch an 2 Standorten gemäht und ebenfalls auf PCDD/PCDF und dioxinähnliche PCB untersucht.

3.3 Weitere Umweltmatrices

3.3.1 Klärschlamm

Die Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB und der TEQ der PCDD/PCDF in den 10 untersuchten Klärschlammproben aus Baden-Württemberg liegen in einem ähnlichen Bereich wie sie normalerweise bei kommunalen Kläranlagen in Deutschland und anderen europäischen Ländern vorkommen [STEVENS et al. 2001]. Obwohl sich die beprobten Kläranlagen deutlich in ihrer Größe, in der Aufreinigungstechnologie und der Zusammensetzung des Abwassers unterscheiden, sind sich die untersuchten 10 Klärschlämme in den PCDD/PCDF- und PCB- Konzentrationen ähnlich. Dies betrifft sowohl die Indikatorkongenere als auch die dioxinähnlichen PCB. Dennoch führen geringe Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Proben beim PCB Beitrag zum Gesamt-TEQ zu Unterschieden in den einzelnen Proben, sodass der PCB Anteil zwischen 29 und 64 % liegt.

Die Konzentrationen der non-ortho PCB 77 und 126 liegen im gleichen Bereich, wie sie in Klärschlammproben aus der Schweiz gefunden wurden [BERSET & HOLZER 1996], allerdings ist die Konzentration des PCB 169 deutlich geringer. In

den hier untersuchten 10 Klärschlämmen hat PCB 169 eine durchschnittliche Konzentration (Medianwert) von 13 ng/kg, während die Daten aus der Schweizer Studie auf eine deutlich höhere Konzentration von 45 ng/kg hinweisen. Allerdings wurden in Proben, die 1998 in Großbritannien genommen wurden, wiederum höhere Konzentrationen von PCB 77 gefunden, dagegen waren dort die Werte für PCB 126 und PCB 169 signifikant geringer. Daher war der Beitrag der non-ortho PCB in diesen Proben auch deutlich geringer und lag nur bei 2 - 7 ng/kg.

Selbst bei Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB wurde der nach der Klärschlammverordnung geltende Grenzwert für PCDD/PCDF von 100 ng I-TEQ/kg TS in keiner der untersuchten Proben annähernd erreicht. Allerdings können diese Ergebnisse nicht verallgemeinert werden. So wurden bei einer Untersuchung von zwei Klärschlämmen in Nordrhein-Westfalen unauffällige PCDD/PCDF-Gehalte gefunden aber bei einer Probe sehr hohe Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB von 100 ng TEQ/kg [HIESTER 2003]. Auch bei einer Probe der britischen Studie wurden extrem hohe PCB-Gehalte bei durchschnittlichen PCDD/PCDF-Mengen gefunden [STEVENS et al. 2001]. Offensichtlich können lokale PCB-Quellen eine hohe Belastung von Klärschlamm verursachen.

3.3.2 Kompost

Im Rahmen eines Projektes im Referat 3/3 wurden im letzten Jahr 22 bayerische Kompostierungsanlagen beprobt. Jede Anlage wurde im Rahmen dieses Projektes zweimal zu unterschiedlichen Jahreszeiten beprobt. Zwei dieser Beprobungsserien wurden neben PCDD/PCDF und Indikator PCB auch auf dioxinähnliche PCB untersucht. Es zeigte sich, dass der PCB Beitrag zum Gesamt-TEQ im Kompost mit einem Medianwert von 30 % niedriger als im Klärschlamm liegt. Auch konnte kein Unterschied zwischen den beiden Typen von Anlagen, ausschließlich Grüngut kompostierenden Betrieben oder Bioabfall gemischt mit Grüngut kompostierenden Anlagen, ausgemacht werden. Ein Vergleich der PCB TEQ zwischen den beiden Beprobungsserien hat bei den meisten Anlagen keinen Unterschied feststellen lassen. Auch der PCDD/PCDF TEQ bei der zweiten Beprobung hat sich nicht wesentlich verändert, so dass der PCB Beitrag zum Gesamt-TEQ in den untersuchten Anlagen ähnlich liegt.

3.4 Innenraumluf

Zwischen 1960 und 1975 wurden in Deutschland und anderen Ländern bei der Errichtung von Gebäuden in Betonfertigbauweise polychlorierte Biphenyle in offenen Anwendungen eingesetzt. Dauerelastische Fugendichtungsmassen enthielten bis zu 40 % PCB als Weichmacher. Zusätzlich wurden in diesem Zeitraum Anstriche für Deckenplatten, sogenannte Wilhelmi-Platten verwendet, die PCB als Flammschutzmittel enthalten. Da die PCB aus diesen Materialien kontinuierlich ausgasen, können sie so zu einer Belastung der Raumluft führen. Bei einem 24-stündigen Aufenthalt gelten bisher ein Vorsorgewert von 300 ng/m³ Gesamt-PCB nach DIN und ein Gefahrenwert von 3000 ng/m³. Bislang ist nicht ausreichend geklärt, inwieweit sich unter Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB und einer in Deutschland derzeit geltenden duldbaren täglichen Aufnahme an Gesamt-TEQ (tolerable daily intake, TDI) von 1 pg WHO-TEQ/kg Körpergewicht (KG) die Bewertung der PCB-Belastung in Innenräumen ändern muss. Erste Daten aus zwei belasteten Hochschulgebäuden zeigen allerdings, dass in diesen Räumen eine Beurteilung der PCB Belastung nur über die Indikatorkongenere keinesfalls ausreichend ist. Obwohl der Gefahrenwert der PCB-Gesamtbelastung jeweils nur zu 40 % ausgeschöpft war, lag in beiden untersuchten Räumen eine TEQ Belastung durch PCB von 4.0 bzw. 4.9 pg/m³ vor. Die Belastung durch PCDD/PCDF lag bei 0.78 und 1.0 pg TEQ/m³. Nach den Ergebnissen der durchgeführten Raumlufmessungen wäre also bei Berücksichtigung der dioxinähnlichen PCB der aus dem geltenden TDI für Gesamt-TEQ abgeleitete Gefahrenwert von 4.7 pg TEQ/m³ bereits überschritten obwohl der für Gesamt-PCB derzeit geltende Gefahrenwert nur zu 40 % ausgeschöpft ist.

Daher muss bei der Beurteilung der PCB Belastung von Innenräumen auf jeden Fall nach der Art der PCB-Quelle im Gebäude unterschieden werden. Bei den flammhemmenden Anstrichen der Deckenplatten wurden hochchlorierte PCB-Gemische eingesetzt die in der Raumluft zu einer anderen Kongenerenverteilung führen als die PCB-Mischungen niedrigeren Chlorierungsgrades in Fugendichtungsmassen. Geplant ist in der Fortführung des Projektes die Untersuchung weiterer belasteter Innenräume auf dioxinähnliche PCB, um die ersten Messungen zu bestätigen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Aus den Untersuchungen des Projektes wird deutlich, dass in Pflanzenproben und anderen Umweltmatrices wie Kompost und Klärschlamm sowie in Innenraumluftproben dioxinähnliche PCB nachweisbar sind. Tabelle 7 gibt einen Überblick über den Anteil der dioxinähnlichen PCB am Gesamttoxizitätsäquivalent aus PCDD/PCDF und PCB für die verschiedenen untersuchten Matrices.

Tab. 7: Zusammenfassung des Beitrages der dioxinähnlichen PCB zum Gesamttoxizitätsäquivalent

WHO PCB	TEQ min [%]	TEQ max [%]	TEQ Median [%]
Weidelgras (25)	19	81	60
Grünkohl (18)	21	80	35
Fichtennadeln (5)	36	72	54
Klärschlamm (10)	30	64	54
Kompost (22)	20	53	28

Der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zum Gesamt WHO-TEQ bestehend aus Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB liegt in den Pflanzenproben zwischen 20 und 80 %. Auch im Klärschlamm leisten die dioxinähnlichen PCB einen Beitrag von 30 bis 60 % zum WHO-TEQ, im Kompost zu 20-50 %.

Von den zwölf dioxinähnlichen PCB beschränkt sich der Hauptanteil am TEQ der PCB auf insgesamt 4 Kongenere: In den meisten untersuchten Matrices haben die Kongenere 126, 156, 118 und 105 den größten Anteil am TEQ der dioxinähnlichen PCB (vgl. Abb. 21).

Allerdings konnte aus den bislang untersuchten Proben kein konstantes Verhältnis des WHO TEQ oder der Konzentration der dioxinähnlichen PCB zu einer anderen in Umweltmatrices routi-

nemäßig bestimmten Größe abgeleitet werden. Es hat sich gezeigt, dass auch innerhalb einer Matrix der Beitrag der dioxinähnlichen PCB zum Gesamt-TEQ von Probe zu Probe deutlich schwankt. Diese Unterschiede konnten bislang, da bei den Pflanzenproben nur jeweils ein Jahrgang systematisch auf dioxinähnliche PCB untersucht wurde, noch nicht anderen Einflüssen wie Standortabhängigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Niederschlagsmenge während der Probenahme zugeordnet werden. Eine mögliche Korrelation der Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB mit einer anderen Größe, wie dem TEQ der PCDD/PCDF oder der Konzentration an Indikator-PCB muss geprüft werden, um ggfs. den zusätzlichen Aufwand der Analytik zur Bestimmung der dioxinähnlichen PCB möglichst gering zu halten. Dazu ist jedoch eine umfangreiche Datenbasis notwendig.

Als Pflanzenmatrices konnten bislang nur die Grünkohl- und Weidelgras-Serien des Jahres 2001 komplett auf dioxinähnliche PCB untersucht werden. Standortspezifische Unterschiede lassen sich jedoch erst erkennen, wenn diese Pflanzen über mehrere Jahre untersucht werden. Auch bei den Fichtennadeln konnten exemplarisch bislang nur 10 Proben analysiert werden. Mögliche Unterschiede zwischen der Frühjahr- und Herbst-Beprobung zu erkennen, wird erst möglich, wenn eine größere Probenanzahl aufgearbeitet wird. Aus der bislang erhobenen Datengrundlage deutet sich ein Unterschied im TEQ-Beitrag der dioxinähnlichen PCB zwischen Weidelgräsern (Sommer) und Grünkohl (Winter) an, der aufgrund des verschiedenen Anteils der PCB in der Gasphase und/oder durch erhöhte Dioxin- und Furan-konzentrationen bedingt durch Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen auftreten könnte; doch auch diese These muss durch die Untersuchung weiterer Proben unterstützt werden.

Im Rahmen des LfU-Statuskolloquiums „Dioxinähnliche PCB in der Umwelt“ am 13./14. Januar 2003 wurde aufgrund der von der WHO festgesetzten duldbaren täglichen Aufnahme (TDI, tolerable daily intake) von 1-4 pg TEQ/kg Körpergewicht pro Tag unter Einbeziehung der dioxinähnlichen PCB nach einem Modell zur Anreicherung in der Nahrungskette ein Höchstwert nur für PCDD/PCDF von 0,1 ng TEQ/kg für Futtermittel abgeleitet. Betrachtet man die ermittelten TEQ-Werte in den Weidelgrasproben des Jahres 2001, so wird dieser Wert unter Einbeziehung der dioxinähnlichen PCB jedoch überschritten. Hier wird durch die Untersuchung von Gras der Wiesenflächen neben den exponierten Pflanzenproben aus dem gleichen Zeitraum geklärt werden, ob durch die erhöhte Exposition der Weidelgräser und somit veränderte Anströmbarekeit eine vergleichbare Anreicherung der PCB und PCDD/PCDF stattfindet wie dies bei Futterpflanzen auf dem Boden der Fall ist.

Erste Ergebnisse deuten daraufhin, dass der PCB Beitrag in Immissions- und Depositionsproben geringer ist als in den Pflanzenproben. Dies muss jedoch durch Probenahmen zur gleichen Zeit und

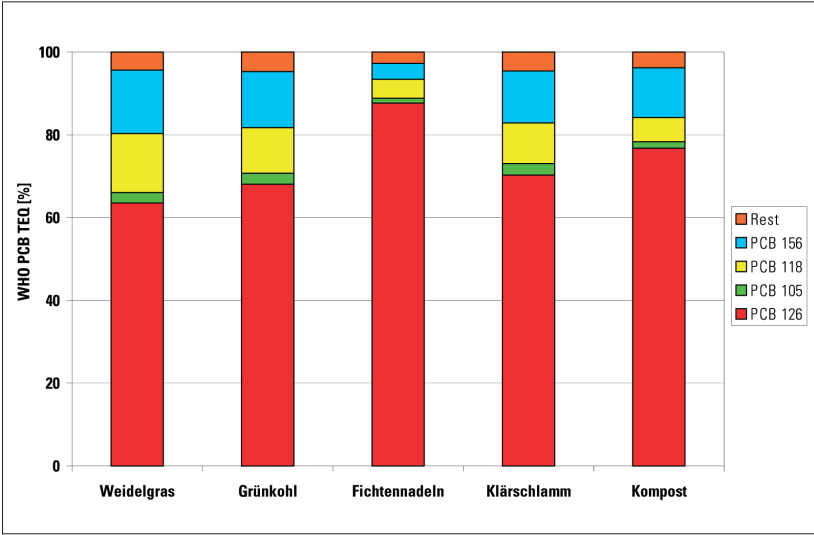


Abb. 21: Beitrag der einzelnen dioxinähnlichen PCB zum Toxizitätsäquivalent der PCB

am gleichen Standort bestätigt werden. Hierzu können Synergieeffekte mit dem laufenden DIMM-Projekt (Nr. 7050) zur „Ermittlung der Immissionsbelastung durch polychlorierte Dioxine (PCDD) und Furane (PCDF) sowie dioxinähnliche PCB in Bayern“ genutzt werden.

Um die Frage der Akkumulation von non- und mono-ortho PCB innerhalb der Nahrungskette zu klären, muss der Verbleib der dioxinähnlichen PCB innerhalb von terrestrischen Nahrungsketten weiter verfolgt werden. Daher werden die Untersuchungen auf Futterpflanzen, Futtermittel und Kuhmilchproben ausgeweitet werden.

Ebenfalls im Rahmen des Projektes wird im LfU Zentrallabor das Fischmonitoring des LfW auf Dioxine und Furane fortgeführt und auf die Bestimmung dioxinähnlicher PCB ausgeweitet.

Abschließend soll aufgrund der umfangreichen Untersuchungen der Verbleib der dioxinähnlichen PCB in verschiedenen Umweltbereichen sowie in der Nahrungskette dokumentiert werden. Möglicherweise ergeben sich andere Transferfaktoren der dioxinähnlichen PCB bezüglich einer Anreicherung in der Nahrungskette als für PCDD/PCDF und Indikator PCB.

5 Literatur

- ABEL, J. (1987): 2,3,7,8-TCDD-Intoxikation beim Menschen. VDI Berichte Nr. 634, 487-501
- ALCOCK R.E., BEHNISCH P.A., JONES K.C., HAGEN-MAIER H. (1998): Dioxin-like PCBs in the environment – human exposure and the significance of sources. *Chemosphere* 37, 1457-1472
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (1993): Dioxine und Furane
- BERSET J.D., HOLZER R. (1996): Determination of coplanar and ortho substituted PCBs in some sewage sludges of Switzerland using HRGC/ECD and HRGC/MSD, *Chemosphere* 32, 2317-2333
- DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (1988): Polychlorierte Biphenyle – Bestandsaufnahme über Analytik, Vorkommen, Kinetik und Toxikologie, VCH Weinheim
- EUROPEAN COMMISSION, HEALTH AND CONSUMER PROTECTION DIRECTORATE-GENERAL (2000) Report on tasks for scientific cooperation. Report of experts participating in task 3.2.5: Assessment of dietary intake of dioxins and related PCB by the population of EU member states. http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/pub/pub08_en.pdf
- GASS H.C., LÜDER K., WILKEN M. (2002): PCDD/F-Emissions during cold start-up and shut-down of a municipal waste incinerator, *Organohalogen Compounds* 56, 193-196
- HAPKE H.-J. (2003): Schwellenwerte für Dioxine in der Nahrungskette, in Tagungsband zur Fachtagung Dioxinähnliche PCB in der Umwelt, 11-12, LfU Augsburg 13./14. Januar 2003
- HIESTER E. (2003): Immissionsbelastung durch PCB und PCDD/PCDF in Nordrhein-Westfalen (NRW), in Tagungsband zur Fachtagung Dioxinähnliche PCB in der Umwelt, 19-28, LfU Augsburg 13./14. Januar 2003
- KOHLER M., ZENNEGG M., WAEGER R. (2002). Coplanar polychlorinated biphenyls (PCB) in indoor air. *Environ. Sci. Technol.* 36, 4735-4740
- KOMMISSION (2001): Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament und den Wirtschafts- und Sozialausschuss. Strategie der Gemeinschaft für Dioxine, Furane und polychlorierte Biphenyle. Brüssel, 24.10.2001
- PCB-RICHTLINIE (1995): ARGE BAU Mitteilungen des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin 2/1995
- STEVENS J., GREEN N.J.L., JONES K.C. (2001): Survey of PCDD/Fs and non-ortho PCBs in UK sewage sludges, *Chemosphere* 44, 1455-1462
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Daten zur Umwelt 2000. Umweltbundesamt (Hrsg.). Erich Schmidt Verlag, Berlin, ISBN 3-503-05973-3
- VAN DEN BERG M, BIRNBAUM L, BOSVELD ATC, BRUNSTRÖM B, COOK P, FEELEY M et al. (1998): Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for humans and wildlife. *Environ. Health. Persp.* 106, 775-792
- WALLER U. (1995): Untersuchung von Elbsedimenten auf toxische Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Polychlorierte Dibenzodioxine/Furane (PCDD/PCDF). Diplomarbeit. Fachhochschule Hamburg, Fachbereich Chemieingenieurwesen

Danksagung

Für die Unterstützung bei der Probenahme der Innenraumlufthproben möchten wir uns bei Frau Simone Bahner und Herrn Dieter Heitmann herzlich bedanken. Ein großer Dank geht an die Kolleginnen und Kollegen vom Josef-Vogl-Technikum – Frau Magdalena Schindler, Herrn Heinz Riedel, Herrn Thomas Bogner und Frau Ines Przybilla - für ihren oft tagelangen Einsatz bei der Probenahme der Emissionsproben an den Abfallverbrennungsanlagen. Herrn Dr. Thomas Bittl vom Josef-Vogl-Technikum möchten wir für das Überlassen der Kompostproben danken. Für die Probenahmen der Pflanzenproben – Weidelgras, Grünkohl und Fichtennadeln – möchten wir uns bei den Kolleginnen und Kollegen der Referate PS3 und K7, Herrn Heiner Binniker, Herrn Michael Raasch, Herrn Dieter Piechaczek und Frau Dr. Jutta Köhler bedanken.

Bei Herrn Dr. Bertram Kuch vom Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart möchten wir uns herzlich für das Überlassen der Klärschlammproben aus Baden-Württemberg bedanken.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern vom LfU-Zentrallabor - Frau Christa Büker, Frau Karen Heinrich, Herrn Oswald Kaiser, Frau Andrea Kotnig, Frau Brigitte Krischke und Frau Sandra Rössler danken wir für ihr Engagement in der Probenaufarbeitung und der Vorbereitung der Probenahmematerialien.

Ein weiterer Dank gilt Frau Irmgard Lachenmair und Herrn Ulrich Waller für die Unterstützung im GC/MS-Labor.

Dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen möchten wir sehr herzlich für die Finanzierung dieses Projektes danken.

6. Anhang

6.1. Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB und Indikatorkongenere

6.1.1. Qualitätssicherung

Tab. 8: Konzentrationen der PCB [ng/g] des Laborreferenzmaterials

Konz. [ng/g]	Median (n=10)	0102	0202	0302	0402	0502	0602	0702	0802	0902	1002	1102	1202	0103	0203
PCB28	14	16	ND	25	23	20	20	18	17	16	14	18	14	18	13
PCB52	12	8.7	ND	11	11	14	13	12	12	11	9.3	14	8.7	9.1	10
PCB101	16	15	ND	22	21	22	20	24	24	21	18	18	13	16	19
PCB138	21	24	ND	31	31	27	26	31	35	30	27	25	26	20	23
PCB153	33	41	ND	48	46	44	41	50	60	47	42	45	45	33	37
PCB180	18	19	ND	23	21	23	20	22	24	20	17	17	17	14	16
PCB105	2.0	2.1	2.1	2.3	2.3	2.1	2.1	1.8	2.2	2.1	1.9	2.2	2.1	1.7	1.4
PCB114	0.077	ND	ND	0.091	0.096	0.078	0.091	0.100	0.091	0.077	0.079	0.081	0.123	0.074	0.067
PCB118	5.1	5.1	6.9	7.2	7.6	6.9	6.8	7.4	8.0	8.5	6.3	6.7	8.1	5.9	5.2
PCB123	0.43	0.41	ND	0.49	0.52	0.58	0.53	0.56	0.56	0.43	0.47	0.49	0.52	0.37	0.32
PCB156	2.1	2.8	3.5	2.5	2.3	2.4	2.4	2.2	3.1	2.3	2.3	2.5	2.8	2.1	2.1
PCB157	0.24	0.30	0.27	0.25	0.24	0.28	0.30	0.22	0.30	0.25	0.24	0.25	0.29	0.23	0.20
PCB167	1.00	1.17	1.56	1.10	1.07	1.13	1.16	0.96	1.28	0.95	1.01	0.92	1.13	0.91	0.91
PCB189	0.38	0.44	0.78	0.40	0.35	0.42	0.43	0.39	0.51	0.36	0.36	0.32	0.41	0.35	0.29
PCB 77	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.9	1.0	0.8	0.6	1.2	1.4	1.0	0.7
PCB 81	0.039	0.038	0.038	0.035	0.033	0.039	0.046	0.043	0.043	0.024	0.032	0.035	0.046	0.027	0.055
PCB 126	0.040	0.039	0.039	0.060	0.067	0.054	0.064	0.055	0.058	0.047	0.054	0.054	0.060	0.049	0.042
PCB 169	0.0083	0.0112	0.0106	0.0095	0.0086	0.0086	0.0091	0.0069	0.0086	0.0093	0.0103	0.0089	0.0090	0.0079	0.0062

Tab. 9: Laborblindwerte in ng/Probe

Blindwert [ng/Probe]	0202	0302	0402	0502	0602	0702	0802	0902	1002	1102	1202	0103	0203
PCB28	0.40	0.33	0.56	0.45	0.90	0.14	0.97	0.29	ND	0.37	0.37	0.42	0.15
PCB52	ND	0.17	0.22	0.36	0.66	0.27	0.91	0.40	0.18	0.50	0.36	0.62	0.25
PCB101	0.26	0.44	0.51	1.04	1.6	0.83	1.7	0.86	0.62	1.17	0.69	1.21	0.71
PCB138	0.26	0.34	0.54	1.04	1.6	0.67	1.5	0.94	0.82	1.34	0.91	0.80	0.53
PCB153	0.46	0.61	0.84	1.7	2.5	1.2	2.7	1.2	1.3	1.7	1.4	1.4	0.96
PCB180	0.16	0.27	0.36	0.64	0.71	0.39	0.60	0.44	0.48	0.46	0.32	0.44	0.32
PCB105	ND	0.025	0.027	0.095	0.081	0.013	0.115	0.050	0.040	0.110	0.214	0.062	0.025
PCB114	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.096	ND	ND
PCB118	0.44	0.39	0.27	0.44	0.53	0.44	0.64	0.46	0.38	0.65	0.67	0.37	0.16
PCB123	ND	ND	ND	0.050	0.028	ND	ND	ND	0.020	ND	ND	ND	ND
PCB156	ND	0.046	0.047	0.076	0.098	0.050	0.082	0.070	ND	0.15	0.15	0.081	0.049
PCB157	ND	0.0020	ND	0.010	0.0070	0.0040	0.011	ND	ND	0.020	0.093	0.0050	0.0046
PCB167	ND	0.0090	0.032	0.045	0.060	0.023	0.035	0.030	0.030	0.060	0.100	0.045	0.019
PCB189	0.0020	ND	0.011	0.015	0.012	0.0040	0.012	0.010	ND	0.020	0.024	0.013	0.016
PCB 77	ND	0.010	0.042	0.052	0.015	0.052	0.058	0.018	0.019	0.15	ND	0.12	0.11
PCB 81	ND	ND	ND	ND	ND	0.0040	0.0010	ND	ND	0.0063	ND	0.0062	ND
PCB 126	ND	ND	ND	0.0010	ND	ND	0.0020	ND	ND	0.0015	ND	0.0030	0.0050
PCB 169	ND	ND	0.0020	0.0020	ND	ND	0.0010	ND	ND	0.0081	ND	0.0067	0.0070

Tab. 10: Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB [ng/g] – Klärschlammproben des Nationalen Ringversuches (GAM)

Konz. [ng/kg]	Klärschlamm A	Klärschlamm B
PCB 105	1658	2175
PCB 114	29	40
PCB 118	7382	6380
PCB 123	297	131
PCB 156	3538	3744
PCB 157	461	411
PCB 167	1770	1811
PCB 189	662	475
PCB 77	543	501
PCB 81	3.0	30
PCB 126	121	86
PCB 169	23	17

Tab. 11: Konzentrationen der dioxinähnlichen PCB [ng/g] (für Standardlösung: ng/ μ l) – Sedimente und Fischproben des Internationalen Ringversuches (Umea, Schweden)

Konz. [ng/g]	Boden A	Boden B	Boden C	Boden D	Fisch 1	Fisch 2	Lösung [ng/ μ l]
PCB 105	1.9	2.0	20	0.92	0.4	0.45	13
PCB 114	0.060	0.070	0.99	0.030	2.0	2.1	11
PCB 118	4.9	6.7	27	3.4	1.2	1.3	27
PCB 123	0.48	0.69	1.4	0.36	15	16	13
PCB 156	0.98	1.0	0.91	0.99	11	11	25
PCB 157	0.16	0.18	0.15	0.14	2.7	2.8	13
PCB 167	0.50	0.64	0.44	0.53	7.7	8.2	14
PCB 189	0.18	0.17	0.10	0.19	1.5	1.6	13
PCB 77	0.40	0.55	23	0.25	1.340	1.420	11
PCB 81	0.020	0.040	1.3	0.020	0.20	0.21	34
PCB 126	0.021	0.030	0.094	0.032	0.52	0.56	13
PCB 169	0.0040	0.0050	0.0010	0.0060	0.060	0.060	13

Tab. 12: Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongenerenere und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] im Weidelgras

Standort	Eining	Eining	Eining	Scheyern	Scheyern	Scheyern	Grassau	Grassau	München	München	Grassau	München	München	Weihers-brunn	Weihers-brunn	Weihers-brunn
Konz. [µg/kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
PCB 28	3.6E-01	5.4E-01	2.7E-01	2.7E-01	4.4E-01	5.9E-01	7.1E-01	7.1E-01	4.2E-01	4.5E-01	5.1E+00	1.0E+00	1.7E-01	7.2E-01	3.6E-01	
PCB 52	2.6E-01	4.5E-01	1.4E-01	2.7E-01	3.7E-01	7.7E-01	5.7E-01	6.9E-01	2.6E-01	4.0E-01	5.4E+00	7.5E-01	1.0E-01	5.5E-01	3.8E-01	
PCB 101	2.8E-01	5.6E-01	2.3E-01	3.0E-01	5.3E-01	1.5E+00	3.0E-01	9.6E-01	5.9E-01	7.7E-01	2.1E+00	1.3E+00	3.5E-01	5.9E-01	8.6E-01	
PCB 138	3.6E-01	5.8E-01	1.9E-01	3.6E-01	5.6E-01	1.2E+00	2.7E-01	8.9E-01	4.9E-01	1.3E+00	1.5E+00	1.0E+00	3.5E-01	4.9E-01	8.3E-01	
PCB 153	7.9E-01	1.1E+00	2.9E-01	6.2E-01	9.8E-01	1.8E+00	5.1E-01	1.5E+00	8.0E-01	1.7E+00	2.5E+00	1.7E+00	5.9E-01	8.8E-01	1.4E+00	
PCB 180	1.8E-01	2.7E-01	1.6E-01	1.6E-01	2.7E-01	1.1E+00	1.4E-01	3.7E-01	4.1E-01	4.1E-01	6.2E-01	8.3E-01	2.0E-01	2.7E-01	4.9E-01	
6 Indikator-PCB	2.2E+00	3.5E+00	1.3E+00	2.0E+00	3.2E+00	6.8E+00	2.5E+00	5.1E+00	3.0E+00	5.1E+00	1.7E+01	6.6E+00	1.8E+00	3.5E+00	4.4E+00	
PCB nach DIN	1.1E+01	1.7E+01	6.4E+00	1.0E+01	1.6E+01	3.4E+01	1.3E+01	2.6E+01	1.5E+01	2.5E+01	8.6E+01	3.3E+01	9.1E+00	1.8E+01	2.2E+01	
PCB 77	1.2E-02	1.4E-02	8.2E-03	6.2E-03	8.4E-03	7.4E-03	1.1E-02	2.3E-02	7.4E-03	3.9E-02	6.5E-02	3.0E-02	6.8E-03	9.5E-03	1.1E-02	
PCB 81	ND	1.8E-03	4.8E-04	ND	7.6E-04	ND	4.4E-04	2.8E-03	8.2E-04	1.3E-03	8.2E-03	1.8E-03	5.7E-04	1.4E-03	8.9E-04	
PCB 126	2.2E-04	1.6E-03	1.3E-03	4.4E-04	7.6E-04	2.0E-03	9.8E-04	1.2E-03	1.1E-03	3.1E-03	4.7E-03	4.0E-03	7.5E-04	1.1E-03	8.8E-04	
PCB 169	ND	1.1E-04	1.6E-04	ND	1.4E-04	ND	6.5E-05	ND	ND	ND	3.2E-04	ND	4.4E-05	1.4E-04	1.4E-04	
nicht-ortho PCB	1.2E-02	1.8E-02	1.0E-02	6.7E-03	1.0E-02	9.4E-03	1.3E-02	2.7E-02	9.3E-03	4.3E-02	7.8E-02	3.6E-02	8.1E-03	1.2E-02	1.2E-02	
PCB 105	6.1E-02	6.9E-02	1.1E-01	2.9E-02	4.8E-02	1.6E-01	3.9E-02	1.6E-01	6.1E-02	1.9E-01	2.7E-01	1.1E-01	4.2E-02	6.0E-02	5.5E-02	
PCB 114	ND	2.9E-03	6.8E-02	ND	ND	4.4E-02	ND	8.8E-03	2.0E-02	ND	1.3E-02	ND	5.3E-03	ND	ND	
PCB 118	2.3E-01	2.2E-01	2.6E-01	1.2E-01	1.7E-01	5.8E-01	1.2E-01	4.4E-01	2.0E-01	6.5E-01	9.1E-01	4.7E-01	1.4E-01	2.1E-01	2.9E-01	
PCB 123	ND	1.9E-02	6.2E-02	ND	1.7E-02	1.1E-01	ND	3.8E-02	3.0E-02	4.8E-02	7.4E-02	4.4E-02	1.5E-02	2.0E-02	ND	
PCB 156	3.2E-02	3.6E-02	ND	1.6E-02	3.2E-02	ND	1.9E-02	5.4E-02	ND	7.5E-02	9.6E-02	ND	2.2E-02	3.1E-02	6.6E-02	
PCB 157	3.3E-03	2.9E-03	ND	1.3E-03	ND	ND	2.7E-03	7.6E-03	ND	1.0E-02	1.3E-02	ND	5.1E-03	ND	5.5E-03	
PCB 167	1.5E-02	2.5E-02	8.2E-02	5.3E-03	2.1E-02	1.3E-01	1.1E-02	2.7E-02	5.9E-02	4.2E-02	4.3E-02	7.1E-02	1.3E-02	1.6E-02	2.6E-02	
PCB 189	3.2E-03	8.0E-03	ND	2.0E-03	ND	ND	2.8E-03	ND	ND	7.5E-03	5.3E-03	ND	1.5E-03	3.9E-03	1.2E-02	
mono-ortho PCB	3.5E-01	3.9E-01	5.8E-01	1.7E-01	2.9E-01	1.0E+00	1.9E-01	7.3E-01	3.7E-01	1.0E+00	1.4E+00	6.9E-01	2.5E-01	3.4E-01	4.5E-01	
TEQ [ng/kg]																
WHO TEQ PCB	7.1E-02	2.2E-01	2.1E-01	6.8E-02	1.2E-01	3.1E-01	1.3E-01	2.2E-01	1.5E-01	4.5E-01	6.7E-01	4.6E-01	1.1E-01	1.6E-01	1.6E-01	
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.2E-01	1.0E-01	3.3E-01	8.2E-02	2.5E-01	1.3E+00	8.2E-02	3.0E-01	2.4E-01	1.7E-01	1.6E-01	3.5E-01	7.8E-02	2.3E-01	1.2E-01	
I-TEQ PCDD/PCDF	1.2E-01	1.0E-01	3.3E-01	8.0E-02	2.5E-01	1.3E+00	8.0E-02	3.0E-01	2.4E-01	1.7E-01	1.6E-01	3.5E-01	8.0E-02	2.3E-01	1.2E-01	
PCB TEQ-Beitrag [%]	38	68	39	45	32	19	61	42	38	72	80	57	59	41	57	

Tab. 12 (Fortsetzung): Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg}$] der Indikatorkongomere und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] im Weidelgras

Standort	Weissenstadt	Weissenstadt	Augsburg	Augsburg	Augsburg	Augsburg	Bidingen	Bidingen	Kulmbach	Kulmbach	Kulmbach	Median Weidelgras
Konz. [µg/kg]	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	(n=25)	
PCB 28	2.6E-01	8.5E-01	2.4E-01	5.5E-01	5.0E-01	3.5E-01	5.4E-01	1.8E-01	3.7E-01	1.2E+00	4.5E-01	
PCB 52	2.2E-01	6.9E-01	3.8E-01	4.3E-01	5.1E-01	2.7E-01	4.6E-01	1.7E-01	3.2E-01	1.0E+00	4.0E-01	
PCB 101	3.6E-01	7.5E-01	3.5E-01	4.8E-01	1.0E+00	4.5E-01	9.6E-01	3.8E-01	5.2E-01	1.0E+00	5.6E-01	
PCB 138	3.8E-01	6.0E-01	4.0E-01	4.4E-01	1.2E+00	5.2E-01	1.0E+00	4.4E-01	6.6E-01	7.8E-01	5.6E-01	
PCB 153	6.6E-01	1.1E+00	7.1E-01	7.5E-01	2.0E+00	8.6E-01	1.6E+00	7.2E-01	1.2E+00	1.2E+00	9.8E-01	
PCB 180	2.3E-01	3.1E-01	1.9E-01	2.2E-01	5.5E-01	3.3E-01	5.7E-01	3.0E-01	3.6E-01	3.4E-01	3.1E-01	
6 Indikator-PCB	2.1E+00	4.3E+00	2.3E+00	2.9E+00	5.7E+00	2.8E+00	5.1E+00	2.2E+00	3.4E+00	5.5E+00	3.4E+00	
PCB nach DIN	1.1E+01	2.2E+01	1.1E+01	1.4E+01	2.9E+01	1.4E+01	2.5E+01	1.1E+01	1.7E+01	2.8E+01	1.7E+01	
PCB 77	9.0E-03	1.5E-02	1.3E-02	1.5E-02	1.8E-02	9.8E-03	8.9E-03	8.0E-03	9.1E-03	1.8E-02	1.1E-02	
PCB 81	8.8E-04	2.4E-03	1.5E-03	1.3E-03	2.4E-03	5.2E-04	ND	7.5E-04	7.6E-04	1.2E-03	1.2E-03	
PCB 126	1.3E-03	1.2E-03	1.3E-03	1.2E-03	1.1E-03	2.8E-03	2.4E-03	1.5E-03	1.5E-03	ND	1.2E-03	
PCB 169	1.3E-04	8.7E-05	1.4E-04	1.2E-04	ND	1.9E-04	ND	1.0E-04	1.4E-04	ND	1.4E-04	
nicht-ortho PCB	1.1E-02	1.8E-02	1.6E-02	1.8E-02	2.0E-02	1.3E-02	1.1E-02	1.0E-02	1.2E-02	1.7E-02	1.2E-02	
PCB 105	4.6E-02	7.0E-02	5.6E-02	6.0E-02	1.0E-01	3.5E-02	6.0E-02	3.9E-02	5.2E-02	9.4E-02	6.0E-02	
PCB 114	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.3E-03	3.1E-03	ND	8.8E-03	
PCB 118	1.7E-01	2.6E-01	1.7E-01	2.0E-01	4.3E-01	1.9E-01	3.4E-01	1.5E-01	2.1E-01	3.6E-01	2.2E-01	
PCB 123	1.3E-02	2.5E-02	1.6E-02	2.0E-02	3.0E-02	2.4E-02	ND	1.5E-02	2.0E-02	3.2E-02	2.4E-02	
PCB 156	2.4E-02	3.3E-02	2.9E-02	3.5E-02	1.0E-01	3.5E-02	7.3E-02	1.3E-01	4.6E-02	5.1E-02	3.5E-02	
PCB 157	4.6E-03	3.5E-03	ND	ND	8.1E-03	ND	6.5E-03	2.0E-03	8.7E-03	4.9E-03	5.0E-03	
PCB 167	1.0E-02	2.3E-02	1.6E-02	2.1E-02	4.3E-02	2.0E-02	3.2E-02	2.3E-02	3.8E-02	2.3E-02	2.3E-02	
PCB 189	ND	ND	3.5E-03	ND	1.1E-02	ND	1.2E-02	2.0E-03	ND	5.3E-03	4.6E-03	
mono-ortho PCB	2.7E-01	4.2E-01	2.9E-01	3.3E-01	7.3E-01	3.1E-01	5.2E-01	3.7E-01	3.8E-01	5.6E-01	3.8E-01	
TEQ [ng/kg]												
WHO TEQ PCB	1.7E-01	1.8E-01	1.7E-01	1.7E-01	2.2E-01	3.2E-01	3.2E-01	2.4E-01	2.1E-01	7.8E-02	1.8E-01	
WHO TEQ PCDD/PCDF	8.3E-02	2.4E-01	6.9E-02	1.0E-01	1.2E-01	9.6E-02	2.0E-01	6.0E-02	1.2E-01	1.6E-01	1.2E-01	
I-TEQ PCDD/PCDF	8.0E-02	2.4E-01	7.0E-02	1.0E-01	1.2E-01	1.0E-01	1.5E-01	6.0E-02	1.2E-01	1.6E-01	1.2E-01	
PCB TEQ-Beitrag [%]	67	42	71	62	65	77	62	80	64	23	59	

Tab. 13: Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] im Grünkohl

Standort	Eining	Eining	Scheyern	Scheyern	Grassau	Grassau	München	München	Weibersbrunn	Weibersbrunn
Konz. [$\mu\text{g/kg}$]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PCB 28	2.1E-01	1.6E-01	2.0E-01	2.3E-01	1.4E-01	2.1E-01	5.3E-01	6.9E-01	2.0E-01	2.9E-01
PCB 52	2.4E-01	2.1E-01	2.4E-01	2.1E-01	1.5E-01	1.8E-01	8.0E-01	1.2E+00	1.7E-01	3.7E-01
PCB 101	5.3E-01	8.3E-01	5.6E-01	7.0E-01	4.2E-01	5.2E-01	2.8E+00	2.9E+00	5.3E-01	9.7E-01
PCB 138	6.4E-01	1.0E+00	5.8E-01	8.2E-01	4.7E-01	7.0E-01	2.5E+00	2.7E+00	5.5E-01	8.7E-01
PCB 153	1.2E+00	1.6E+00	1.0E+00	1.4E+00	7.9E-01	1.1E+00	4.3E+00	4.3E+00	9.8E-01	1.5E+00
PCB 180	3.5E-01	3.8E-01	3.0E-01	3.5E-01	2.3E-01	3.3E-01	8.2E-01	8.3E-01	2.5E-01	3.6E-01
Summe 6 Indikator-PCB	3.1E+00	4.2E+00	2.9E+00	3.7E+00	2.2E+00	3.1E+00	1.2E+01	1.3E+01	2.7E+00	4.4E+00
Summe PCB nach DIN	1.6E+01	2.1E+01	1.4E+01	1.9E+01	1.1E+01	1.5E+01	5.9E+01	6.3E+01	1.3E+01	2.2E+01
PCB 77	3.5E-03	5.5E-03	4.0E-03	5.1E-03	2.8E-03	3.4E-03	1.4E-02	1.5E-02	2.8E-03	9.7E-03
PCB 81	2.8E-04	3.2E-04	2.9E-04	5.4E-04	2.1E-04	2.7E-04	5.9E-04	8.8E-04	2.2E-04	6.7E-04
PCB 126	1.0E-03	1.5E-03	7.4E-04	9.9E-04	6.2E-04	5.4E-04	2.6E-03	2.8E-03	5.4E-04	1.4E-03
PCB 169	1.2E-04	1.4E-04	4.9E-05	1.4E-04	8.2E-05	6.8E-05	1.5E-04	2.2E-04	ND	1.7E-04
Summe nicht-ortho PCB	5.0E-03	7.5E-03	5.1E-03	6.8E-03	3.7E-03	4.3E-03	1.7E-02	1.9E-02	3.6E-03	1.2E-02
PCB 105	3.9E-02	7.1E-02	3.1E-02	3.8E-02	2.4E-02	2.7E-02	3.0E-01	2.3E-01	2.9E-02	6.1E-02
PCB 114	ND	2.9E-03	ND	1.8E-03	ND	9.0E-04	1.1E-02	6.8E-03	9.9E-04	4.2E-03
PCB 118	1.1E-01	2.2E-01	1.2E-01	1.8E-01	7.9E-02	1.5E-01	8.9E-01	7.4E-01	1.3E-01	2.9E-01
PCB 123	1.4E-02	2.0E-02	1.2E-02	1.5E-02	8.7E-03	8.5E-03	8.5E-02	6.4E-02	1.2E-02	2.3E-02
PCB 156	2.9E-02	6.7E-02	2.5E-02	5.1E-02	2.0E-02	5.0E-02	1.2E-01	1.3E-01	3.9E-02	4.6E-02
PCB 157	4.4E-03	8.9E-03	2.6E-03	5.6E-03	2.4E-03	4.3E-03	1.2E-02	1.3E-02	4.7E-03	5.0E-03
PCB 167	1.5E-02	3.0E-02	1.3E-02	2.3E-02	1.0E-02	2.2E-02	4.6E-02	5.5E-02	2.1E-02	2.1E-02
PCB 189	4.2E-03	5.2E-03	3.3E-03	6.3E-03	2.8E-03	2.8E-03	1.0E-02	9.2E-03	5.4E-03	6.3E-03
Summe mono-ortho PCB	2.2E-01	4.3E-01	2.1E-01	3.2E-01	1.5E-01	2.6E-01	1.5E+00	1.2E+00	2.4E-01	4.5E-01
TEQ [ng/kg]										
WHO TEQ PCB	1.4E-01	2.3E-01	1.1E-01	1.5E-01	8.8E-02	1.0E-01	4.6E-01	4.6E-01	9.5E-02	2.1E-01
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.7E-01	7.7E-01	8.3E-02	4.9E-01	8.7E-02	3.8E-01	4.2E-01	5.9E-01	6.0E-02	6.5E-01
I-TEQ PCDD/PCDF	1.7E-01	6.6E-01	8.5E-02	4.3E-01	8.8E-02	3.3E-01	4.5E-01	5.1E-01	5.4E-02	5.5E-01
TEQ-% PCB	45	23	56	24	50	21	52	44	61	24

Tab. 13 (Fortsetzung): Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg}$] der Indikatorkongenere und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] im Grünkohl

Standort	Weißensstadt	Weißensstadt	Augsburg	Augsburg	Bidingen	Bidingen	Kulmbach	Kulmbach	Median
Konz. [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	11	12	13	14	15	16	17	18	(n=18)
PCB 28	1.5E-01	1.6E-01	3.2E-01	2.7E-01	1.1E-01	1.3E-01	1.5E-01	2.4E-01	2.0E-01
PCB 52	1.7E-01	2.4E-01	3.6E-01	5.1E-01	1.3E-01	1.7E-01	1.7E-01	2.9E-01	2.3E-01
PCB 101	5.6E-01	7.9E-01	5.3E-01	9.9E-01	4.5E-01	5.1E-01	6.0E-01	8.0E-01	5.8E-01
PCB 138	6.6E-01	7.5E-01	4.9E-01	7.8E-01	5.7E-01	5.2E-01	6.6E-01	8.6E-01	6.8E-01
PCB 153	1.2E+00	1.3E+00	8.4E-01	1.4E+00	9.9E-01	8.8E-01	1.3E+00	1.6E+00	1.2E+00
PCB 180	2.6E-01	3.2E-01	1.9E-01	3.3E-01	2.7E-01	2.1E-01	2.9E-01	3.5E-01	3.2E-01
Summe 6 Indikator-PCB	3.0E+00	3.5E+00	2.7E+00	4.3E+00	2.5E+00	2.4E+00	3.1E+00	4.1E+00	3.1E+00
Summe PCB nach DIN	1.5E+01	1.8E+01	1.4E+01	2.2E+01	1.3E+01	1.2E+01	1.6E+01	2.1E+01	1.6E+01
PCB 77	3.5E-03	7.0E-03	3.5E-03	1.5E-02	3.2E-03	5.0E-03	4.0E-03	6.7E-03	4.5E-03
PCB 81	2.3E-04	6.7E-04	5.4E-04	1.4E-03	2.3E-04	4.6E-04	3.7E-04	6.6E-04	4.1E-04
PCB 126	5.6E-04	1.3E-03	5.4E-04	1.2E-03	8.7E-04	9.5E-04	9.4E-04	1.6E-03	9.7E-04
PCB 169	ND	ND	4.1E-05	8.5E-05	3.8E-05	8.3E-05	3.8E-05	1.6E-04	8.5E-05
Summe nicht-ortho PCB	4.3E-03	9.0E-03	4.6E-03	1.8E-02	4.3E-03	6.5E-03	5.4E-03	9.2E-03	5.9E-03
PCB 105	3.4E-02	4.5E-02	4.9E-02	8.4E-02	3.6E-02	3.3E-02	3.3E-02	5.0E-02	3.8E-02
PCB 114	1.5E-03	2.8E-03	ND	6.0E-03	ND	1.8E-03	1.2E-03	2.6E-03	2.6E-03
PCB 118	1.4E-01	2.2E-01	1.6E-01	3.1E-01	1.4E-01	1.5E-01	1.5E-01	2.2E-01	1.6E-01
PCB 123	1.1E-02	1.7E-02	1.8E-02	2.4E-02	1.2E-02	1.2E-02	1.4E-02	1.9E-02	1.4E-02
PCB 156	3.8E-02	4.1E-02	2.2E-02	4.1E-02	2.8E-02	2.4E-02	3.0E-02	3.7E-02	3.9E-02
PCB 157	3.8E-03	3.7E-03	2.7E-03	4.8E-03	3.2E-03	2.5E-03	3.1E-03	4.1E-03	4.2E-03
PCB 167	1.9E-02	1.7E-02	9.9E-03	2.1E-02	1.3E-02	1.1E-02	1.4E-02	1.8E-02	1.9E-02
PCB 189	3.5E-03	5.0E-03	3.1E-03	5.0E-03	4.2E-03	3.0E-03	3.0E-03	4.3E-03	4.3E-03
Summe mono-ortho PCB	2.5E-01	3.5E-01	2.6E-01	5.0E-01	2.4E-01	2.4E-01	2.5E-01	3.6E-01	2.6E-01
TEQ [ng/kg]									
WHO TEQ PCB	9.7E-02	1.9E-01	9.0E-02	1.9E-01	1.2E-01	1.3E-01	1.3E-01	2.2E-01	1.4E-01
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.9E-01	4.5E-01	2.2E-02	3.1E-01	6.6E-02	1.6E-01	7.0E-02	5.3E-01	2.5E-01
I-TEQ PCDD/PCDF	1.8E-01	4.0E-01	2.1E-02	2.7E-01	6.7E-02	9.5E-02	5.0E-02	4.6E-01	2.3E-01
TEQ-% PCB	34	29	80	38	65	45	65	29	44

Tab. 14: Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Fichtennadeln

Standort	Anger	Scheyern	Drosendorf	Boxbrunn	Bidingen	Bärnau	Schlüsselfeld	Weissenstadt	Boxbrunn	Arnstein	Median
Konz. [$\mu\text{g/kg}$]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(n=10)
PCB 28	4.8E-02	5.6E-02	5.2E-02	5.4E-02	4.1E-02	1.2E-01	8.8E-02	9.3E-02	1.0E-01	6.8E-02	6.2E-02
PCB 52	5.4E-02	5.5E-02	6.2E-02	7.4E-02	4.6E-02	1.2E-01	1.0E-01	1.1E-01	1.4E-01	9.8E-02	8.6E-02
PCB 101	1.1E-01	1.2E-01	1.4E-01	1.8E-01	1.1E-01	2.1E-01	2.0E-01	2.3E-01	2.2E-01	1.7E-01	1.7E-01
PCB 138	1.2E-01	1.2E-01	1.6E-01	2.0E-01	1.2E-01	2.3E-01	2.2E-01	2.8E-01	2.3E-01	2.0E-01	2.0E-01
PCB 153	2.1E-01	2.0E-01	2.6E-01	3.1E-01	1.9E-01	3.9E-01	4.0E-01	4.6E-01	3.9E-01	3.4E-01	3.3E-01
PCB 180	5.8E-02	5.5E-02	7.9E-02	9.7E-02	5.2E-02	1.3E-01	1.0E-01	1.4E-01	1.3E-01	1.0E-01	1.0E-01
Summe 6 Indikator-PCB	6.0E-01	6.1E-01	7.6E-01	9.1E-01	5.6E-01	1.2E+00	1.1E+00	1.3E+00	1.2E+00	9.9E-01	9.5E-01
Summe PCB nach DIN	3.0E+00	3.0E+00	3.8E+00	4.5E+00	2.8E+00	5.9E+00	5.5E+00	6.6E+00	6.1E+00	4.9E+00	4.7E+00
PCB 77	5.2E-03	5.6E-03	6.7E-03	8.8E-03	5.6E-03	9.8E-03	1.2E-02	1.4E-02	1.7E-02	1.2E-02	9.3E+00
PCB 81	2.5E-04	4.0E-04	4.4E-04	5.8E-04	3.3E-04	3.3E-04	4.6E-04	6.9E-04	6.0E-04	2.5E-04	4.2E-01
PCB 126	1.4E-03	1.4E-03	1.9E-03	2.3E-03	1.4E-03	1.2E-03	2.0E-03	2.1E-03	2.0E-03	1.5E-03	1.7E+00
PCB 169	1.4E-04	1.3E-04	1.4E-04	2.1E-04	8.9E-05	1.8E-04	2.3E-04	3.0E-04	2.7E-04	1.7E-04	1.7E-01
Summe nicht-ortho PCB	7.0E-03	7.5E-03	9.1E-03	1.2E-02	7.4E-03	1.2E-02	1.4E-02	1.7E-02	2.0E-02	1.4E-02	1.2E+01
PCB 105	1.8E-02	1.8E-02	2.2E-02	2.8E-02	1.8E-02	2.2E-02	2.4E-02	3.2E-02	3.1E-02	2.3E-02	2.3E+01
PCB 114	6.8E-04	6.7E-04	9.3E-04	1.2E-03	8.9E-04	1.3E-03	8.4E-04	1.5E-03	1.4E-03	1.0E-03	9.8E-01
PCB 118	6.0E-02	5.8E-02	7.0E-02	9.4E-02	6.0E-02	9.8E-02	9.2E-02	1.2E-01	1.1E-01	8.3E-02	8.7E+01
PCB 123	8.8E-03	8.2E-03	1.1E-02	1.3E-02	7.4E-03	7.5E-03	8.0E-03	1.0E-02	8.2E-03	7.7E-03	8.2E+00
PCB 156	7.0E-03	8.2E-03	1.1E-02	1.2E-02	7.1E-03	2.3E-02	2.2E-02	2.4E-02	2.7E-02	1.7E-02	1.5E+01
PCB 157	1.4E-03	1.6E-03	1.9E-03	2.3E-03	1.1E-03	3.5E-03	3.1E-03	3.9E-03	4.5E-03	2.3E-03	2.3E+00
PCB 167	4.1E-03	4.5E-03	6.0E-03	7.2E-03	4.0E-03	9.5E-03	9.0E-03	1.2E-02	1.1E-02	7.9E-03	7.5E+00
PCB 189	9.0E-04	1.1E-03	1.4E-03	1.4E-03	8.9E-04	2.9E-03	2.7E-03	2.8E-03	3.7E-03	2.1E-03	1.7E+00
Summe mono-ortho PCB	1.0E-01	1.0E-01	1.3E-01	1.6E-01	9.9E-02	1.7E-01	1.6E-01	2.1E-01	1.9E-01	1.4E-01	1.5E+02
TEQ [ng/kg]											
WHO TEQ PCB	1.5E-01	1.5E-01	2.1E-01	2.5E-01	1.5E-01	1.5E-01	2.3E-01	2.5E-01	2.3E-01	1.7E-01	1.9E+02
WHO TEQ PCDD/PCDF	7.9E-02	1.6E-01	3.6E-01	2.9E-01	6.0E-02	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	1.6E+02
I-TEQ PCDD/PCDF	8.1E-02	1.5E-01	3.3E-01	2.8E-01	5.4E-02	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	1.5E+02
TEQ-% PCB	66	49	36	46	72	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	z. Zt. ND	49

Tab. 15: Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg}$] der Indikator-kongenerer und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Kompostproben von 22 bayerischen Anlagen – 1. Beprobung

Konz. [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10	BA-11
PCB 28	4.8E-01	7.7E-01	6.1E-01	3.8E+00	2.7E-01	3.8E+00	3.0E-01	1.2E+00	4.2E-01	1.8E+00	3.2E-01
PCB 52	9.2E-01	1.5E+00	1.5E+00	3.2E+00	5.8E-01	6.5E+00	5.5E-01	2.1E+00	1.5E+00	2.9E+00	7.1E-01
PCB 101	3.9E+00	5.6E+00	7.3E+00	6.6E+00	2.8E+00	1.2E+01	2.4E+00	8.0E+00	4.7E+00	5.6E+00	3.6E+00
PCB 138	7.2E+00	9.8E+00	1.4E+01	1.3E+01	5.7E+00	1.6E+01	4.6E+00	1.5E+01	7.5E+00	8.2E+00	6.8E+00
PCB 153	1.1E+01	1.4E+01	2.2E+01	1.8E+01	8.4E+00	2.6E+01	7.1E+00	2.4E+01	1.0E+01	1.2E+01	9.9E+00
PCB 180	5.2E+00	6.5E+00	9.4E+00	9.4E+00	4.0E+00	9.7E+00	3.2E+00	9.3E+00	3.9E+00	4.4E+00	4.3E+00
Summe 6 Indikator-PCB	2.9E+01	3.9E+01	5.5E+01	5.4E+01	2.2E+01	7.4E+01	1.8E+01	6.0E+01	2.8E+01	3.5E+01	2.6E+01
Summe PCB nach DIN	1.4E+02	1.9E+02	2.8E+02	2.7E+02	1.1E+02	3.7E+02	9.0E+01	3.0E+02	1.4E+02	1.8E+02	1.3E+02
PCB 77	5.0E-02	8.9E-02	8.5E-02	1.8E-01	4.7E-02	2.4E-01	3.2E-02	1.2E-01	8.1E-02	1.4E-01	4.7E-02
PCB 81	2.5E-03	4.1E-03	3.6E-03	7.8E-03	2.5E-03	1.2E-02	1.7E-03	4.7E-03	4.5E-03	7.7E-03	2.4E-03
PCB 126	2.2E-02	2.7E-02	2.9E-02	2.7E-02	1.8E-02	2.2E-02	1.2E-02	3.0E-02	2.1E-02	2.5E-02	1.6E-02
PCB 169	3.3E-03	2.8E-03	4.5E-03	4.2E-03	3.2E-03	2.5E-03	1.9E-03	4.5E-03	2.7E-03	2.9E-03	2.2E-03
Summe nicht-ortho PCB	7.8E-02	1.2E-01	1.2E-01	2.2E-01	7.1E-02	2.8E-01	4.8E-02	1.6E-01	1.1E-01	1.7E-01	6.8E-02
PCB 105	3.5E-01	6.4E-01	6.4E-01	6.8E-01	3.1E-01	1.4E+00	2.2E-01	9.0E-01	8.8E-01	9.1E-01	3.3E-01
PCB 114	1.5E-02	2.3E-02	2.4E-02	3.3E-02	9.8E-03	8.7E-02	7.6E-03	3.0E-02	4.1E-02	5.0E-02	1.1E-02
PCB 118	1.4E+00	2.0E+00	2.6E+00	2.4E+00	1.1E+00	3.9E+00	8.3E-01	3.1E+00	2.5E+00	2.7E+00	1.3E+00
PCB 123	7.9E-02	1.4E-01	1.4E-01	1.4E-01	7.2E-02	2.6E-01	5.0E-02	2.5E-01	2.1E-01	1.9E-01	7.8E-02
PCB 156	6.4E-01	8.3E-01	1.2E+00	1.1E+00	4.6E-01	1.2E+00	3.3E-01	1.2E+00	6.4E-01	6.8E-01	5.2E-01
PCB 157	6.6E-02	8.2E-02	1.1E-01	1.1E-01	4.7E-02	1.3E-01	3.3E-02	1.3E-01	8.2E-02	7.6E-02	5.2E-02
PCB 167	2.9E-01	3.4E-01	4.9E-01	4.8E-01	2.1E-01	5.3E-01	1.4E-01	5.2E-01	2.7E-01	2.9E-01	2.2E-01
PCB 189	1.1E-01	1.4E-01	2.1E-01	2.2E-01	8.8E-02	1.8E-01	5.9E-02	1.9E-01	8.8E-02	9.5E-02	9.5E-02
Summe mono-ortho PCB	2.9E+00	4.2E+00	5.4E+00	5.2E+00	2.3E+00	7.7E+00	1.7E+00	6.3E+00	4.7E+00	5.0E+00	2.6E+00
TEQ [ng/kg]											
WHO TEQ PCB	2.8E+00	3.5E+00	4.0E+00	3.7E+00	2.3E+00	3.6E+00	1.5E+00	4.2E+00	2.9E+00	3.3E+00	2.1E+00
WHO TEQ PCDD/PCDF	5.7E+00	5.3E+00	1.1E+01	4.4E+00	7.1E+00	1.1E+01	5.6E+00	8.8E+00	4.1E+00	5.2E+00	9.3E+00
I-TEQ PCDD/PCDF	6.6E+00	6.1E+00	1.3E+01	5.0E+00	7.7E+00	1.4E+01	6.9E+00	1.0E+01	5.0E+00	6.1E+00	1.1E+01
TEQ-% PCB	33	39	27	46	24	24	21	32	42	39	19

Tab. 15 (Fortsetzung): Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Kompostproben von 22 bayerischen Anlagen – 1. Beprobung

Konz. [$\mu\text{g/kg}$]	GG-1	GG-2	GG-3	GG-4	GG-5	GG-6	GG-7	GG-8	GG-9	GG-10	GG-11	Median (n=22)
PCB 28	2.6E-01	2.0E-01	5.6E-01	7.0E-01	1.0E+00	3.5E-01	2.7E-01	2.8E-01	4.1E-01	8.3E-01	6.9E-01	5.2E-01
PCB 52	8.2E-01	5.9E-01	2.5E+00	1.6E+00	2.6E+00	7.7E-01	4.6E-01	6.6E-01	8.7E-01	1.5E+00	1.0E+00	1.3E+00
PCB 101	4.9E+00	3.8E+00	1.2E+01	4.3E+00	9.5E+00	3.1E+00	2.5E+00	4.0E+00	4.3E+00	5.0E+00	3.3E+00	4.5E+00
PCB 138	8.9E+00	9.5E+00	2.0E+01	8.5E+00	1.8E+01	6.1E+00	5.1E+00	7.9E+00	8.0E+00	8.9E+00	6.2E+00	8.4E+00
PCB 153	1.3E+01	1.4E+01	3.1E+01	1.3E+01	2.6E+01	9.2E+00	7.7E+00	1.1E+01	1.2E+01	1.3E+01	9.3E+00	1.2E+01
PCB 180	5.5E+00	7.6E+00	1.2E+01	5.9E+00	1.3E+01	4.0E+00	3.4E+00	5.1E+00	5.1E+00	5.1E+00	4.0E+00	5.2E+00
Summe 6 Indikator-PCB	3.4E+01	3.6E+01	7.9E+01	3.4E+01	7.1E+01	2.3E+01	2.0E+01	2.9E+01	3.1E+01	3.5E+01	2.4E+01	3.4E+01
Summe PCB nach DIN	1.7E+02	1.8E+02	4.0E+02	1.7E+02	3.5E+02	1.2E+02	9.8E+01	1.5E+02	1.5E+02	1.7E+02	1.2E+02	1.7E+02
PCB 77	4.8E-02	5.2E-02	1.2E-01	9.8E-02	1.2E-01	4.6E-02	4.0E-02	4.3E-02	4.9E-02	8.1E-02	6.7E-02	7.4E-02
PCB 81	1.5E-03	2.2E-03	4.2E-03	3.7E-03	5.9E-03	1.9E-03	2.1E-03	1.3E-03	3.0E-03	4.9E-03	2.9E-03	3.3E-03
PCB 126	1.2E-02	4.5E-02	3.7E-02	1.9E-02	3.4E-02	1.7E-02	1.5E-02	2.6E-02	1.7E-02	2.0E-02	1.7E-02	2.2E-02
PCB 169	1.6E-03	8.2E-03	4.7E-03	2.1E-03	5.1E-03	2.9E-03	2.4E-03	3.6E-03	2.1E-03	3.1E-03	2.4E-03	2.9E-03
Summe nicht-ortho PCB	6.3E-02	1.1E-01	1.7E-01	1.2E-01	1.7E-01	6.8E-02	6.0E-02	7.5E-02	7.0E-02	1.1E-01	9.0E-02	1.1E-01
PCB 105	4.0E-01	3.5E-01	1.5E+00	5.0E-01	1.1E+00	2.9E-01	2.3E-01	3.3E-01	3.7E-01	4.7E-01	3.7E-01	4.4E-01
PCB 114	1.2E-02	1.0E-02	4.5E-02	2.4E-02	4.6E-02	1.7E-02	9.7E-03	1.2E-02	1.6E-02	2.1E-02	1.9E-02	2.0E-02
PCB 118	1.7E+00	1.6E+00	4.5E+00	1.6E+00	3.7E+00	1.0E+00	8.9E-01	1.4E+00	1.5E+00	1.8E+00	1.3E+00	1.6E+00
PCB 123	1.2E-01	9.1E-02	3.4E-01	1.1E-01	2.3E-01	6.6E-02	6.0E-02	8.3E-02	8.9E-02	1.2E-01	8.6E-02	1.1E-01
PCB 156	7.1E-01	8.8E-01	1.6E+00	7.4E-01	1.6E+00	4.8E-01	4.2E-01	6.6E-01	6.6E-01	6.8E-01	5.1E-01	6.8E-01
PCB 157	6.6E-02	8.9E-02	2.0E-01	7.6E-02	1.6E-01	4.8E-02	4.0E-02	6.8E-02	6.1E-02	6.6E-02	5.5E-02	7.2E-02
PCB 167	2.9E-01	4.1E-01	7.6E-01	3.2E-01	7.1E-01	1.9E-01	1.7E-01	2.9E-01	2.9E-01	2.9E-01	2.2E-01	2.9E-01
PCB 189	1.1E-01	1.9E-01	3.0E-01	1.3E-01	3.1E-01	8.3E-02	7.5E-02	1.1E-01	1.1E-01	1.1E-01	8.5E-02	1.1E-01
Summe mono-ortho PCB	3.4E+00	3.6E+00	9.3E+00	3.5E+00	7.8E+00	2.2E+00	1.9E+00	3.0E+00	3.1E+00	3.5E+00	2.7E+00	3.5E+00
TEQ [ng/kg]												
WHO TEQ PCB	1.8E+00	5.3E+00	5.3E+00	2.6E+00	4.9E+00	2.2E+00	1.9E+00	3.2E+00	2.3E+00	2.7E+00	2.3E+00	2.9E+00
WHO TEQ PCDD/PCDF	7.9E+00	4.8E+00	4.7E+00	7.8E+00	9.6E+00	4.8E+00	1.2E+01	8.9E+00	8.7E+00	6.2E+00	8.7E+00	7.4E+00
I-TEQ PCDD/PCDF	8.7E+00	5.4E+00	5.5E+00	9.2E+00	1.1E+01	5.2E+00	1.5E+01	1.1E+01	1.1E+01	7.3E+00	1.1E+01	8.2E+00
TEQ-% PCB	19	53	53	25	34	31	14	27	21	31	21	29

Tab. 16: Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Kompostproben von 22 bayerischen Anlagen – 2. Beprobung

Konz. [$\mu\text{g/kg}$]	BA-1	BA-2	BA-3	BA-4	BA-5	BA-6	BA-7	BA-8	BA-9	BA-10	BA-11
PCB 28	4.9E-01	2.2E-01	5.6E-01	1.1E+00	5.5E-01	1.7E+00	2.0E+00	7.0E-01	2.6E-01	1.4E+00	5.1E-01
PCB 52	1.4E+00	3.6E-01	1.2E+00	1.5E+00	1.0E+00	2.5E+00	9.9E-01	2.3E+00	5.9E-01	3.6E+00	9.2E-01
PCB 101	6.1E+00	1.5E+00	4.1E+00	2.9E+00	3.4E+00	6.4E+00	2.0E+00	1.0E+01	2.9E+00	6.2E+00	3.3E+00
PCB 138	9.6E+00	2.4E+00	6.8E+00	5.1E+00	5.5E+00	9.0E+00	3.4E+00	1.3E+01	4.3E+00	6.4E+00	5.0E+00
PCB 153	1.5E+01	4.0E+00	1.0E+01	8.4E+00	8.8E+00	1.4E+01	5.4E+00	1.9E+01	6.5E+00	9.5E+00	7.2E+00
PCB 180	5.7E+00	1.4E+00	3.9E+00	3.6E+00	3.3E+00	5.7E+00	2.1E+00	7.8E+00	2.9E+00	3.7E+00	2.9E+00
Summe 6 Indikator-PCB	3.9E+01	9.9E+00	2.7E+01	2.3E+01	2.3E+01	3.9E+01	1.6E+01	5.3E+01	1.7E+01	3.1E+01	2.0E+01
Summe PCB nach DIN	1.9E+02	4.9E+01	1.3E+02	1.1E+02	1.1E+02	2.0E+02	8.0E+01	2.7E+02	8.7E+01	1.5E+02	9.9E+01
PCB 77	1.1E-01	2.6E-02	1.0E-01	1.7E-01	7.5E-02	1.9E-01	1.1E-01	1.6E-01	4.7E-02	1.7E-01	6.6E-02
PCB 81	4.2E-03	9.9E-04	3.7E-03	5.3E-03	2.1E-03	8.0E-03	3.8E-03	6.0E-03	1.4E-03	8.3E-03	3.1E-03
PCB 126	3.4E-02	7.1E-03	2.4E-02	2.0E-02	1.9E-02	2.2E-02	1.1E-02	4.4E-02	1.8E-02	1.9E-02	1.8E-02
PCB 169	3.5E-03	9.6E-04	3.1E-03	2.1E-03	1.5E-03	2.8E-03	1.3E-03	5.2E-03	2.8E-03	2.3E-03	2.1E-03
Summe nicht-ortho PCB	1.5E-01	3.5E-02	1.3E-01	2.0E-01	9.8E-02	2.3E-01	1.3E-01	2.1E-01	6.9E-02	2.0E-01	9.0E-02
PCB 105	1.0E+00	1.5E-01	5.5E-01	4.8E-01	4.3E-01	1.0E+00	2.5E-01	1.3E+00	2.3E-01	1.2E+00	4.3E-01
PCB 114	3.2E-02	3.0E-03	2.3E-02	2.3E-02	2.3E-02	6.3E-02	1.1E-02	5.1E-02	9.9E-03	6.2E-02	1.7E-02
PCB 118	3.0E+00	6.2E-01	2.1E+00	1.7E+00	1.6E+00	3.3E+00	8.7E-01	4.1E+00	7.6E-01	3.1E+00	1.5E+00
PCB 123	2.0E-01	3.8E-02	1.3E-01	1.1E-01	1.0E-01	2.1E-01	7.2E-02	2.6E-01	5.4E-02	2.3E-01	8.5E-02
PCB 156	9.9E-01	2.5E-01	8.0E-01	6.0E-01	5.6E-01	1.1E+00	3.2E-01	1.3E+00	3.8E-01	6.5E-01	4.8E-01
PCB 157	1.2E-01	2.8E-02	8.6E-02	6.4E-02	7.3E-02	1.1E-01	3.6E-02	1.7E-01	4.9E-02	9.2E-02	6.3E-02
PCB 167	4.0E-01	1.1E-01	3.4E-01	2.6E-01	2.5E-01	4.7E-01	1.1E-01	6.4E-01	1.6E-01	2.9E-01	2.1E-01
PCB 189	1.5E-01	3.9E-02	1.2E-01	9.0E-02	9.4E-02	1.7E-01	6.2E-02	2.3E-01	7.9E-02	9.8E-02	8.3E-02
Summe mono-ortho PCB	5.9E+00	1.2E+00	4.1E+00	3.4E+00	3.1E+00	6.4E+00	1.7E+00	8.1E+00	1.7E+00	5.8E+00	2.8E+00
TEQ [ng/kg]											
WHO TEQ PCB	4.4E+00	9.5E-01	3.2E+00	2.6E+00	2.5E+00	3.4E+00	1.4E+00	5.8E+00	2.1E+00	2.9E+00	2.3E+00

Tab. 16 (Fortsetzung): Konzentrationen [$\mu\text{g/kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Kompostproben von 22 bayerischen Anlagen – 2. Beprobung

Konz. [$\mu\text{g/kg}$]	GG-1	GG-2	GG-3	GG-4	GG-5	GG-6	GG-7	GG-8	GG-9	GG-10	GG-11	Median (n=22)
PCB 28	7.0E-01	2.2E-01	1.6E-01	4.4E-01	3.2E-01	2.1E-01	2.5E-01	2.8E-01	3.8E-01	3.9E-01	3.3E-01	4.2E-01
PCB 52	5.4E-01	4.8E-01	1.2E+00	3.0E+00	1.5E+00	5.4E-01	6.6E-01	8.9E-01	9.8E-01	7.7E-01	1.2E+00	1.0E+00
PCB 101	2.2E+00	2.5E+00	9.0E+00	2.9E+01	1.0E+01	3.3E+00	3.6E+00	4.4E+00	3.7E+00	3.6E+00	1.1E+01	3.6E+00
PCB 138	4.2E+00	4.8E+00	1.6E+01	4.8E+01	1.6E+01	5.3E+00	6.1E+00	5.6E+00	4.9E+00	5.0E+00	1.7E+01	5.5E+00
PCB 153	6.6E+00	7.5E+00	2.5E+01	7.5E+01	2.5E+01	9.7E+00	8.8E+00	8.3E+00	7.2E+00	7.5E+00	2.7E+01	8.8E+00
PCB 180	2.3E+00	2.9E+00	9.2E+00	2.4E+01	1.1E+01	3.4E+00	3.8E+00	3.4E+00	2.9E+00	3.2E+00	1.3E+01	3.5E+00
Summe 6 Indikator-PCB	1.6E+01	1.8E+01	6.0E+01	1.8E+02	6.3E+01	2.2E+01	2.3E+01	2.3E+01	2.0E+01	2.0E+01	6.9E+01	2.3E+01
Summe PCB nach DIN	8.2E+01	9.1E+01	3.0E+02	8.9E+02	3.2E+02	1.1E+02	1.2E+02	1.1E+02	1.0E+02	1.0E+02	3.5E+02	1.1E+02
PCB 77	6.3E-02	6.4E-02	1.2E-01	1.9E-01	9.9E-02	4.2E-02	5.8E-02	6.4E-02	9.4E-02	7.5E-02	8.6E-02	9.0E-02
PCB 81	2.1E-03	2.4E-03	3.7E-03	4.5E-03	3.2E-03	1.3E-03	2.0E-03	1.8E-03	4.1E-03	3.0E-03	3.2E-03	3.2E-03
PCB 126	1.8E-02	2.4E-02	4.4E-02	9.5E-02	3.1E-02	1.6E-02	2.7E-02	1.8E-02	1.6E-02	2.0E-02	2.5E-02	2.0E-02
PCB 169	2.3E-03	2.9E-03	3.9E-03	8.7E-03	3.9E-03	1.8E-03	3.4E-03	2.8E-03	1.6E-03	2.6E-03	2.3E-03	2.7E-03
Summe nicht-ortho PCB	8.5E-02	9.3E-02	1.7E-01	3.0E-01	1.4E-01	6.2E-02	9.0E-02	8.7E-02	1.2E-01	1.0E-01	1.2E-01	1.2E-01
PCB 105	2.8E-01	2.8E-01	1.2E+00	2.3E+00	9.1E-01	3.0E-01	3.3E-01	4.4E-01	4.9E-01	4.0E-01	7.3E-01	4.6E-01
PCB 114	9.0E-03	1.3E-02	3.3E-02	4.2E-02	2.5E-02	8.1E-03	1.1E-02	1.8E-02	2.0E-02	1.5E-02	1.6E-02	1.9E-02
PCB 118	9.9E-01	1.1E+00	4.2E+00	1.1E+01	3.3E+00	1.2E+00	1.4E+00	1.6E+00	1.5E+00	1.3E+00	3.3E+00	1.6E+00
PCB 123	6.3E-02	8.2E-02	2.8E-01	4.5E-01	2.1E-01	8.0E-02	8.2E-02	9.8E-02	1.1E-01	8.8E-02	1.3E-01	1.0E-01
PCB 156	4.2E-01	5.0E-01	1.7E+00	5.5E+00	1.6E+00	5.5E-01	5.6E-01	5.2E-01	4.7E-01	5.0E-01	2.0E+00	5.6E-01
PCB 157	5.1E-02	6.0E-02	2.1E-01	6.0E-01	1.7E-01	6.3E-02	6.3E-02	6.4E-02	6.4E-02	6.5E-02	1.7E-01	6.5E-02
PCB 167	2.0E-01	2.1E-01	7.7E-01	2.3E+00	7.3E-01	2.5E-01	2.5E-01	2.5E-01	2.0E-01	2.2E-01	8.4E-01	2.5E-01
PCB 189	6.9E-02	8.0E-02	2.5E-01	8.4E-01	3.1E-01	9.5E-02	1.0E-01	9.5E-02	7.8E-02	9.4E-02	3.6E-01	9.5E-02
Summe mono-ortho PCB	2.1E+00	2.3E+00	8.6E+00	2.4E+01	7.3E+00	2.5E+00	2.7E+00	3.1E+00	2.9E+00	2.7E+00	7.6E+00	3.1E+00
TEQ [ng/kg]												
WHO TEQ PCB	2.2E+00	2.9E+00	6.0E+00	1.4E+01	4.6E+00	2.2E+00	3.2E+00	2.4E+00	2.2E+00	2.6E+00	4.1E+00	2.7E+00

Tab. 17: Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg}$] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/kg] in Klärschlamm von kommunalen Kläranlagen in Baden-Württemberg

Standort	Herbolzheim	Neuhausen	Vorderes Renchtal	Donau-Riedlingen	Bruchsal	Untere Elz	Lahr	Ernstal	Böblingen-Si. KW1	Heidelberg	Median
Konz. [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(n=10)
PCB 28	4.1E+00	4.9E+00	2.5E+00	2.5E+00	1.6E+01	1.7E+01	7.8E+00	3.8E+00	6.5E+00	7.9E+00	5.7E+00
PCB 52	1.1E+01	1.2E+01	4.5E+00	2.7E+01	2.6E+01	2.5E+01	2.7E+01	1.1E+01	1.4E+01	1.4E+01	1.4E+01
PCB 101	2.6E+01	5.2E+01	1.6E+01	5.9E+01	2.9E+01	2.1E+01	5.1E+01	4.0E+01	3.9E+01	2.9E+01	3.4E+01
PCB 138	3.2E+01	6.3E+01	1.9E+01	5.3E+01	3.2E+01	2.4E+01	5.6E+01	5.2E+01	5.5E+01	3.6E+01	4.4E+01
PCB 153	4.7E+01	1.0E+02	2.9E+01	8.7E+01	4.7E+01	3.5E+01	8.4E+01	7.7E+01	8.9E+01	5.5E+01	6.6E+01
PCB 180	1.9E+01	4.2E+01	1.2E+01	3.5E+01	1.9E+01	1.4E+01	3.2E+01	3.2E+01	3.7E+01	2.3E+01	2.7E+01
Summe 6 Indikator-PCB	1.4E+02	2.8E+02	8.3E+01	2.6E+02	1.7E+02	1.4E+02	2.6E+02	2.2E+02	2.4E+02	1.7E+02	1.9E+02
Summe PCB nach DIN	6.9E+02	1.4E+03	4.1E+02	1.3E+03	8.4E+02	6.8E+02	1.3E+03	1.1E+03	1.2E+03	8.3E+02	9.6E+02
PCB 77	4.3E-01	4.5E-01	1.5E-01	3.2E-01	1.1E+00	5.7E-01	7.2E-01	3.1E-01	8.4E-01	7.9E-01	5.1E-01
PCB 81	1.4E-02	2.0E-02	9.2E-03	1.3E-02	5.7E-02	2.3E-02	3.6E-02	1.7E-02	3.0E-02	4.2E-02	2.1E-02
PCB 126	7.5E-02	1.0E-01	2.4E-02	1.2E-01	9.8E-02	3.7E-02	1.5E-01	7.9E-02	1.8E-01	8.2E-02	9.0E-02
PCB 169	1.1E-02	1.5E-02	4.7E-03	1.9E-02	1.1E-02	5.9E-03	1.9E-02	1.5E-02	2.9E-02	9.9E-03	1.3E-02
Summe nicht-ortho PCB	5.3E-01	5.8E-01	1.9E-01	4.7E-01	1.2E+00	6.4E-01	9.3E-01	4.2E-01	1.1E+00	9.3E-01	6.1E-01
PCB 105	3.4E+00	4.0E+00	1.5E+00	6.6E+00	3.8E+00	1.7E+00	5.0E+00	2.9E+00	4.0E+00	3.3E+00	3.6E+00
PCB 114	1.4E-01	1.3E-01	8.0E-02	3.8E-01	1.8E-01	8.2E-02	2.2E-01	1.0E-01	1.4E-01	1.6E-01	1.4E-01
PCB 118	1.3E+01	1.5E+01	6.1E+00	2.7E+01	1.2E+01	6.6E+00	1.7E+01	1.2E+01	1.4E+01	1.1E+01	1.3E+01
PCB 123	9.9E-01	7.9E-01	3.6E-01	3.2E+00	9.7E-01	5.1E-01	1.5E+00	6.0E-01	1.2E+00	8.6E-01	9.2E-01
PCB 156	2.8E+00	5.1E+00	1.6E+00	4.4E+00	2.6E+00	1.5E+00	4.2E+00	3.6E+00	4.1E+00	2.7E+00	3.2E+00
PCB 157	3.7E-01	5.3E-01	1.8E-01	6.4E-01	3.1E-01	1.7E-01	5.0E-01	3.7E-01	4.9E-01	3.0E-01	3.7E-01
PCB 167	1.1E+00	2.2E+00	6.2E-01	1.9E+00	1.1E+00	6.6E-01	1.8E+00	1.6E+00	1.8E+00	1.2E+00	1.4E+00
PCB 189	4.0E-01	8.5E-01	2.3E-01	7.9E-01	3.7E-01	2.4E-01	6.5E-01	6.0E-01	7.8E-01	4.5E-01	5.3E-01
Summe mono-ortho PCB	2.2E+01	2.8E+01	1.1E+01	4.5E+01	2.2E+01	1.1E+01	3.1E+01	2.1E+01	2.6E+01	2.0E+01	2.2E+01
TEQ [ng/kg]											
WHO TEQ PCB	1.1E+01	1.5E+01	4.2E+00	1.8E+01	1.3E+01	5.7E+00	2.0E+01	1.2E+01	2.3E+01	1.2E+01	1.3E+01
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.4E+01	1.1E+01	1.0E+01	1.0E+01	9.4E+00	1.1E+01	1.1E+01	1.0E+01	1.2E+01	1.2E+01	1.1E+01
I-TEQ PCDD/PCDF	1.6E+01	1.3E+01	1.1E+01	1.2E+01	1.0E+01	1.5E+01	1.2E+01	1.1E+01	1.4E+01	1.3E+01	1.3E+01
TEQ-% PCB	44	59	29	64	59	35	64	54	66	49	56

Tab. 18: Konzentrationen [pg/m³] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [pg/m³] in Außenluftproben - Ebenhausen

Konz. [pg/m³]	1	2	3	4	5	6	Median (n=6)
PCB 28	1.3E+01	1.9E+01	1.3E+02	1.3E+02	6.9E+01	2.3E+01	4.6E+01
PCB 52	1.1E+01	2.4E+01	7.9E+01	7.5E+01	5.4E+01	2.2E+01	3.9E+01
PCB 101	1.6E+01	2.7E+01	3.7E+01	4.2E+01	3.7E+01	3.7E+01	3.7E+01
PCB 138	1.1E+01	1.5E+01	2.0E+01	2.6E+01	2.3E+01	2.6E+01	2.1E+01
PCB 153	1.9E+01	2.7E+01	3.8E+01	4.5E+01	4.1E+01	4.8E+01	3.9E+01
PCB 180	5.3E+00	6.9E+00	1.0E+01	1.0E+01	1.3E+01	1.3E+01	1.0E+01
Summe 6 Indikator-PCB	7.5E+01	1.2E+02	3.1E+02	3.3E+02	2.4E+02	1.7E+02	2.0E+02
Summe PCB nach DIN	3.8E+02	5.9E+02	1.6E+03	1.6E+03	1.2E+03	8.5E+02	1.0E+03
PCB 77	5.2E-01	3.7E-01	1.7E+00	2.0E+00	1.1E+00	3.5E-01	8.3E-01
PCB 81	5.4E-02	3.2E-02	1.2E-01	1.6E-01	9.4E-02	1.9E-02	7.4E-02
PCB 126	1.7E-02	3.0E-02	4.2E-02	4.0E-02	4.0E-02	2.3E-02	3.5E-02
PCB 169	3.8E-03	7.2E-03	ND	1.0E-02	6.9E-03	3.9E-03	6.9E-03
Summe nicht-ortho PCB	5.9E-01	4.4E-01	1.8E+00	2.2E+00	1.3E+00	3.9E-01	9.3E-01
PCB 105	7.9E-01	3.2E+00	4.4E+00	6.0E+00	3.9E+00	1.8E+00	3.6E+00
PCB 114	ND	1.6E-01	ND	ND	2.5E-01	6.8E-02	1.6E-01
PCB 118	3.7E+00	1.0E+01	1.4E+01	1.7E+01	9.7E+00	6.7E+00	9.9E+00
PCB 123	1.8E-01	7.3E-01	ND	ND	7.8E-01	4.6E-01	5.9E-01
PCB 156	6.2E-01	1.1E+00	1.7E+00	2.2E+00	2.1E+00	2.3E+00	1.9E+00
PCB 157	7.7E-02	1.6E-01	1.3E-01	1.7E-01	2.5E-01	2.5E-01	1.7E-01
PCB 167	3.0E-01	4.4E-01	6.6E-01	7.7E-01	1.0E+00	1.0E+00	7.1E-01
PCB 189	9.6E-02	1.1E-01	2.4E-01	2.4E-01	3.0E-01	2.9E-01	2.4E-01
Summe mono-ortho PCB	5.7E+00	1.6E+01	2.1E+01	2.6E+01	1.8E+01	1.3E+01	1.7E+01
TEQ [pg/m³]							
WHO TEQ PCB	2.6E-03	5.3E-03	7.2E-03	7.8E-03	7.0E-03	4.7E-03	6.1E-03
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.9E-02	2.6E-02	2.4E-02	3.1E-02	3.1E-02	1.2E-02	2.5E-02
I-TEQ PCDD/PCDF	1.9E-02	2.6E-02	2.4E-02	3.1E-02	3.1E-02	1.2E-02	2.5E-02
TEQ-% PCB	12	17	23	20	18	28	19

Tab. 19: Konzentrationen [ng/m³] der Indikatorkongenere und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [ng/m³] in Emissionsproben – Anfahrbetrieb MVA Augsburg

Konz. [ng/m³]	Reingas 1	Reingas 2	Reingas 3	Rohgas 1	Rohgas 2	Rohgas 3
PCB 28	1.9E+00	4.6E+00	1.9E+00	1.4E+01	1.3E+01	6.9E+00
PCB 52	2.6E+00	6.8E+00	4.3E+00	1.5E+01	1.2E+01	2.0E+00
PCB 101	7.4E+00	1.0E+01	9.9E+00	2.2E+01	2.9E+01	2.5E+01
PCB 138	7.1E+00	7.8E+00	8.1E+00	1.9E+01	4.3E+01	2.3E+01
PCB 153	1.1E+01	1.3E+01	1.3E+01	2.9E+01	4.6E+01	3.2E+01
PCB 180	3.5E+00	4.1E+00	3.8E+00	1.1E+01	4.1E+01	2.0E+01
Summe 6 Indikator-PCB	3.4E+01	4.7E+01	4.1E+01	1.1E+02	1.8E+02	1.1E+02
Summe PCB nach DIN	1.7E+02	2.3E+02	2.0E+02	5.5E+02	9.2E+02	5.4E+02
PCB 77	4.2E-02	1.4E-01	1.1E-01	4.2E+00	7.7E+01	2.3E+01
PCB 81	2.4E-02	2.5E-01	1.4E-01	8.6E+00	7.1E+01	2.7E+01
PCB 126	2.1E-02	1.1E-01	1.1E-01	9.1E+00	1.6E+02	5.5E+01
PCB 169	1.1E-02	6.0E-02	5.7E-02	4.6E+00	8.8E+01	3.3E+01
Summe nicht-ortho PCB	9.8E-02	5.6E-01	4.1E-01	2.7E+01	3.9E+02	1.4E+02
PCB 105	3.4E-01	6.2E-01	5.8E-01	5.8E+00	8.7E+01	2.4E+01
PCB 114	ND	7.9E-02	7.1E-02	2.4E+00	1.7E+01	7.2E+00
PCB 118	2.0E+00	2.4E+00	2.6E+00	9.3E+00	3.9E+01	1.9E+01
PCB 123	ND	3.0E-01	1.7E-01	3.7E+00	3.3E+01	8.5E+00
PCB 156	6.3E-01	8.1E-01	8.3E-01	7.1E+00	9.4E+01	3.6E+01
PCB 157	5.6E-02	1.1E-01	1.1E-01	4.4E+00	1.0E+02	2.6E+01
PCB 167	2.7E-01	3.6E-01	3.6E-01	3.3E+00	3.9E+01	1.1E+01
PCB 189	1.0E-01	2.6E-01	2.4E-01	6.3E+00	1.1E+02	4.0E+01
Summe mono-ortho PCB	3.4E+00	5.0E+00	4.9E+00	4.2E+01	5.2E+02	1.7E+02
TEQ [ng/m³]						
WHO TEQ PCB	2.8E-03	1.3E-02	1.2E-02	9.6E-01	1.7E+01	5.9E+00
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.6E-02	5.9E-02	6.8E-02	6.7E+00	1.3E+02	5.7E+01
I-TEQ PCDD/PCDF	1.7E-02	5.5E-02	6.4E-02	6.3E+00	1.2E+02	5.5E+01
TEQ-% PCB	15	18	15	13	11	9

Tab. 20: Konzentrationen [ng/m³] der Indikator-kongeneren und dioxinähnlichen PCB, sowie TEQ [pg/m³] in Innenraumluft

Konz. [ng/m³]	1	2
PCB 28	2.1E-01	1.0E+01
PCB 52	7.5E+00	7.1E+01
PCB 101	5.4E+01	8.7E+01
PCB 138	5.4E+01	3.2E+01
PCB 153	1.2E+02	6.7E+01
PCB 180	1.7E+01	8.1E+00
Summe 6 Indikator-PCB	2.5E+02	2.8E+02
Summe PCB nach DIN	1.3E+03	1.4E+03
PCB 77	2.2E-02	0.0E+00
PCB 81	5.6E-04	3.0E-03
PCB 126	1.5E-02	7.2E-03
PCB 169	1.7E-03	3.9E-04
Summe nicht-ortho PCB	3.9E-02	1.1E-02
PCB 105	5.9E-01	2.7E+00
PCB 114	6.7E-03	1.7E-01
PCB 118	1.1E+01	1.7E+01
PCB 123	3.2E-01	1.4E+00
PCB 156	4.0E+00	2.0E+00
PCB 157	2.2E-01	1.8E-01
PCB 167	1.8E+00	1.1E+00
PCB 189	2.7E-01	9.5E-02
Summe mono-ortho PCB	1.9E+01	2.4E+01
TEQ [pg/m³]		
WHO TEQ PCB	4.9E+00	4.0E+00
WHO TEQ PCDD/PCDF	1.0E+00	7.8E-01
I-TEQ PCDD/PCDF	1.0E+00	7.7E-01
TEQ-% PCB	83	84



**Bayerisches Landesamt
für Umweltschutz**

Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86179 Augsburg
Telefon 0821/90 71-0
Telefax 0821/90 71-55 56