

Leitfaden für die Analytik von organischen Schadstoffen im Boden

Methodenübersicht



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

Hauptautoren: Wolfgang Friesl-Hanl, Sigrid Scharf

unter Mitarbeit von (in alphabetischer Reihenfolge): Andreas Baumgarten, Gertrude Billiani, Monika Denner, Manuel Facchin, Manfred Gattringer, Werner Hartl, Edwin Kalb, Jutta Kraus, Sonja Löw, Oliver Mann, Sonja Marhold, Nora Mitterböck, Wolfgang Moche, Philipp Neumüller, Sabine Nowotny, Barbara Perthen-Palmisano, Ernis Saracevic, Christoph Scheffknecht, Kurt Scheidl, Maria Uhl, Hermann Unterluggauer, Johannes Urteil, Josef Winkler, Dennis Worgull.

Grafikdesign: Leonie Fink

Fotonachweis: Bild Oben: Umweltbundesamt/B. Groeger (S. 1), Bild Unten: Maria Deweis (S.1), BMLRT/Paul Gruber (S. 3),

Das Zustandekommen dieses Leitfadens wurde mit der finanziellen Unterstützung des BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, durch die Abteilungen V/3-Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und Altlastensanierung, V/6-Abfallvermeidung, -verwertung, -beurteilung, V/5-Chemiepolitik und Biozide sowie der Abteilung VI/1-Allgemeine Klimapolitik ermöglicht.

Wien, 2022

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin/des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an andrea.spanischberger@bmlrt.gv.at.

Vorwort



Elisabeth Köstinger
Bundesministerin

Organische Schadstoffe sind in unseren Böden allgegenwärtig. Sie stellen uns jedoch vor viele Herausforderungen, denn sie können zum Problem für Menschen und Natur werden, insbesondere, wenn sie ins Grundwasser, in die Nahrungskette und in Lebensmittel gelangen. Die EU hat eine schadstofffreie Umwelt zum Ziel. Dafür benötigt es unter anderem harmonisierte Analysemethoden, die valide Daten liefern.

In diesem Leitfaden wurde das aktuell vorhandene Fach- und Praxiswissen bezüglich der Analytik von organischen Schadstoffen wie Dioxinen oder Pestiziden im Boden zusammengefasst. Expertinnen und Experten von Laboren öffentlicher Stellen, von privaten Betrieben sowie von Universitäten haben an diesem Leitfaden mitgewirkt. Im Vordergrund steht die Harmonisierung von Methoden für die Bodenanalyse. Damit soll erreicht werden, dass Analysenergebnisse unterschiedlicher Labore bestmöglich verglichen werden können.

So wird dieser Leitfaden ein wertvolles Instrument und eine wichtige Unterstützung für die Praxis der Bodenanalyse sein.

Elisabeth Köstinger
Bundesministerin

Inhalt

Impressum.....	2
Vorwort.....	3
1 Einleitung.....	6
2 Methodisches Vorgehen.....	8
2.1 Teilnehmende Labore.....	8
2.2 Erhebungen/Umfrage.....	9
2.3 Eignungsprüfungen.....	10
2.4 Prinzipien für die Ableitung von Empfehlungen.....	17
3 Probenahme und Probenvorbereitung.....	20
3.1 Probenahme.....	20
3.2 Probenvorbereitung.....	21
4 Analyse der Schadstoffgruppen.....	22
4.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	22
4.1.1 Zusammenfassung PAK-Analytik.....	27
4.2 Polychlorierte Biphenyle (ndl-PCB, dl-PCB).....	28
4.2.1 Zusammenfassung PCB-Analytik.....	36
4.3 Organochlorpestizide (OCP).....	37
4.3.1 Zusammenfassung OCP-Analytik.....	43
4.4 Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX).....	44
4.4.1 Zusammenfassung LCKW / BTEX-Analytik.....	49
4.5 Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS).....	49
4.5.1 Zusammenfassung PFAS-Analytik.....	53
4.6 Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F).....	53
4.6.1 Zusammenfassung PCDD/F-Analytik.....	55
4.7 Alkylphenole (Nonylphenole (NP), NP-Ethoxylate (NP1EO/NP2EO)).....	55
4.7.1 Zusammenfassung NP und NP1/2EO - Analytik.....	57
4.8 Chlorphenole (CPH).....	57
4.8.1 Zusammenfassung CP-Analytik.....	59
4.9 Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS).....	59
4.9.1 Zusammenfassung LAS-Analytik.....	61
4.10 Phthalate (PHTH).....	61

4.10.1 Zusammenfassung Phthalat-Analytik	63
4.11 Polychlorierte Naphthaline (PCN).....	63
4.11.1 Zusammenfassung PCN-Analytik	65
4.12 Polybromierte Diphenylether (PBDE).....	65
4.12.1 Zusammenfassung PBDE-Analytik	67
4.13 Zinnorganische Verbindungen (OZV).....	67
4.13.1 Zusammenfassung OZV	69
4.14 Exkurs: QuEChERS-Methode.....	69
5 Angaben zu den Ergebnissen	71
5.1 Allgemeines.....	71
5.2 Summenbildung in der Analytik	71
5.3 Ergebnisse der Labor-Kurz-Umfrage.....	73
Tabellenverzeichnis.....	83
Abbildungsverzeichnis.....	85
Literaturverzeichnis	86
Normenverzeichnis	89
Abkürzungen.....	95

1 Einleitung

Diese Broschüre des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz wurde von der Arbeitsgruppe „Organische Schadstoffe im Boden“ zusammengestellt und soll einerseits einen Informationsaustausch zu relevanten organischen Schadstoffen ermöglichen und andererseits eine Empfehlung bezüglich der entsprechenden Analysemethoden geben.

Boden stellt eine essentielle Lebensgrundlage dar, der eines quantitativen als auch eines qualitativen Schutzes bedarf. Der quantitative Bodenschutz betrifft im Wesentlichen den Schutz vor Flächenverbrauch. Der qualitative Bodenschutz ist notwendig, da sich die menschliche Lebensweise im Boden widerspiegelt, das sich wiederum in den Spurenstoffen im Boden zeigt. Die Vielzahl der Spurenstoffe spannt einen Bogen von Nähr- bis zu Schadstoffen. Die Schadstoffe werden in anorganische und organische Schadstoffe unterschieden.

Österreich verfügt über starke Kompetenz im Bereich Bodenanalytik. Das Analysenspektrum reicht von Bodenphysik, Bodenbiologie, Bodenhydrologie über Bodenchemie bis hin zur komplexen Spezialanalytik im innovativen Forschungsbereich. In dieser Broschüre sollen die aktuellen normativen und angewandten Analyseverfahren kategorisiert und bewertet werden.

Inhalt dieses Leitfadens sind ausgewählte organischen Schadstoffe, die derzeit im Bereich Bodenschutz von Relevanz sind.

Analysemethoden zu folgenden organischen Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen werden in dieser Broschüre behandelt.

- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)
- Organochlorpestizide (OCP)
- Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)
- Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole (BTEX)
- Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)
- Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F)
- Alkylphenole [Nonylphenol (NP), Ethoxylate (NP1/2EO)]

- Chlorphenole (CPH)
- Lineare Alkylsulfonate (LAS)
- Phthalate (PHTH)
- Polychlorierte Naphthaline (PCN)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE)
- Zinnorganische Verbindungen (OZV)

Mit diesem Leitfaden wird das aktuell vorhandene Fachwissen und Praxiswissen bezüglich der Analytik von organischen Schadstoffen komprimiert dargestellt. Die Grundlage für die Analytik bildet das Normungswesen, jedoch werden auch Abweichungen von der Norm aufgegriffen und in Bezug zur Praxisrelevanz gebracht.

Die Harmonisierung der Analysenmethoden von Bodenproben steht im Vordergrund dieses Leitfadens, um Ergebnisse unterschiedlicher Labore auch über Bundesländergrenzen hinweg mit vergleichbarer Qualität zu erzielen. Weiters wird versucht, die Methoden von Abfallproben (z. B. Bodenaushub, Klärschlamm) in diese Harmonisierung soweit wie möglich einfließen zu lassen.

Das Motto dieses Leitfadens lautet:

„Aus der Praxis für die Praxis – von AnalytikerInnen für AnalytikerInnen“.

2 Methodisches Vorgehen

Ausgehend vom Plenum des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz wurden interessierte Labore zur Mitarbeit in dieser Arbeitsgruppe eingeladen.

2.1 Teilnehmende Labore

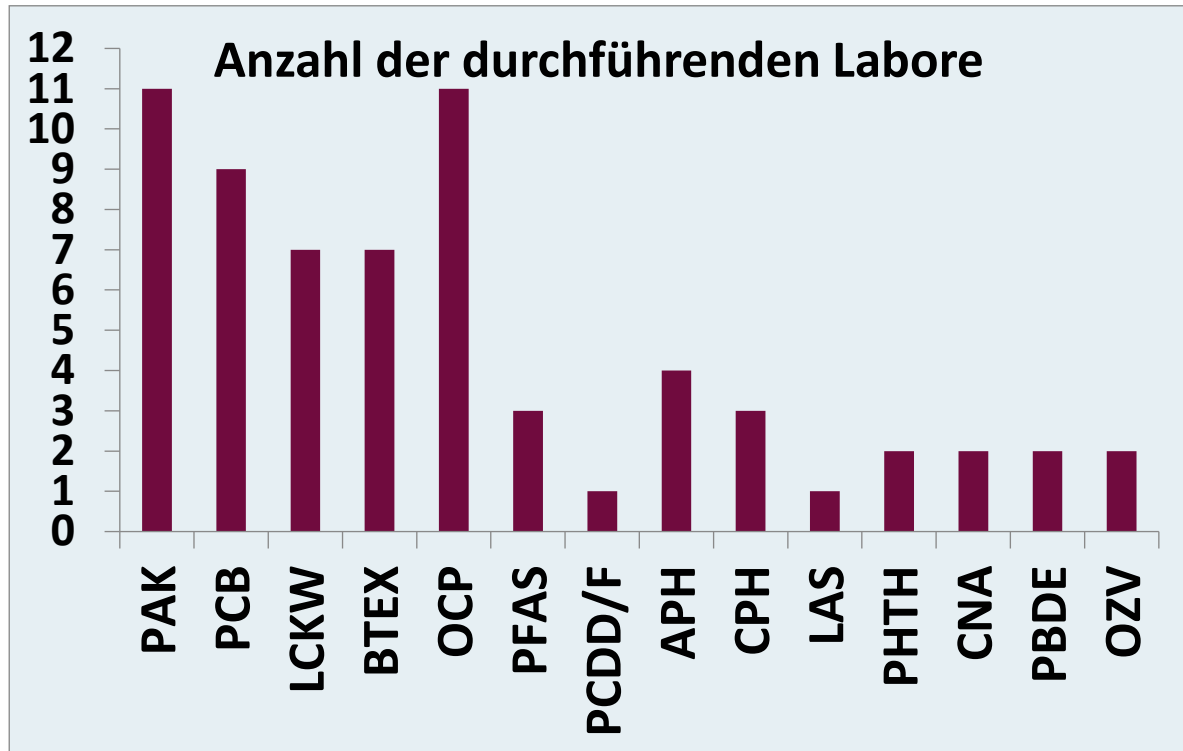
Bei der Arbeitsgruppe „Organische Schadstoffe im Boden“ haben 11 Labore teilgenommen. Neben Laboren öffentlicher Stellen konnten auch private Labore sowie Labore von Universitäten für die Teilnahme gewonnen werden, die in Tabelle 1 dargestellt werden.

Tabelle 1: Teilnehmende Labore aus Österreich

Labor	Ansprechperson	E-Mail Kontakt
Amt der Oö. Landesregierung. Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft. Abteilung Umweltschutz	Sonja Marhold	sonja.marhold@ooe.gv.at
AGROLAB Austria GmbH	Manfred Gattringer	manfred.gattringer@agrolab.at
ESW Consulting WRUSS ZT GmbH	Oliver Mann	oliver.mann@wruss.at
Umweltinstitut. Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg	Christoph Scheffknecht	christoph.scheffknecht@vorarlberg.at
Amt der Steiermärkischen Landesregierung. A10 Land- und Forstwirtschaft. Boden- und Pflanzenanalytik	Gertrude Billiani	gertrude.billiani@stmk.gv.at
Technische Universität Wien. Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement. Forschungsbereich Wassergütwirtschaft	Ernis Saracevic	erni@iwag.tuwien.ac.at
MAPAG	Sabine Nowotny	GC-Labor@mapag.at
Umweltbundesamt GmbH. Prüfstelle für Umwelt-, GVO und Treibstoffanalytik	Sigrid Scharf	sigrid.scharf@umweltbundesamt.at
Kalb Analytik AG	Edwin Kalb	e.kalb@kalb.ag
EnviroLab	Kurt Scheidl	kurt.scheidl@envirolab.at
AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit	Hermann Unterlugauer	hermann.unterluggauer@ages.at

Eine Umfrage innerhalb der Labore hat ergeben, welche Analysen von den jeweiligen Laboren durchgeführt werden (Abbildung 1).

Abbildung 1: Anzahl der Labore, die die jeweiligen Schadstoffgruppen analysieren.



(PAK ... Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe; PCB ... Polychlorierte Biphenyle; LCKW ... Leichtflüchtige Chlorierte Kohlenwasserstoffe; BTEX ... Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole; OCP ... Organochlorpestizide; PFAS ... Per- u. polyfluorierte Alkylsubstanzen; PCDD/F ... Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane; APH ... Alkylphenole, CPH ... Chlorphenole; LAS ... Lineare Alkylsulfonate, PHTH ... Phthalate, CNA ... Chlorierte Naphthaline; PBDE ... Polybromierte Diphenylether; OZV ... Organozinnverbindungen)

2.2 Erhebungen/Umfrage

Um den aktuellen Stand der angewendeten Analysenmethoden festzustellen, wurden Umfragen mittels Fragebogen durchgeführt. Hierzu wurden neben den verwendeten Normvorschriften auch folgende Informationen erfasst: Parametergruppe, Parameter, Probenvorbehandlung (Siebung, Lyophilisation, Lufttrocknung, ...), Lösungsmittel, Extraktionsverfahren, Abweichungen von der Norm, Messmethode (GC-MS, HPLC, ...), Nachweis- und Bestimmungsgrenzen sowie Akkreditierung (ja/nein).

2.3 Eignungsprüfungen

Zur besseren Vergleichbarkeit von Analysenergebnissen wurde eine Harmonisierung der angewendeten Bestimmungsmethoden angestrebt. Hierzu wurden zwei Ringversuche durchgeführt.

Beim **1. Ringversuch (RV)** zum Thema „Methodenvergleich PAK und PCB in Boden“, haben insgesamt 9 Labore, mit mehreren Probenvorbereitungsvarianten bezüglich Extraktionsverfahren und Lösungsmitteln, teilgenommen. Dafür wurden drei Realproben für die PAK 16 (EPA) Analytik und eine Realprobe für PAK 16 (EPA) und PCB 7 Analytik herangezogen. Die Proben wurden von den teilnehmenden Laboren zur Verfügung gestellt. Die Homogenisierung und Abfüllung für den Ringversuch erfolgte am Umweltbundesamt. Zur Anonymisierung der Ergebnisse wurde jedem Labor pro Variante (Extraktionsverfahren und Lösungsmittel) willkürlich ein Laborcode zugeteilt. Im Zuge des Ringversuchs wurden unterschiedliche Lösungsmittel (Toluol, *n*-Hexan, Cyclohexan, Aceton, Aceton/Petrolether, Aceton/Cyclohexan, Aceton/*n*-Hexan) und Extraktionsverfahren (Schüttler, Soxhlet, Ultraschall, ASE) angewendet und die Ergebnisse ausgewertet.

Zusammenfassung zum 1. Ringversuch: Als Fazit des PAK 16 (EPA) und PCB-Methodenvergleichs kann man festhalten, dass der Laboreinfluss, also die Standardabweichung zwischen den Laboren stärker ausgeprägt ist, als die Anwendung unterschiedlicher Analysenmethoden (Abbildung 2, Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 5, Abbildung 6). Abschließend kann auf Basis der untersuchten Kombinationen an Lösungsmitteln und Extraktionsverfahren festgestellt werden, dass unterschiedliche Extraktionsmethoden aber auch unterschiedliche Lösungsmittel für übliche Bodenproben weitgehend miteinander vergleichbare Ergebnisse liefern. Die Einflüsse unterschiedlicher Bodenarten bzw. Humusanteile (z. B. Lehm, humusreicher Waldboden) auf die Effizienz der verschiedenen Extraktionsmethoden konnte jedoch aufgrund der geringen Probenzahl beim Ringversuch nicht überprüft werden.

Die Wiederfindungsrate (WF) wird unabhängig von der Streuung der Ergebnisse, als prozentuelle Abweichung vom Sollwert berechnet und wird in den folgenden Abbildungen dargestellt. Innerhalb der blauen Linien wird das Ergebnis als gut, zwischen der blauen und der roten Linien als fragwürdig, und außerhalb der roten Linie als nicht zufriedenstellend bewertet.

Abbildung 2: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 1.

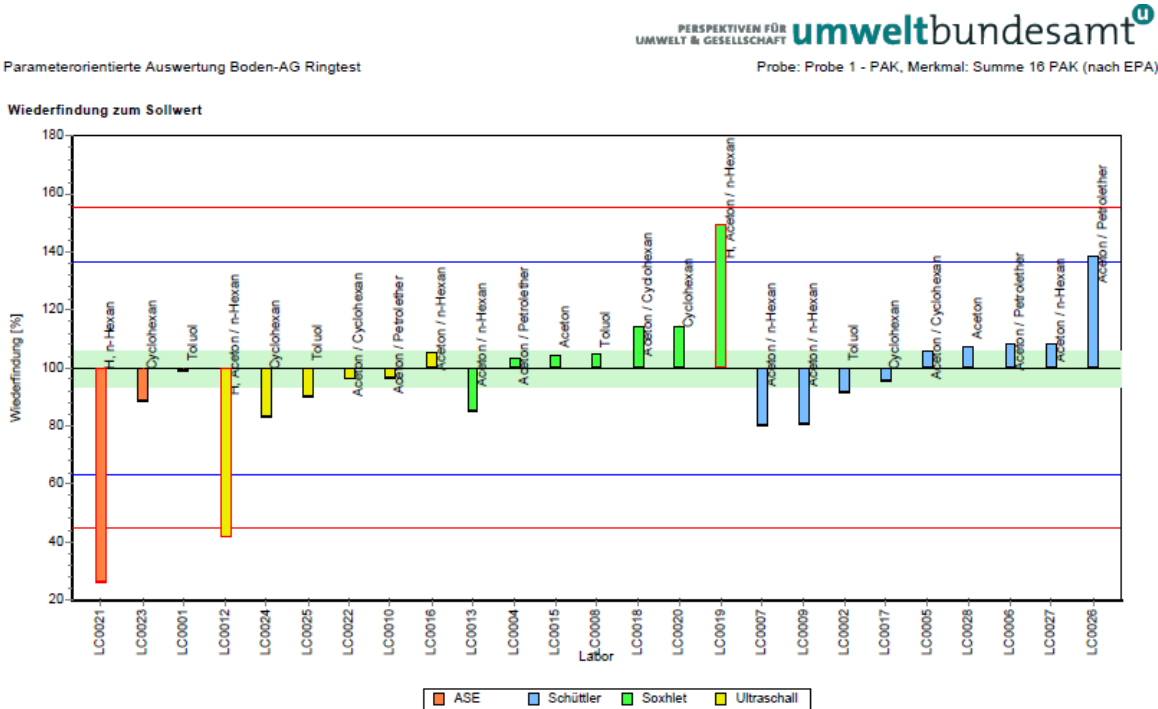


Abbildung 3: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 2.

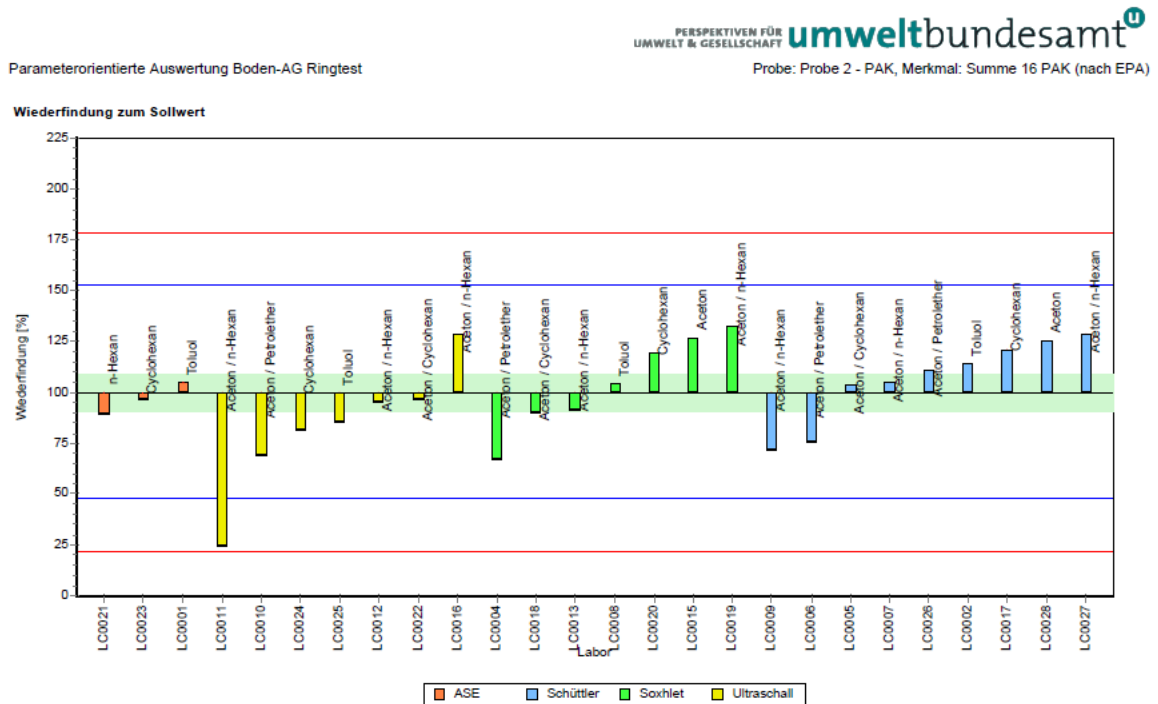


Abbildung 4: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 3.

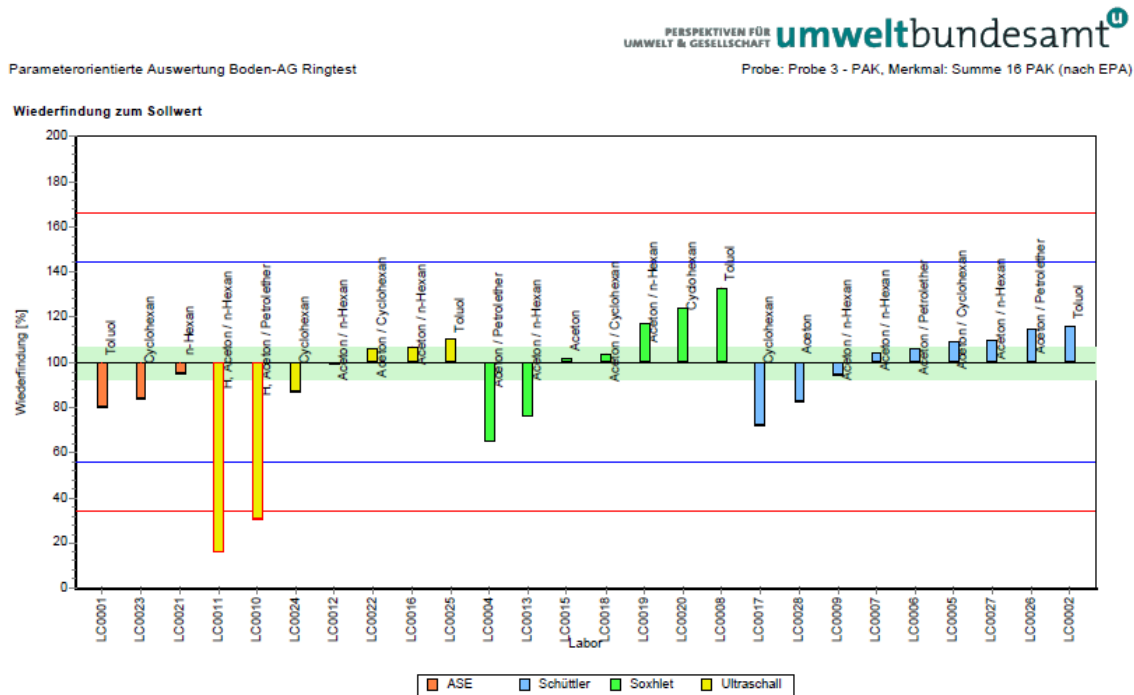


Abbildung 5: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 4.

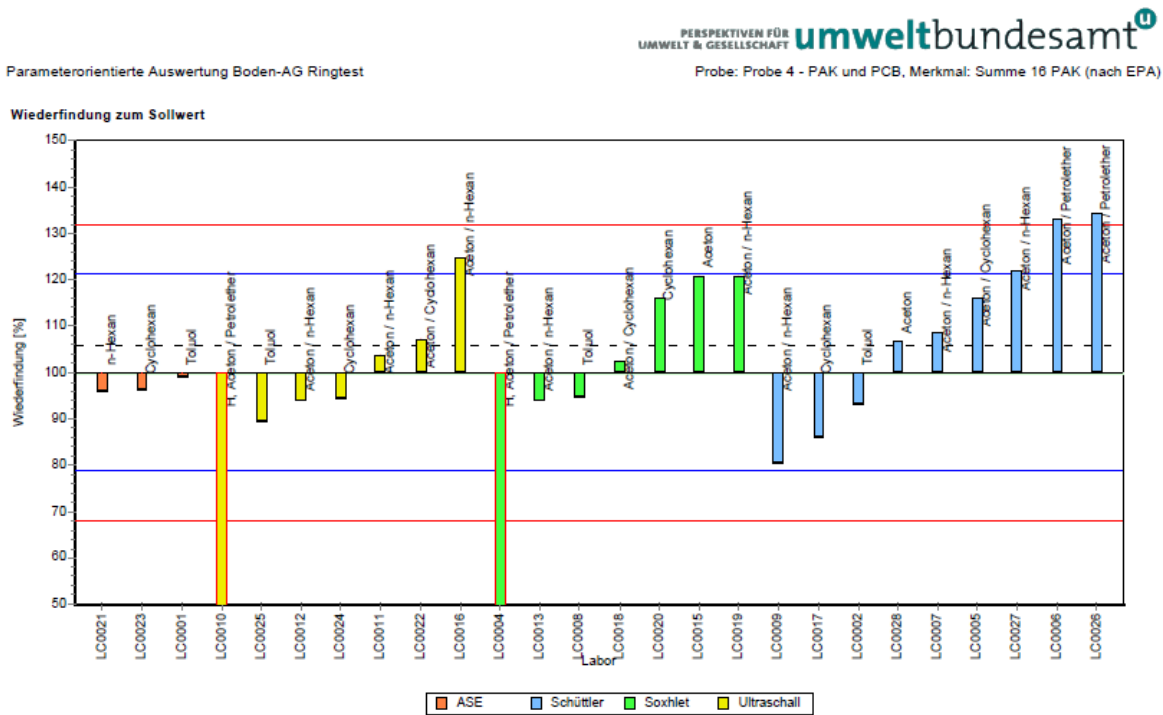
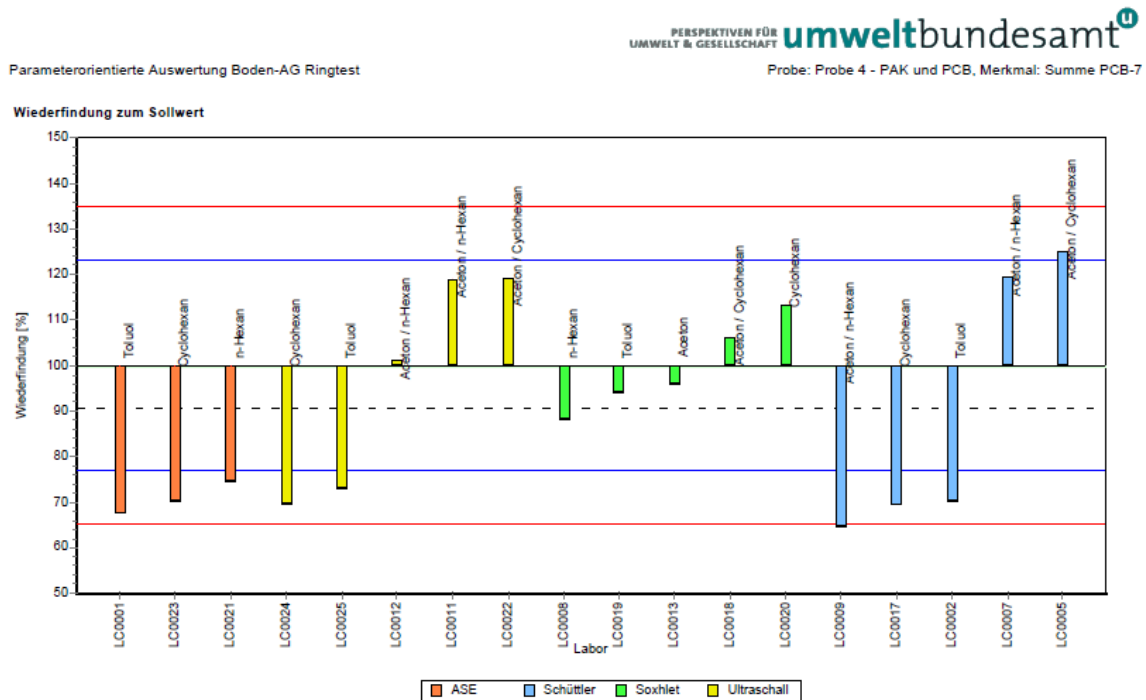


Abbildung 6: Wiederfindungsrate der Summe 7 PCB im Ringversuch 1 der Probe 4.

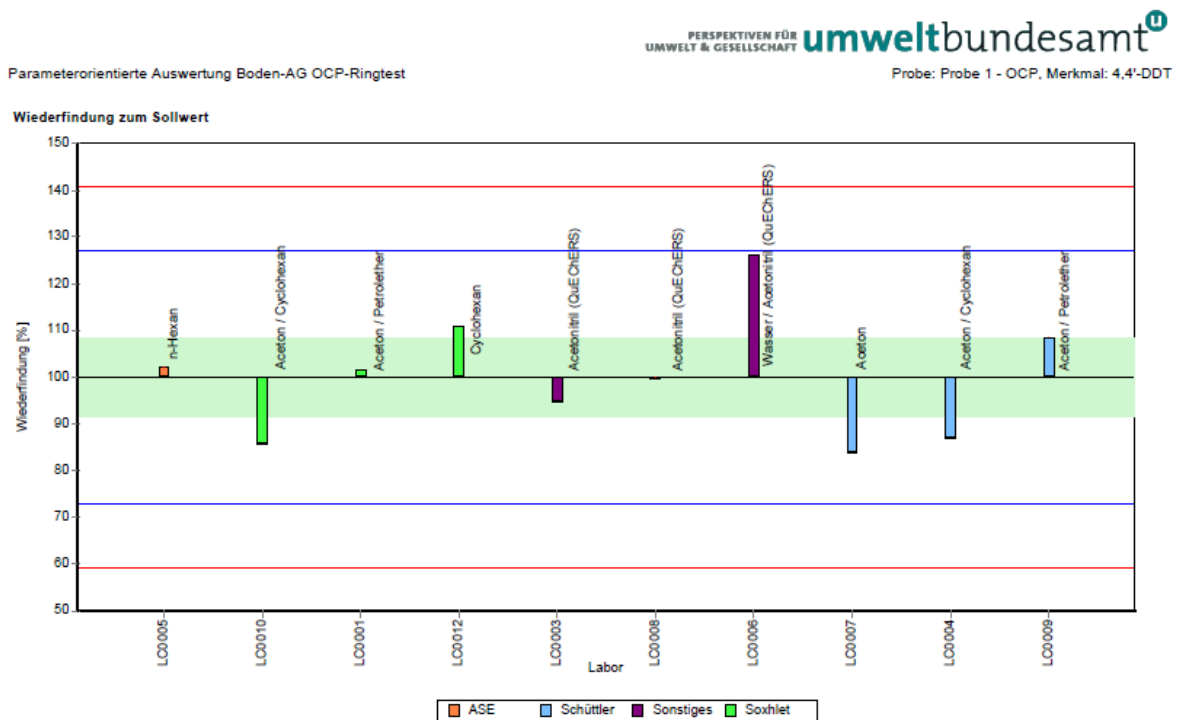


Beim 2. Ringversuch „Methodenvergleich Organochlorpestizide im Boden“, haben insgesamt 6 Labore teilgenommen. Dafür wurden eine Realprobe/Referenzprobe mit 13 Parametern der OCP und eine Realprobe mit HCB-Kontamination herangezogen. Der zweite Ringversuch wurde in ähnlicher Weise wie der erste Ringversuch durchgeführt. Folgende Parameter wurden analysiert: 4,4'-DDE, 4,4'-DDT, Aldrin, α -Endosulfan, α -Hexachlorcyclohexan, β -Endosulfan, β -Hexachlorcyclohexan, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Heptachlorepoxyd, Hexachlorbenzol, Lindan (γ -HCH), oxy-Chlordan, trans-Chlordan.

Zusammenfassung zum 2. Ringversuch: Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse des Ringversuchs, dass die Labore unabhängig von Extraktionsverfahren und Lösungsmittel vergleichbare Ergebnisse erzielen. Bei den unterschiedlichen Extraktionsverfahren (z. B. Soxhlet, Schüttler, ASE, QuEChERS) zeigen die durch die Schüttler-Methode erhaltenen Ergebnisse bei einigen Parametern geringere Werte. Auch bei den Lösungsmitteln (z. B. *n*-Hexan, Toluol, Cyclohexan) kommt es bei einzelnen Parametern zu merklichen Unterschieden. Die im Bodenbereich noch nicht etablierte QuEChERS-Methode hat sich als durchaus geeignet gezeigt, zu anderen etablierten Methoden vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Die Einflüsse unterschiedlicher Bodenarten bzw. Humusanteile (z. B. Lehm, humusreicher Waldboden) auf die Effizienz der verschiedenen Extraktionsmethoden konnte jedoch aufgrund der geringen Probenzahl beim Ringversuch nicht überprüft werden.

Beispielhaft werden die Ergebnisse von fünf Organochlorpestiziden aus dem Ringversuch 2 dargestellt: 4,4'-DDT (Abbildung 7), Aldrin (Abbildung 8), HCB, Lindan (γ -HCH) (Abbildung 9) und trans-Chlordan (Abbildung 10).

Abbildung 7: Wiederfindungsrate von 4,4'-DDT im Ringversuch 2 der Probe 1.



In Abbildung 7 kann man erkennen, dass die QuEChERS-Methode mit dem Extraktionsmittel Wasser/Acetonitril für 4,4'-DDT geringe Überbefunde zeigt, jedoch unter einer Wiederfindungsrate (WF) von 130 % bleibt. Andere Labore liegen mit der QuEChERS-Methode (Acetonitril) sehr nahe bei einer 100 %igen WF.

Fast alle Ergebnisse liegen im Bereich der Warngrenze (blaue Linie), lediglich Hexachlorbenzol und Lindan liegen bei der Soxhlet-Extraktion mit unterschiedlichen Extraktionsmitteln außerhalb (Abbildung 9, Abbildung 10). Solche Einzelabweichungen in der Analytik von organischen Schadstoffen deuten aber nicht auf einen systematischen Fehler hin, wodurch diese Methode als durchaus geeignet beurteilt werden kann.

Abbildung 8: Wiederfindungsrate von Aldrin im Ringversuch 2 der Probe 1.

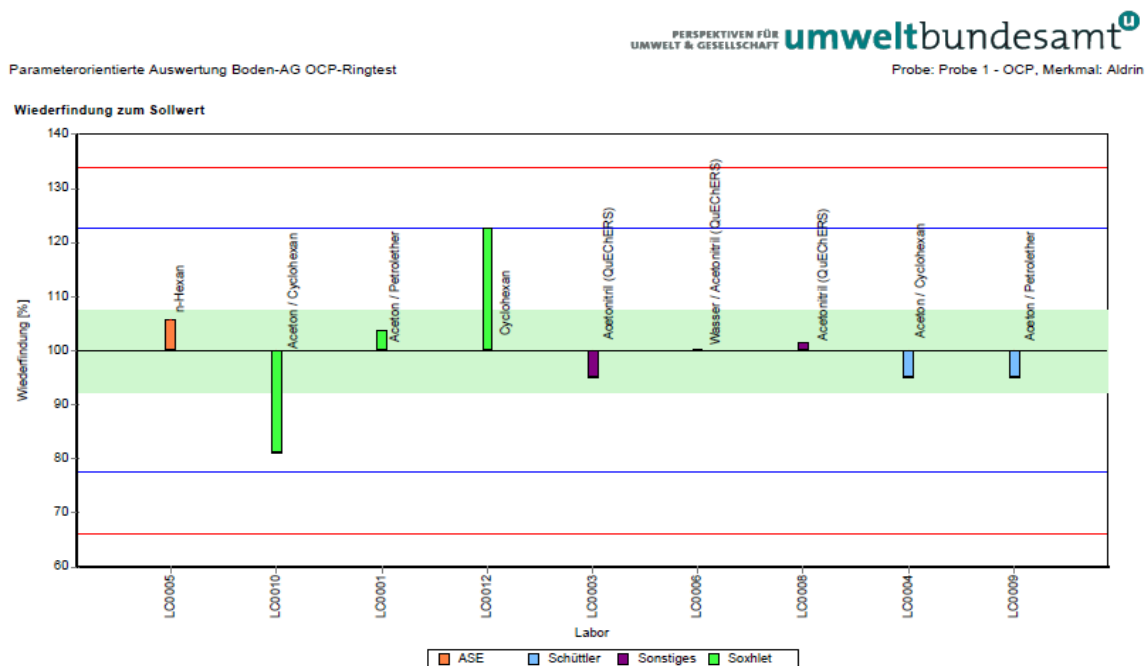


Abbildung 9: Wiederfindungsrate von Hexachlorbenzol im Ringversuch 2 der Probe 1

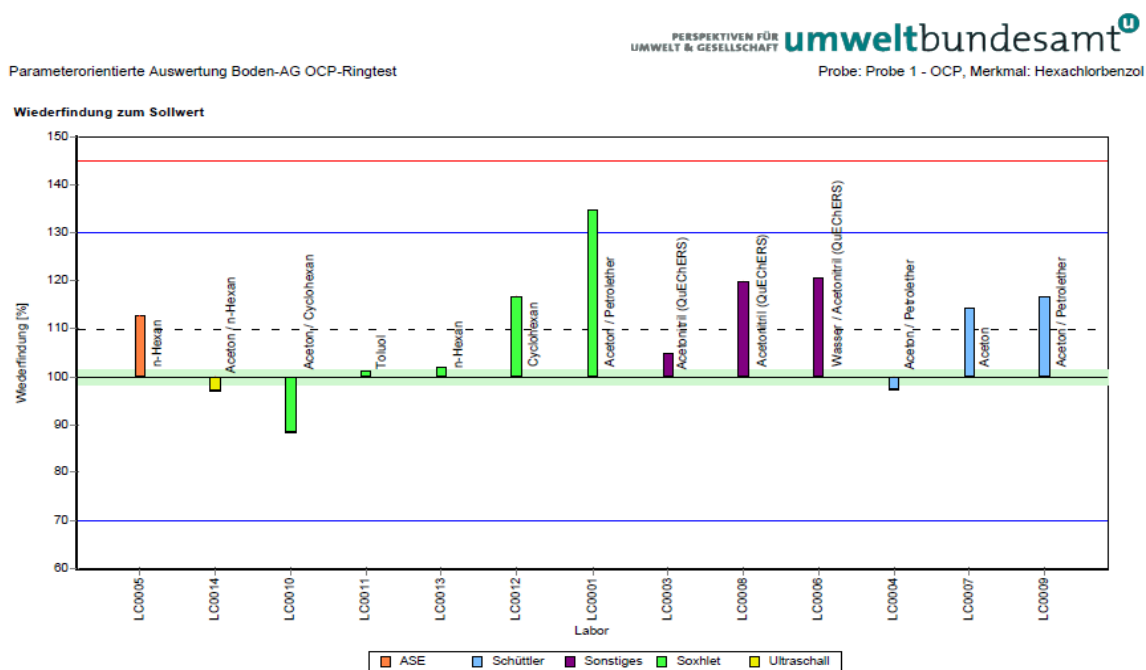


Abbildung 10: Wiederfindungsrate von Lindan (γ -HCH) im Ringversuch 2 der Probe 1.

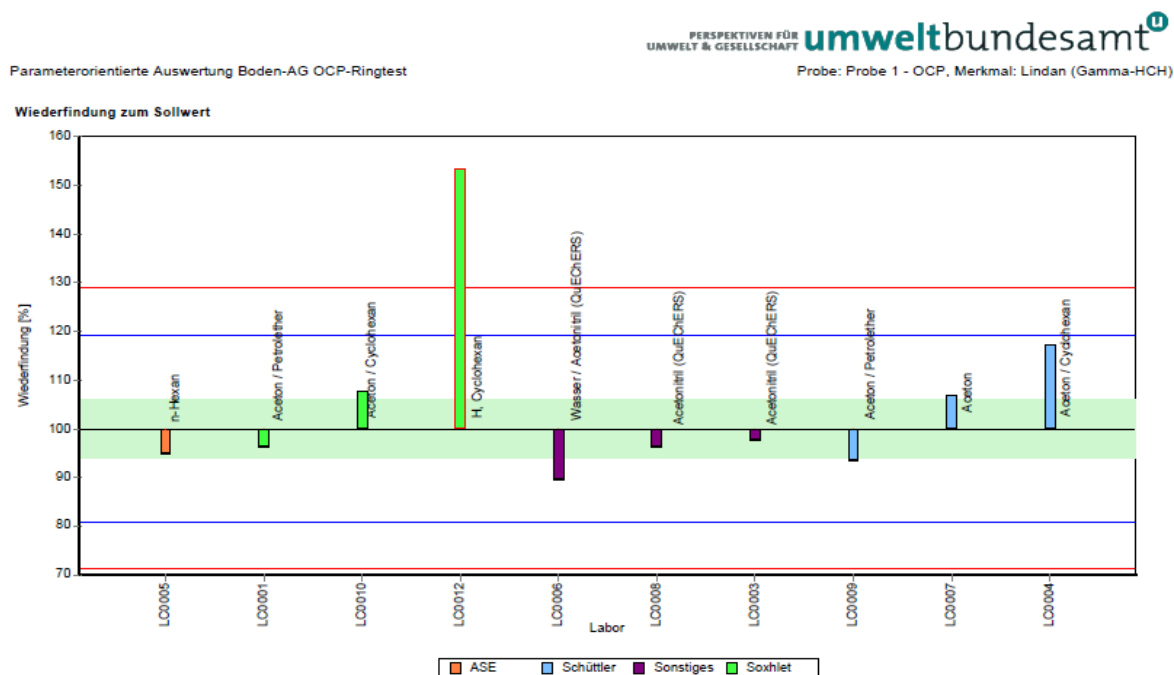
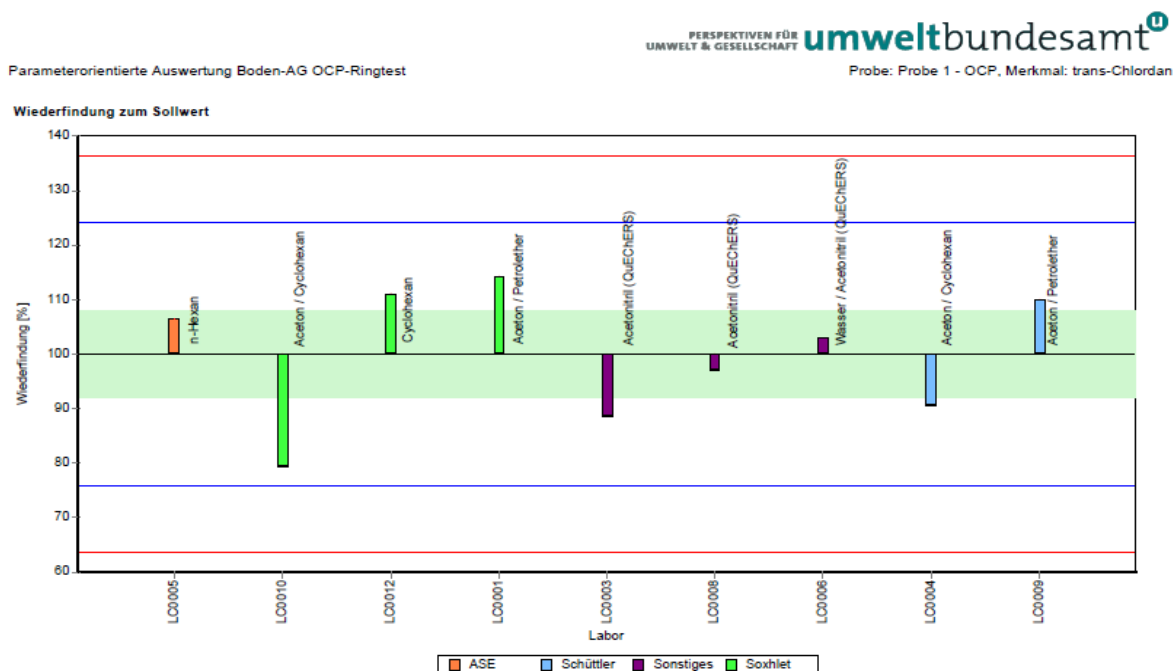


Abbildung 11: Wiederfindungsrate von trans-Chlordan im Ringversuch 2 der Probe 1.



Für weitere im Bericht behandelte organische Schadstoffe wurden keine Ringversuche durchgeführt (LHKW, BTEX, PFAS, PCDD/F, APH, CPH, LAS, PHTH, CHN, PBDE und OZV), da

eine zu geringe Anzahl von Laboren diese Parameter in ihrem Untersuchungsumfang haben (siehe Abbildung 1).

2.4 Prinzipien für die Ableitung von Empfehlungen

Für die Ableitung von Empfehlungen für ein bestimmtes methodisches Vorgehen wurde einerseits auf die Erfahrungen der teilnehmenden Labore zurückgegriffen und andererseits auf die folgenden Kriterien Bedacht genommen, die aus den Ringversuchsdaten abgeleitet wurden. Empfehlungen wurden grundsätzlich nur für normkonforme Anwendungen ausgesprochen.

Kriterien für die Auswahl bzw. Empfehlung von Analysemethoden (Gewichtung in Klammer):

- | | |
|---|--------|
| 1. Analysenqualität (valide Analysenergebnisse) | (80 %) |
| 2. Lösungsmitteltoxizität / Chemikali toxizität | (10 %) |
| 3. Zeitaufwand | (4 %) |
| 4. Lösungsmittelmenge / Chemikalienmenge | (2 %) |
| 5. Energieaufwand | (2 %) |
| 6. Abfallaufkommen | (2 %) |

Ad 1.: Grundvoraussetzung für die Methodenauswahl ist die Erzielung von validen Analysenergebnissen basierend auf guten Wiederfindungsraten, Empfindlichkeit, Robustheit, Reproduzierbarkeit. **Ad 2.:** Für die Einstufung der Toxizität der angewendeten Lösungsmittel wurde beispielhaft eine zu präferierende Reihung mit zunehmender Toxizität durchgeführt (**Aceton < Cyclohexan < Petrolether < n-Hexan < Toluol**) (Tabelle 2). **Ad 3.:** Auch der Zeitaufwand ist speziell für Routinelabore ein entscheidender Faktor und es gilt wie **Ad 4, Ad 5** und **Ad 6** „je geringer desto besser“.

Bei den Methoden, bei denen kein Ringversuch durchgeführt wurde (LHKW, BTEX, PFAS, PCDD/F, Alkylphenole, Chlorphenole, LAS, Phthalate, Chlornaphthaline, PBDE und Organozinnverbindungen), werden die derzeitig verfügbaren Normen dargestellt, jedoch ohne Empfehlung.

Trotz der in diesem Bericht ausgesprochenen Empfehlungen, ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass für alle Verfahren die in den jeweiligen Laboratorien zur Anwendung kommen, eine eigene Validierung als Kompetenznachweis durchzuführen ist.

Tabelle 2: Toxikologisch relevante Eigenschaften von Lösungsmitteln

Lösungsmittel	CAS-Nr.	LCI µg/m³	LD50 (Ratte) mg/kg	Harmonisierte Einstufung	Selbsteinstufung der Industrie
Toluol	108-88-3	2900	636	Flam. Liq. 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, STOT RE 2, Repr. 2 H225, H315, H304, H336, H373, H361 Flam. Liq 2, Eye Irrit. 2, STOT SE 3	Flam. Liq. 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, STOT RE 2, Repr. 2; Eye Irrit. 2, Aquatic Chronic 3 H225, H315, H304, H336, H373, H361, H319, H412 Flam. Liq 2, Eye Irrit. 2, STOT SE 3
Aceton	67-64-1	120000	5800	H225, H319, H336	H225, H319, H336
Cyclohexan	110-82-7	6000	12705	Flam. Liq 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1 H225, H315, H304, H336, H400, H410	Flam. Liq 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, Aquatic Acute 1, Aquatic Chronic 1 H225, H315, H304, H336, H400, H410
Petrolether	8032-32-4	(-)	16750	Asp. Tox. 1, Muta. 1B, Carc. 1B H304, H340, H350	Asp. Tox. 1, Muta. 1B, Carc. 1B, Flam. Liq. 1, Aquatic Chronic 2, Aqu. Chr. 3, Flam. Liq 1, Flam. Liq 2, Eye Irrit. 2, Repr. 2 H304, H340, H350, H411, H412, H224, H225, H319, H361
Gemisch aus					
... Pentan	109-66-0	960			
... Hexan	110-54-3	4300			
(engl. Ligroine)					
n-Hexan	110-54-3	4300	25000	Flam. Liq 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, STOT RE 2, Aquatic Chronic 2, Repr. 2 H225, H315, H304, H336, H373, H411, H361	Flam. Liq 2, Skin Irrit. 2, Asp. Tox. 1, STOT SE 3, STOT RE 2, Aquatic Chronic 2, Repr. 2, Eye Irrit. 2, Aquatic Acute 1 H225, H315, H304, H336, H373, H412, H361, H319, H400
Acetonitril	75-05-8	(-)	2730	Flam. Liq 2, Acute Tox. 4, Eye Irrit. 2 H225, H302, H312, H319, H332	Flam. Liq 2, Acute Tox. 4, Eye Irrit. 2, STOT SE 3, STOT SE 2 H225, H302, H312, H319, H332, H336, H335

Abkürzungen: Siehe nächste Seite

LCI ...Lowest concentration of interest (Geringste Konzentration von Bedeutung) humanrelevant und für längerfristige Exposition; LD50 ... Lethale Dosis bei der 50 % der Versuchstiere gestorben sind (https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction/eu-lci/values_de).

Acute Tox. 2: Akute Toxizität Kategorie 2; Acute Tox. 3: Akute Toxizität Kategorie 3; Acute Tox. 4: Akute Toxizität Kategorie 4; Aquatic Acute 1: Akut wassergefährdend Kategorie 1; Aquatic Chronic 1: Chronisch wassergefährdend Kategorie 1; Aquatic Chronic 3: Chronisch wassergefährdend Kategorie 3; Aquatic Chronic 4: Chronisch wassergefährdend Kategorie 4; Asp. Tox. 1: Aspirationsgefahr Kategorie 1; Carc. 1A: Karzinogenität Kategorie 1A; Carc. 1B: Karzinogenität Kategorie 1B; Carc. 2: Karzinogenität Kategorie 2; Eye Dam. 1: Schwere Augenschädigung Kategorie 1; Eye Irrit. 2: Irritierende Wirkung auf die Augen Kategorie 2; Flam. Sol. 1: Entzündbare Feststoffe Kategorie 1; Flam. Liq. 2: Entzündbare Flüssigkeiten Kategorie 2; Flam. Liq. 3: Entzündbare Flüssigkeiten Kategorie 3; Lact.: Reproduktionstoxizität; Muta 1B: Keimzell-Mutagenität Kategorie 1B; Muta. 2: Keimzell-Mutagenität Kategorie 2; Pyr. Sol. 1: Pyrophore Feststoffe Kategorie 1; Repr. 1A: Reproduktionstoxizität Kategorie 1A; Repr. 1B: Reproduktionstoxizität Kategorie 1B; Repr. 2: Reproduktionstoxizität Kategorie 2; Resp. Sens. 1: Sensibilisierung der Atemwege Kategorie 1; Skin Corr. 1: Ätzwirkung auf die Haut Kategorie 1; Skin Irrit. 2: Irritierende Wirkung auf die Haut Kategorie 2; Skin Sens. 1: Sensibilisierung der Haut Kategorie 1; STOT RE 1: Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition) Kategorie 1; STOT RE 2: Spezifische Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition) Kategorie 2; STOT SE 3: Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition) Kategorie 3; Water-react. 1: Stoffe oder Gemische, die bei Berührung mit Wasser entzündbare Gase abgeben Kategorie 1.

Physikalische Gefahren: H224: Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar; H225: Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar.

Gesundheitsgefahren: H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken; H304: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken; H315: Verursacht Hautreizungen, H319: Verursacht schwere Augenreizungen; H335: Kann die Atemwege reizen; H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.; H340: Kann genetische Defekte verursachen; H361: Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen; H362: Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen; H371: Kann die Organe schädigen; H373: Kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition.

Umweltgefahren: H400: Sehr giftig für Wasserorganismen; H410: Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung; H412: Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

3 Probenahme und Probenvorbereitung

Neben der Probenahme hat die Probenvorbereitung wesentlichen Anteil an der Qualität der Analysenergebnisse.

Basis für die Bodenprobenanalytik ist einerseits die geeignete Bodenprobenahme und andererseits die entsprechende Probenvorbereitung. Hierzu wird auf die gängigen Normen verwiesen.

3.1 Probenahme

- ÖNORM EN ISO 25177:2020-03-15; Bodenbeschaffenheit - Bodenbeschreibung im Felde (ISO 25177:2019)
- ÖNORM L 1050:2016-03-15; Boden als Pflanzenstandort - Begriffe und Untersuchungsverfahren
- ÖNORM L 1054:2004 07 01; Probenahme von Böden - Allgemeines, Terminologie
- ÖNORM L 1055:2004 07 01; Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden
- ÖNORM L 1056:2004 07 01; Probenahme von Dauergrünland (inklusive Parkanlagen, sowie Zier- und Sportrasen)
- ÖNORM L 1057:2004 07 01; Probenahme von wein- und obstbaulich genutzten Böden und Böden von Baumschulen
- ÖNORM L 1058:2004 07 01; Probenahme von Böden in geschütztem Anbau, Substraten und Nährlösungen
- ÖNORM L 1059:2004 07 01; Probenahme von Waldböden
- ÖNORM EN 14899:2006 02 01; Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen
- ÖNORM S 2126:2016 02 01; Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit
- ÖNORM S 2127:2011 11 01; Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen

3.2 Probenvorbereitung

Zu den wesentlichen Tätigkeiten im Labor zählt zu Beginn die Probenvorbereitung. Hierzu wird auf die gängigen Normen verwiesen.

- ÖNORM L 1053:2012 04 15; Bodenuntersuchungen - Allgemeine Grundlagen
- ÖNORM EN 16179:2012-10-15; Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden — Anleitung zur Probenvorbehandlung
- ÖNORM EN ISO 16720:2007 05 01; Bodenbeschaffenheit - Vorbehandlung von Proben durch Gefriertrocknung für die anschließende Analyse (ISO 16720:2005)
- ÖNORM EN 15002:2015 07 01; Charakterisierung von Abfällen — Herstellung von Prüfmengen aus der Laborprobe

4 Analyse der Schadstoffgruppen

4.1 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Zu der Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gehören alle Verbindungen, die aus zwei bis sieben aromatischen Kohlenwasserstoffringen aufgebaut sind (UBA, 2012). Die Eigenschaften der einzelnen PAK hängen von der Zahl der Kohlenwasserstoffringe ab. Im Allgemeinen sind PAK lipophil, das bedeutet, dass sie sich in Wasser schlecht, aber in Fetten oder Ölen gut lösen. Mit zunehmender Zahl der Kohlenwasserstoffringe nimmt diese Tendenz zu. PAK entstehen vor allem durch nicht vollständige Verbrennung organischer Materialien (z.B. Kohle, Heizöl, Kraftstoffe, Holz). Je niedriger die Temperaturen bei der Verbrennung sind und je weniger Sauerstoff zur Verfügung steht, desto mehr PAK entstehen. Sie werden vor allem über den Luftweg verbreitet.

Einstufungen erfolgen an Hand des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien: Die meisten der 16 PAK sind als krebserregend (H350) sowie als sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) eingestuft. **Benz[*a*]pyren** als Leitsubstanz für die Gruppe der PAK wird wie folgt eingestuft: Kann allergische Hautreaktionen verursachen (Skin Sens.1, H317), kann genetische Defekte verursachen (Muta. 1B, H340), kann Krebs erzeugen (Carc. 1B, H350), kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 1B, H360FD), sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe sind PAK im Anhang III (Teil B) aufgelistet, die den Bestimmungen zur Verringerung der Freisetzung unterliegen. Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn der PAK Gesamtgehalt 300 mg/kg TM bzw. 1,5 mg/kg TM im Eluat¹ übersteigt. Für die Leitsubstanz Benzo[*a*]pyren wurde im Gefahrenmerkmal HP15 ein spezifischer Gesamtgehalt von 50 mg/kg TM festgelegt.

¹ Eluat gemäß ÖNORM S 2117 „Herstellung eines Eluates aus ungemahlenden Abfallproben mit einer Korngröße kleiner 10 mm für die Untersuchung der aquatischen Ökotoxizität und der organischen Parameter“, ausgegeben am 1. Februar 2018

Im Boden sind PAK sehr persistent. Sie akkumulieren und werden an die organische Substanz angelagert. Der Boden gilt daher als guter Indikator für Langzeitbelastung. Unter der großen Zahl der Einzelkomponenten nimmt Benzo[*a*]pyren (B[*a*]P) aufgrund seines kanzerogenen, mutagenen und reproduktionstoxischen Potentials eine Sonderstellung ein. Als Leitsubstanz wird B[*a*]P in umweltrelevanten Untersuchungen bestimmt und diskutiert, zu- meist wird aber die Summe aus 6 Komponenten (Fluoranthen, Benzo[*b*]fluoranthen, Benzo[*k*]fluoranthen, Benzo[*a*]pyren, Indeno[1,2,3-*cd*]pyren, Benzo[*g,h,i*]perylene) (WHO), die ebenfalls kanzerogene Wirkung haben als Indikatorparameter für Umweltbelastungen herangezogen. Nach EPA (US Environmental Protection Agency) wird die Summe aus 16 Komponenten (Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthen, Pyren, Benzo[*a*]anthracen, Chrysen, Benzo[*b*]fluoranthen, Benzo[*k*]fluoranthen, Benzo[*a*]pyren, Dibenzo[*a,h*]anthracen, Indeno[1,2,3-*cd*]pyren, Benzo[*g,h,i*]perylene) gebildet und zur Bewertung verwendet.

Für die Analyse der PAK befinden sich derzeit drei Normen in Anwendung. Den jeweiligen Normen liegt ein Multi-Matrix-Charakter zugrunde, der die Auswahl einzelner Module ermöglicht:

- **ÖNORM EN 16181:2018**; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)
- **ÖNORM EN 15527:2008**; Charakterisierung von Abfällen – Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS).
- **ÖNORM L 1200:2003**; Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten (2012 zurückgezogen).

Tabelle 3: Übersicht über die Normgrundlagen zur PAK-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (X) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren.

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)						
Methode	Mögliche Kombinationen	ÖNORM EN 16181: 2018	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)				
			Toluol	Aceton/ Petrolether	Aceton/ n-Hexan	Aceton/n-Hexan; NaCl (feuchte Probe)	
		ASE	x				
		Schüttler	x	X		[X]	
		Ultraschall	x				
		Soxhlet	X		x		
Methode	ÖNORM EN 15527: 2008	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)					
Mögliche Kombinationen		Cyclohexan	n-Hexan	Aceton/ n-Hexan	Aceton/ Cyclohexan	Aceton/ Petrolether	
	ASE	x	x				
	Schüttler	x		X	X	X	
	Ultraschall	x		X	X	X	
	Soxhlet			X	X	X	
Methode	ÖNORM L 1200: 2003	Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten					
Mögliche Kombinationen		Cyclohexan	Aceton	Aceton/Petrolether		Toluol	
	Schüttler			[X]			
	Soxhlet	X	X			[X]	
		X (fett) ... normkonform			x ... normabweichend		
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt					
		ÖNORM L 1200:2003 zurückgezogen 2012					
Bemerkungen	Für die Durchführung der PAK-Analytik in Bodenproben wird die ÖNORM EN 16181:2018 empfohlen. Entsprechend dem durchgeführten Ringversuch stellen die EN 15527:2008 sowie die ÖNORM L 1200:2003 jeweils gleichwertige Alternativen dar. Auch alle angeführten Lösungsmittel führen bei der Extraktion zu gleichwertigen Ergebnissen.						

Tabelle 4: PAK-Analytik: ÖNORM EN 16181:2018

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)				
Methode	ÖNORM EN 16181:2018	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)			
Mögliche Kombinationen		Toluol	Aceton/ Petrolether	Aceton/ n-Hexan	Aceton/ n-Hexan; NaCl (feuchte Probe)
	ASE	x			
	Schüttler	x	X		[X]
	Ultraschall	x			
	Soxhlet	X		x	
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend	
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt			
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Entsprechend der Norm dürfen aufgrund unterschiedlicher Probenmatrices auch unterschiedliche Extraktionsverfahren angewendet werden (Multi-Matrix-Charakter). In der Norm wird bei bestimmten Matriceigenschaften eine Empfehlung für bestimmte Kombinationen abgegeben. Nach erfolgter Vorbehandlung zur Verminderung des Feuchtigkeitsgehaltes wird die Extraktion mit einem bestimmten Lösungsmittel durchgeführt. Diese Norm legt die quantitative Bestimmung von 16 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Schlamm und behandeltem Bioabfall unter Anwendung der GCMS und HPLC-UV-DAD/FLD fest. Mit diesem Verfahren können auch weitere PAK-Verbindungen analysiert werden, sofern die Eignung des Verfahrens nachgewiesen ist. Bei Anwendung der Fluoreszenzdetektion kann Acenaphthylen nicht gemessen werden. Üblicherweise kann für jeden einzelnen PAK eine untere Anwendbarkeitsgrenze von 0,01 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) sichergestellt werden (gekürzt nach ÖNORM EN 16181:2018).				
Vorteile	Modulare Anwendung ist möglich, wie in obiger Tabelle ersichtlich. Speziell für Bodenproben geeignet.				
Empfehlung	Die Anwendung dieser Norm kann für die PAK-Analysen in Bodenproben empfohlen werden. In Anlehnung an die Auswahlkriterien (Kapitel 2.4) soll auf die Verwendung von Toluol aufgrund der hohen Toxizität verzichtet und dem Schüttler-Verfahren der Vorzug gegeben werden (Energieaufwand am geringsten).				

Tabelle 5: PAK-Analytik: ÖNORM EN 15527:2008

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)					
Methode	ÖNORM EN 15527:2008	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)				
MöglicheKombi-nationen		Cyclohexan	n-Hexan	Aceton/ n-Hexan	Aceton/ Cyclohexan	Aceton/ Petrolether
	ASE	x	x			
	Schüttler	x		X	X	X
	Ultraschall	x		X	X	X
	Soxhlet			X	X	X
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend		
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Entsprechend der Norm werden die PAK mit Aceton und einem hexanähnlichen Lösemittel aus der Probe extrahiert. Nach einem Reinigungsschritt durch die Adsorptionssäulenchromatographie wird die Analyse mittels Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) durchgeführt. Dieses Verfahren legt die quantitative Bestimmung von 16 PAK fest. Diese Norm gilt für Abfälle, wie z. B. kontaminierten Boden, Schlamm und Bauschutt, Bitumen und bitumenhaltigen Abfall. Unter den festgelegten Bedingungen kann für jede Einzelsubstanz eine typische untere Anwendungsgrenze von 0,1 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) erzielt werden (gekürzt nach ÖNORM EN 15527:2008).					
Vorteile	Die Analyse mittels GC-MS wird als am geeignetsten für verunreinigte Matrices gesehen.					
Nachteile	Nur unter bestimmten Umständen kann das Verfahren auf PAK-Konzentrationen <0,1 mg/kg anwendbar sein.					
Empfehlung	Die Anwendung dieser ÖNORM kann für die PAK-Analysen von Bodenproben empfohlen werden. In Anlehnung an die Auswahlkriterien (Kapitel 2.4) ist der Verwendung von Aceton/Cyclohexan (geringste Toxizität) und dem Schüttler-Verfahren (Energieaufwand am geringsten) der Vorzug zu geben.					

Tabelle 6: PAK-Analytik: ÖNORM L 1200:2003

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)				
Angewendete Methode	ÖNORM L 1200:2003 Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten				
Mögliche Kombinationen		Cyclohexan	Aceton	Aceton/ Petrolether	Toluol
	Schüttler			[X]	
	Soxhlet	x	x		[X]
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend	
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt			
		ON L 1200:2003 zurückgezogen 2012			
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Entsprechend der Norm werden die PAK entweder mit Aceton und Petrolether oder Toluol bzw. Hexan aus der Probe extrahiert. Nach einem Reinigungsschritt durch die Adsorptionssäulenchromatographie wird die Analyse mittels Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) oder Hochleistungs-Flüssig-Chromatographie (HPLC) durchgeführt. Die ÖNORM beschreibt Verfahren für die quantitative Bestimmung von PAK in Böden, Klärschlämmen und Komposten. Das Verfahren ist geeignet für PAK-Gehalte von mindestens 0,02 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) je Einzelsubstanz (gekürzt nach ÖNORM L 1200:2003).				
Vorteile	Die Analyse mittels GC-MS wird als am geeignetsten für verunreinigte Matrices gesehen.				
Nachteile	Nicht mehr gültig.				
Empfehlung	Die Anwendung dieser ÖNORM kann für die PAK-Analysen von Bodenproben NICHT mehr empfohlen werden, da die Norm 2012 zurückgezogen wurde. Die im Ringversuch erzielten Ergebnisse liegen jedoch im akzeptablen Bereich. Derzeit stehen in der Deponieverordnung die ÖNORM L 1200:2003 sowie die ÖNORM EN 15527:2008 zur Auswahl. Künftig, nach in Kraft treten der Novelle der DepVO, werden die ÖNORM EN 15527:2008 sowie die ÖNORM EN 16181:2018 zur Auswahl stehen.				

4.1.1 Zusammenfassung PAK-Analytik

Für die Analytik der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) stehen derzeit drei Normen (ÖNORM EN 16181:2018; ÖNORM EN 15527:2008; ÖNORM L 1200:2003 (zurückgezogen 2012)) zur Verfügung, die in diesem Leitfaden behandelt werden.

Die für die PAK-Analytik dargestellten Normen sind alle geeignet, valide Analysenwerte zu erzielen. Für die Analyse von Bodenproben wird die ÖNORM EN 16181:2018 - Extraktion durch Schütteln mittels Aceton/Petrolether - empfohlen. Die erwähnten Empfehlungen wurden auf Basis der Auswahlkriterien Analysenqualität und Toxizität der Lösungsmittel (Kapitel 2.4) getroffen. Aufgrund der in den Matrices potentiell vorliegenden Verunreini-

gungen hat sich die Analytik mittels GC-MS als die am geeignetste Analysenmethodik herausgestellt, da die Zugabe von isotoopenmarkierten Surrogaten in der Probe möglich ist. Dies hat sich in der Praxis auch durchgesetzt.

Für die Analyse von Abfallproben (z. B. Bodenaushub) stehen derzeit in der Deponieverordnung die ÖNORM L 1200:2003 sowie die ÖNORM EN 15527:2008 zur Auswahl. Künftig, nach in Kraft treten der Novelle der DepVO, werden die ÖNORM EN 15527:2008 sowie die ÖNORM EN 16181:2018 verpflichtend zur Auswahl stehen.

4.2 Polychlorierte Biphenyle (ndl-PCB, dl-PCB)

Bei den **polychlorierten Biphenylen (ndl-PCB)** handelt es sich um Mischungen chlorierter aromatischer Kohlenwasserstoffe, welche seit 1930 intensiv industriell genutzt wurden. Diese Substanzen sind sehr stabil und wurden daher in Transformatoren, elektrischen Isolatoren, Dichtungsmassen sowie Wärmetauscherflüssigkeiten verwendet. In Abhängigkeit von Anzahl und Stellung der Chloratome ergeben sich 209 mögliche PCB. Je höher der Chlorierungsgrad, desto stärker nimmt die Fettlöslichkeit, die Stabilität und die Anreicherungstendenz von PCB in Organismen und der Umwelt zu. Die so genannten Ballschmitter PCB, Indikator PCB oder ndl-PCB sind eine Auswahl von sechs Kongeneren (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180), die in technisch hergestellten PCB-Produkten in höchsten Konzentrationen vorkommen. Manchmal wird auch die Summe von sieben PCB (inkl. PCB-118) bestimmt.

Die Einstufungen des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien lauten: Die Schadstoffgruppe der PCB kann die Organe schädigen bei längerer oder wiederholter Exposition (STOT RE 2, H373). Weiters sind sie als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft (ECHA, 2020).

Bei den **dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen (dl-PCB)** handelt es sich um 12 Kongenere, wovon vier (PCB-77, PCB-82, PCB-126, PCB-169) zu den co-planaren PCB und acht (PCB-105, PCB-114, PCB-118, PCB-123, PCB-156, PCB-157, PCB-167, PCB-189) zu den mono-ortho PCB zählen. Diese 12 PCB zeigen vergleichbare biologische und toxische Wirkungen wie die planar gebauten Dioxine und werden deshalb als „dioxinähnliche PCB“ (engl. dioxinlike PCB oder dl-PCB) bezeichnet. Dioxinähnliche PCB sind in den technischen PCB-Gemi-

schen als Spurenbestandteile enthalten und werden auch bei Verbrennungsprozessen gebildet. Ähnlich wie für die 2,3,7,8-substituierten Dioxine wurden von der WHO für diese 12 PCB-Kongener Toxizitätsäquivalenzfaktoren festgelegt, welche die dioxinähnliche Wirksamkeit relativ zum 2,3,7,8-TCDD gewichten. Für die Einstufung nach GHS kann auf das Dioxin-Kapitel (4.6) verwiesen werden.

Außer im Lebensmittelbereich werden die dl-PCB noch in keinem anderen Bereich gesetzlich zur Analyse vorgeschrieben (z.B. Abfallwirtschaft, Boden). Auf EU Ebene wird dzt. diskutiert, ob in Zukunft eine Bestimmung dieser vorgegeben werden soll.

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe sind PCB im Anhang I (Teil A, mit Ausnahmen) aufgelistet, die entsprechend Artikel 3 verboten sind. Weiters sind PCB im Anhang III (Teil A) aufgelistet, die den Bestimmungen zur Verringerung der Freisetzung unterliegen. Im Stockholmer Übereinkommen sind PCB seit dem Jahr 2004 im Anhang A (Eliminierung) und C (Verringerung der Freisetzung) gelistet. Auch ist im Anhang IV in der Liste der Stoffe, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen, ein Grenzwert von 50 mg/kg festgelegt. Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn der PCB Gehalt (Gesamtschadstoffgehalt) den Grenzwert 30 mg/kg übersteigt.

Für den Abfallbereich ist zu beachten, dass sich die EU-Definition für PCB auf die Begriffsbestimmung in Art 2 Buchstabe a der Richtlinie 96/59/EG bezieht und daher folgende Stoffe (siehe auch AbfallverzeichnisVO 2020) erfasst werden müssen: Summe der Kongener PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153, PCB-180 sowie polychlorierte Terphenyle (PCT), Monomethyltetrachlordiphenylmethan, Monomethyldichlordiphenylmethan, Monomethyldibromdiphenylmethan.

Gemäß EU-POP-V ist für Altöle und Mineralöle (Betriebsmittel) die Berechnungsmethode gemäß ÖNORM EN 12766-1 „Mineralölerzeugnisse und Gebrauchttöle - Bestimmung von PCB und verwandten Produkten - Teil 1: Trennung und Bestimmung von ausgewählten PCB Kongeneren mittels Gaschromatographie (GC) unter Verwendung eines Elektroneneinfang-Detektors (ECD)“, ausgegeben am 1. September 2000 und ÖNORM EN 12766-2 „Mineralölerzeugnisse und Gebrauchttöle - Bestimmung von PCBs und verwandten Produkten - Teil 2: Berechnung des Gehaltes an polychlorierten Biphenylen (PCB)“, ausgegeben am 1. Jänner 2002 vorgegeben, die eine Multiplikation der Kongener mit dem Faktor 5 zur Abschätzung der Gesamt-PCB vorsieht. Im Falle anderer Abfälle ist das Analysenresultat der 7 Kongener nicht mit dem Faktor 5 zu multiplizieren.

Für die Bestimmung und Berechnung der Gehalte an PCT ist die ÖNORM EN 12766-3 „Mineralölerzeugnisse und Gebrauchttöle - Bestimmung von PCBs und verwandten Produkten - Teil 3: Bestimmung und Berechnung der Gehalte von polychlorierten Terphenylen (PCT) und polychlorierten Benzyltoluolen (PCBT) mittels Gaschromatographie unter Verwendung eines Elektroneneinfang-Detektors (ECD)“, ausgegeben am 1. Februar 2005 anzuwenden.

Im Boden werden die PCB hauptsächlich an Humus gebunden, werden aber auch von Al- und Fe-Oxiden sorbiert. Tongehalte beeinflussen die Sorption nicht (Litz, 2004).

Für die Analyse der PCB in Bodenmatrices stehen fünf Normen zur Verfügung. Innerhalb der jeweiligen Normen liegt ein Multi-Matrix-Charakter vor, der die Auswahl einzelner Module ermöglicht:

- **ÖNORM EN 16167:2019;** Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) und Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)
- **ÖNORM EN 16190:2019;** Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm — Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)
- **ÖNORM EN 15308:2017;** Charakterisierung von Abfällen — Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion
- **DIN ISO 10382:2003;** Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor (ISO 10382:2002)
- **DIN 38414-20:1996;** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20)

Tabelle 7: Übersicht über die Normgrundlagen zur PCB-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (X) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren.

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)						
Methode	ÖNORM EN 16167:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) und Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)					
	Mögliche Kombinationen	Aceton/ n-Hexan	Aceton	n-Hexan	Aceton/ Petrolether	Aceton/Petrol-ether, NaCl (feuchte Probe)	
		Schüttler	x			[X]	[X]
		Ultraschall	x				
		Soxhlet		x	x		
Methode	ÖNORM EN 16190:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)					
Mögliche Kombinationen		Toluol					
	Soxhlet	X					
Methode	ÖNORM EN 15308:2017	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion					
Mögliche Kombinationen		Cyclohexan	n-Hexan	Aceton/ n-Hexan	Aceton/ Cyclohexan	Toluol	
	ASE	x	x			X	
	Schüttler	x		X	X	X	
	Ultraschall	x		X	X	X	
	Soxhlet			X	X		
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend			
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt					
Methode	DIN ISO 10382:2003	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor					
Mögliche Kombinationen		Aceton/ Petrolether					
	Schüttler	X					
	Soxhlet	x					
Methode	DIN 38414-20:1996	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20)					

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	
Mögliche Kombinationen		Pentan od. Heptan Cyclohexan
	Soxhlet	X
	ASE	x
		X (fett) ... normkonform x ... norm-abweichend
Bemerkungen	Für die Durchführung der PCB-Analytik in Bodenproben können sowohl die ÖNORM EN 16167:2019 als auch die ÖNORM EN 15308:2017 empfohlen werden. Entsprechend dem durchgeführten Ring-versuch stellen die DIN ISO 10382:2003, DIN 38414-20:1996, sowie die ÖNORM EN 16190:2019 jeweils gleichwertige Alternativen dar. Letztere kann bei gleichzeitiger Analyse von PCDD/F und/oder PBDE empfohlen werden. Mit der Neuausgabe der ÖNORM EN 17322:2021 erfolgte gleichzeitig die Zurückziehung der ÖNORM EN 16167:2019 und ÖNORM EN 15308:2017, welche somit ersetzt wurden.	

Tabelle 8: PCB-Analytik: ÖNORM EN 16167:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)						
Methode	ÖNORM EN 16167:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) und Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)					
Mögliche Kombinationen		Aceton/ n-Hexan	Aceton	n-Hexan	Aceton/ Petrolether	Petrolether	Aceton/ Petrol-ether/NaCl
	Schüttler	x			[X]		[X]
	Ultraschall	x					
	Soxhlet		x	x		[X]	
		X (fett) ... normkonform			x ... normabweichend		
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt					
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Nach Vorbehandlung (z.B. Trocknung) werden mittels geeignetem Extraktionsverfahren (z. B. Soxhlet) und mit Hilfe von Lösungsmitteln die PCB extrahiert. Der Extrakt wird mittels Verdampfen eingeeengt. Nach einem Reinigungsschritt (z.B. Kieselgel) werden die Extrakte mittels Gaschromatographie mit massenspektrometrischer (GC-MS) oder Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD) analysiert. Die vorliegende Norm legt ein Verfahren für die quantitative Bestimmung von sieben ausgewählten polychlorierten Biphenylen (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 und PCB-180) in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden unter Anwendung der GC-MS und GC-ECD fest. Unter den in dieser Europäischen Norm festgelegten Bedingungen kann eine Anwendungsgrenze von 1 µg/kg (bezogen auf Trockenmasse) erreicht werden (gekürzt nach ÖNORM EN 16167:2019).						
Vorteile	Ein Vorteil bei der Soxhlet-Extraktion mit reinem n-Hexan gegenüber n-Hexan/Aceton-Mischung ist die Zeiterparnis, da der Schritt mit der Abtrennung des Acetons durch Extraktion mit Wasser entfällt, welcher für die nachfolgende Aufreinigung mit Kieselgel notwendig ist. Sowohl der Einsatz eines ECD als auch einer MS ist möglich, jedoch wird der ECD nicht mehr als Stand der Technik gesehen.						
Nachteile	Bei der Extraktion mit n-Hexan muss die Bodenprobe absolut trocken sein, da es sonst zu Minderbefunden kommt.						
Empfehlung	Die Anwendung dieser ÖNORM kann für die PCB-Analytik in Bodenproben empfohlen werden. Die Endbestimmung mittels GC-MS ist vorzuziehen.						

Tabelle 9: PCB-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)		
Methode	ÖNORM EN 16190:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)	
Mögliche Kombinationen		Toluol	
	Soxhlet	X	
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Europäische Norm legt ein Verfahren fest zur quantitativen Bestimmung von 17 2,3,7,8-chlorsubstituierten Dibenzo- <i>p</i> -dioxinen und Dibenzofuranen sowie dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden mittels flüssigchromatographischer Reinigungsverfahren und GC-HRMS. Die Nachweisgrenze hängt von der Art der Probe, vom Kongener, von den verwendeten Geräten und von der Qualität der zur Extraktion und zur Reinigung (Clean-up) verwendeten Chemikalien ab. Unter den in dieser Europäischen Norm festgelegten Bedingungen können Nachweisgrenzen erreicht werden, die besser als 1 ng/kg (bezogen auf Trockenmasse) sind (gekürzt nach ÖNORM EN 16190:2019).		
Vorteile	Die gemeinsame Erfassung von PBDE, PCN, PCB sowie PCDD/F ist möglich.		
Nachteile	Laut Norm steht nur Toluol als Lösungsmittel zur Verfügung. Die Methode ist instrumentell sehr aufwändig.		
Empfehlung	Die Anwendung dieser ÖNORM kann für die PCB-Analysen in Bodenproben empfohlen werden.		

Tabelle 10: PCB-Analytik: ÖNORM EN 15308:2017

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)					
Methode	ÖNORM EN 15308:2017	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion				
Mögliche Kombinationen		Cyclohexan	n-Hexan	Aceton/ n-Hexan	Aceton/ Cyclohexan	Toluol
	ASE	x	x			x
	Schüttler	x		X	X	x
	Ultraschall	x		X	X	x
	Soxhlet			X	X	
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend		
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Mittels geeignetem Extraktionsverfahren (z. B. Schüttler) werden mit Hilfe von Lösungsmitteln die PCB extrahiert. Anschließend wird mit Wasser eine Phasentrennung durchgeführt, wobei die organische Schicht abgetrennt wird. Nach einem Reinigungsschritt (z.B. Schwefelsäure) werden die Extrakte mittels Gaschromatographie mit massenspektrometrischer (GC-MS) oder Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD) analysiert. Dieses Verfahren eignet sich zur Bestimmung von sieben polychlorierten Biphenyl-Kongeneren (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 und PCB 180) in Abfall- sowie in Boden- und Schlammproben. Unter den in dieser Norm festgelegten Bedingungen können typischerweise Mindestmengen einzelner PCB-Kongeneren von 0,01 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) bestimmt werden, wenn keine Interferenzen vorliegen (gekürzt nach ÖNORM EN 15308:2017).					
Vorteile	Sowohl der Einsatz eines ECD als auch einer MS ist möglich, jedoch wird der ECD nicht mehr als Stand der Technik gesehen.					
Empfehlung	Die Anwendung dieser ÖNORM kann für die PCB-Analysen in Bodenproben empfohlen werden. In Anlehnung an die Auswahlkriterien soll auf die Verwendung von Toluol aufgrund der hohen Toxizität verzichtet und dem Schüttler-Verfahren bzw. dem Ultraschall-Verfahren, wo geeignet, der Vorzug gegeben werden.					

Tabelle 11: PCB-Analytik: DIN ISO 10382:2003

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	
Methode	DIN ISO 10382:2003	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor (dzt. in Überarbeitung: ISO 10382:2021(E))
Mögliche Kombinationen	Aceton/ Petrolether	
	Schüttler	X
	Soxhlet	x
	X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Die Probe wird mit Aceton und Petrolether extrahiert, aufkonzentriert und wenn notwendig in einem Reinigungsschritt von elementarem Schwefel befreit. Anschließend wird der Extrakt gaschromatographisch analysiert, wobei die verschiedenen Verbindungen über eine Kapillarsäule mit einer immobilen Phase geringer Polarität aufgetrennt werden. Die Bestimmung der OCP bzw. auch PCB erfolgt mittels Elektroneneinfang-Detektor (ECD). Die Norm lässt weitere Extraktionsvarianten offen, weist jedoch darauf hin, dass die Vergleichbarkeit überprüft werden muss. Die Norm legt ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung von sieben Polychlorierten Biphenylen (Biphenylen (PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-138, PCB-153 und PCB-180) in Böden fest. Bei den in dieser Norm festgelegten Bedingungen können Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/kg bis 4,0 µg/kg (bezogen auf Trockenmasse) erreicht werden (gekürzt nach DIN ISO 10382:2003).	
Nachteile	Laut Norm stehen nur sehr eingeschränkte Lösungsmittel- und Extraktionsvarianten zur Verfügung. Laut Norm steht nur ein ECD als Detektor zur Verfügung (die überarbeitete ISO 10382:2021 ermöglicht auch die GC-MS Detektion).	
Empfehlung	Entsprechend den Ergebnissen des Ringversuches kann diese Norm für die Analyse von PCB empfohlen werden.	

Tabelle 12: PCB-Analytik: DIN 38414-20:1996

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe		Polychlorierte Biphenyle (PCB)	
Methode	DIN 38414-20:1996	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20)	
Mögliche Kombinationen		Pentan od. Heptan	Cyclohexan
	Soxhlet	X	
	ASE		x
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode	Die gefriergetrocknete Probe wird mit Pentan oder Hexan extrahiert und der Extrakt säulenchromatographisch von störenden Begleitstoffen befreit. Die Messung erfolgt durch Kapillargaschromatographie (GC) mit einem Elektroneneinfang-Detektor (ECD). Das Analysenverfahren ist zur Untersuchung von Klärschlämmen und Gewässersedimenten geeignet. Es können sechs PCB-Einzelkomponenten mit einer unteren Anwendungsgrenze von 1 µg/kg (bezogen auf Trockenmasse) bestimmt werden (gekürzt nach DIN 38414-20:1996).		
Nachteile	In der Norm ist die Verwendung eines GC-MS Verfahrens nicht vorgesehen. Liegen in der Probe viele Störungen vor, ist jedoch ein GC-MS-Verfahren vorzuziehen. Es ist auch keine weitere Extraktionsmethode zulässig.		
Empfehlung	Die Anwendung dieser Norm kann für die PCB-Analytik im Boden aufgrund ihres Anwendungsbereiches (Schlamm und Sedimente) nur eingeschränkt empfohlen werden. Falls diese Norm eingesetzt wird, jedoch die Messung mit GC-MS erfolgt bzw. eine andere Extraktionsmethode zur Anwendung kommt, so ist dies als Abweichung zur Norm anzugeben.		

4.2.1 Zusammenfassung PCB-Analytik

Für die Analytik der polychlorierten Biphenyle (PCB) standen 2020 fünf Normen (ÖNORM EN 16167:2019; ÖNORM EN 16190:2019; ÖNORM EN 15308:2017; DIN ISO 10382:2003 (dzt. in Überarbeitung ISO 10382:2021(E)); DIN 38414-20:1996) zur Verfügung. Auf eine weitere Norm, die ÖNORM EN 17322 (Feststoffe in der Umwelt – Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) oder Elektroneneinfang- Detektion (GC-ECD) wird hingewiesen, da diese Norm die beiden Normen ÖNORM EN 16167:2019 und ÖNORM EN 15308:2017 vereinigt. Mit der Neuauflage der ÖNORM EN 17322:2021 erfolgte auch gleichzeitig die Zurückziehung der beiden vorher erwähnten Normen. D.h. die beiden Vorgängernormen sind nun in der ÖNORM EN 17322 aufgegangen und daher ist diese Norm dem Ringversuch zu den polychlorierten Biphenylen (PCB) zuzuordnen.

Die für die PCB-Analytik dargestellten Normen sind alle geeignet, valide Analysenergebnisse zu erzielen. Für die alleinige Analyse von PCB kann derzeit die ÖNORM EN 16167:2019 bzw. nach deren Zurückziehung die ÖNORM EN 17322:2021 empfohlen werden. Die erwähnten

Empfehlungen werden auf Basis der Auswahlkriterien (Kapitel 2.4) getroffen, in diesem Fall überwiegen die qualitativen sowie zeitlichen Vorteile der Methode.

Erfolgt die PCB-Analytik gemeinsam mit PCDD/F und/oder PBDE, wird die ÖNORM EN 16190:2019 mit der Soxhlet-Toluol-Methode empfohlen. Hierbei ist der Einsatz von Toluol als toxikologisch relevantes Lösungsmittel gerechtfertigt. Ansonsten ist einer Methode mit Lösungsmitteln geringerer Toxizität der Vorzug zu geben.

Im Abfallbereich werden entsprechend der EU-POP-V für Altöle und Mineralöle (Betriebsmittel) die Berechnungsmethode gemäß ÖNORM EN 12766-1:2000 und ÖNORM EN 12766-2:2002 vorgegeben, die eine Multiplikation der Kongenere mit dem Faktor 5 zur Abschätzung der Gesamt-PCB vorsieht. Im Falle anderer Abfälle ist das Analysenresultat der 7 Kongenere nicht mit dem Faktor 5 zu multiplizieren. Für die Bestimmung und Berechnung der Gehalte an PCT ist die ÖNORM EN 12766-3:2005 anzuwenden.

4.3 Organochlorpestizide (OCP)

Organochlorpestizide (OCP) sind in der Regel schwer flüchtige Substanzen, die eine geringe Wasserlöslichkeit, jedoch eine gute Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln aufweisen. Sie werden vor allem als Pestizide zur Insektenbekämpfung (z.B. Mücken) und als Holz- und Textilschutzmittel verwendet. Organochlorpestizide sind persistent, lipophil, weisen ein hohes Akkumulationspotential auf und sind toxisch. Ihre Verwendung ist heute verboten bzw. gibt es streng limitierte Anwendungsbereiche.

OCPs stellen eine Vielzahl von Substanzen dar, wovon eine kleine Auswahl mit ihren Einstufungen der ECHA (2020) hier Erwähnung finden. Die Einstufungen des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien lauten:

Aldrin ist giftig bei Verschlucken (Acute Tox.3, H301) sowie bei Hautkontakt (Acute Tox.3, H311), kann vermutlich Krebs erzeugen (Carc. 2, H351) und schädigt die Organe (STOT RE 1, H372). Weiters ist Aldrin als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft. **DDT** ist giftig bei Verschlucken (Acute Tox.3, H301), kann vermutlich Krebs erzeugen (Carc. 2, H351) und schädigt die Organe (STOT RE 1, H372). Weiters ist DDT als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen

mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft. **Dieldrin** ist giftig bei Verschlucken (Acute Tox. 3, H301) und es besteht Lebensgefahr bei Hautkontakt (Acute Tox. 1, H310), kann vermutlich Krebs erzeugen (Carc. 2, H351) und schädigt die Organe (STOT RE 1, H372). Weiters ist Dieldrin als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft. **HCB** kann Krebs erzeugen (Carc. 1B, H350) und schädigt die Organe (STOT RE 1, H372). Weiters ist HCB als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft. **Lindan** ist giftig bei Verschlucken (Acute Tox.3, H301) sowie gesundheitsschädlich bei Hautkontakt (Acute Tox.4, H312) und bei Einatmen (Acute Tox.4, H332), kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (Lact., H362) und schädigt die Organe (STOT RE 2, H373). Weiters ist Lindan als sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) eingestuft (ECHA, 2020).

Als Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel wurden Stoffe wie Aldrin, DDT, Dieldrin, Hexachlorbenzol und Lindan weltweit in großen Mengen eingesetzt. Diese Substanzen sind als POPs in der Stockholm Konvention gelistet, da sie eine hohe Persistenz und hohes Bioakkumulations- und Biomagnifikationsverhalten aufweisen. Darüber hinaus sind einige als krebserregend eingestuft und hormonell schädigend.

Mit Inkrafttreten der EU Verordnung 2019/1021 „über persistente organische Schadstoffe“ (POPs) sind viele Organochlorpestizide in Anhang I gelistet, die durch ein Verbot oder baldige Einstellung der Freisetzung aus dem Verkehr gezogen werden müssen. Weiters sind DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl) ethan), Endosulfan, Chlordan, Hexachlorcyclohexane (einschließlich Lindan), Dieldrin, Endrin, Heptachlor, HCB, Chlor-decon, Aldrin, Pentachlorbenzol, Mirex und Toxaphen in Anhang IV gelistet, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen und mit jeweils 50 mg/kg begrenzt sind. Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn die genannten POP-Pestizide jeweils den Grenzwert 50 mg/kg erreichen oder überschreiten. In Analogie zu anderen POP Pestiziden wurde bereits in Österreich bei HP15 ein Grenzwert von 50 mg/kg auch für die POP-Pestizide Dicofol (Kontaktgift gegen Spinnmilben und ihre Eier) und polychlorierte Napthaline (insektizide und fungizide Wirkung in Holzschutzmitteln) für die Einstufung als gefährlicher Abfall festgelegt.

An Bodenpartikel erfolgt teilweise eine starke Sorption, jedoch kann es auch zur Verbreitung von OCP über Luftkompartimente kommen. Der Luftpfad führt auch zum Transport

über weite Strecken, der bis hin zur Arktis nachweisbar ist. Eine Verlagerung in das Grundwasser kommt nur in ganz seltenen Fällen vor, z. B. bei Endrin.

Für die Analyse von OCP stehen derzeit folgende Normen zur Verfügung.

- **DIN ISO 10382:2003**; Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor
- **ÖNORM EN 15308:2017**; Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion

In Anlehnung kann folgende Norm für die Matrix Boden verwendet werden:

- **ÖNORM EN 15662:2018**; Pflanzliche Lebensmittel - Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC und LC nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE - Modulares QuEChERS-Verfahren

Tabelle 13: Übersicht über die Normgrundlagen der OCP-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (**X**) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren.

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Organochlorpestizide (OCP)			
Methode	DIN ISO 10382:2003	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor		
Mögliche Kombinationen		Aceton/ Petrolether		
Methode	Schüttler	X		
	Soxhlet	x		
	ÖNORM EN 15662:2018	Pflanzliche Lebensmittel - Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC und LC nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE - Modulares QuEChERS-Verfahren		
	Mögliche Kombinationen	Wasser/ Acetonitril	Acetonitril	Aceton / Cylohexan
	QuEChERS	X*	X*	x
		X*(fett) ... normkonform, jedoch nicht für Boden		
Methode	ÖNORM EN 15308:2017	Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion		
Mögliche Kombinationen		n-Hexan	Aceton/ n-Hexan	Aceton / Cyclohexan
	ASE	x		
	Schüttler		X*	X*
	Ultraschall		X*	X*
	Soxhlet	x	X*	X*
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend
		X*(fett) ... normkonform, jedoch nicht für OCP		
Bemerkungen	Neben den drei erwähnten Normen ist zum Zeitpunkt der Berichterstellung eine internationale Norm in Entwicklung, die als Entwurf vorliegt und in welcher Schüttler, Ultraschall sowie ASE (PLE) mit hexanähnlichen Lösungsmitteln vorgesehen sind (ISO/DIS 23646:2020; Soil quality — Determination of organochlorine pesticides by gas chromatography with mass selective detection (GC-MS) and gas chromatography with electron-capture detection (GC-ECD)).			

Tabelle 14: OCP-Analytik: DIN ISO 10382:2003

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe		Organochlorpestizide (OCP)	
Methode	DIN ISO 10382:2003	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlor-ierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor	
Mögliche Kombinationen		Aceton/ Petrolether	
	Schüttler	x	
	Soxhlet	X	
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Die Probe wird mit Aceton und Petrolether extrahiert, aufkonzentriert und wenn notwendig in einem Reinigungsschritt von elementarem Schwefel befreit. Anschließend wird der Extrakt gaschromatographisch analysiert, wobei die verschiedenen Verbindungen über eine Kapillarsäule mit einer immobilen Phase geringer Polarität aufgetrennt werden. Die Bestimmung der OCP bzw. auch PCB erfolgt mittels Elektroneneinfang-Detektor (ECD). Die Norm lässt weitere Extraktionsvarianten offen, weist jedoch darauf hin, dass die Vergleichbarkeit überprüft werden muss. Die Norm legt ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung von sieben Organochlor-pestiziden in Böden fest. Bei den in dieser Norm festgelegten Bedingungen können Bestimmungsgrenzen von 0,1 µg/kg bis 4,0 µg/kg (bezogen auf Trockenmasse) erreicht werden (gekürzt nach DIN ISO 10382:2003).		
Vorteile	Organochlorpestizide und PCB können gleichzeitig bestimmt werden (die überarbeiteten Version ISO 10382:2021 ist nur für die Bestimmung von PCB geeignet, nicht für OCP).		
Nachteile	Laut Norm stehen nur sehr eingeschränkte Lösungsmittel- und Extraktions-varianten zur Verfügung. Die Verwendung einer GC-MS ist in der Norm nicht vorgesehen.		
Empfehlung	Entsprechend den Ergebnissen des Ringversuches kann diese Norm für die Analyse von OCP empfohlen werden. Die überarbeitete ISO 10382:2021 ermöglicht die Bestimmung von OCP nicht mehr, wofür die ISO/DIS 23646:2020 vorgesehen ist.		

Tabelle 15: OCP-Analytik: ÖNORM EN 15662:2018

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe		Organochlorpestizide (OCP)		
Methode	ÖNORM EN 15662:2018	Pflanzliche Lebensmittel - Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC und LC nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE - Modulares QuEChERS-Verfahren		
Mögliche Kombinationen		Wasser/ Acetonitril	Acetonitril	Aceton / Cylohexan
	QuEChERS	X*	X*	x
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend
		X*(fett) ... normkonform, jedoch nicht für Boden		
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Norm beschreibt ein Verfahren für die Analyse von Pestizidrückständen in pflanzlichen Lebensmitteln. Die vorbereitete Probe wird mit Hilfe von Acetonitril extrahiert. Zur Phasentrennung wird nach Zugabe von Magnesiumsulfat, Natriumchlorid und puffernden Citratsalzen zentrifugiert. Ein Reinigungsschritt wird mittels dispersiver Festphasenextraktion (D-SPE) durchgeführt. Nach einer weiteren Reinigung mit Aminosorbentien und gegebenenfalls mit Graphitkohle (GCB) oder Octadecylsilan (ODS) werden die Extrakte durch Zugabe einer geringen Menge an Ameisensäure angesäuert. Analysen können einerseits mittels Gaschromatographie (GC) mit massenselektiven Detektoren (MS bzw. MS/MS) mit einfacher oder hoher Massenauflösung oder andere GC-Detektoren wie flammenphotometrische Detektoren (FPD) und Elektroneneinfang-Detektoren (ECD) durchgeführt werden. Andererseits kann die Flüssigchromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometern (LC-MS/MS) oder mit hochauflösenden Massenspektrometern eingesetzt werden (gekürzt nach ÖNORM EN 15662:2018).			
Vorteile	Kurze Extraktionszeiten und geringer Lösungsmittelaufwand. Es können sowohl GC- wie auch HPLC-Systeme mit verschiedenen Detektoren eingesetzt werden.			
Nachteile	Bestimmungsgrenzen sowie Messunsicherheit sind in der Regel höher als bei klassischen Verfahren. Noch nicht als Bodennorm vorliegend.			
Empfehlung	Diese Norm ist für pflanzliche Lebensmittel entwickelt worden, hat sich aber auch für Bodenproben im Ringversuch als sehr geeignet erwiesen. Aufgrund der geringen Mengen an Lösungsmitteln mit geringer Toxizität und sehr schneller Extraktionszeiten kann für die Anwendung dieser Norm eine Empfehlung ausgesprochen werden. Siehe Kapitel 4.14 „Exkurs QuEChERS“.			

Tabelle 16: OCP-Analytik: ÖNORM EN 15308:2017

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Organochlorpestizide (OCP)			
Methode 				

4.3.1 Zusammenfassung OCP-Analytik

Für die Analytik der Organochlorpestizide stehen derzeit drei Normen (DIN ISO 10382:2003; ÖNORM EN 15662:2018; ÖNORM EN 15308:2017) zur Verfügung, die in diesem Leitfaden behandelt werden. Ein weiterer internationaler Entwurf (ISO/DIS 23646:2020) liegt vor, der demnächst zur Anwendung kommen kann, jedoch hier nicht näher betrachtet wird, weil dieser im Ringversuch nicht angewendet wurde. Die überarbeitete ISO 10382:2021 ermöglicht die Bestimmung von OCP nicht mehr, wofür die ISO/DIS 23646:2020 vorgesehen ist.

Bei Anwendung der drei Normen im Ringversuch (auch mit Normabweichungen) konnten die Ergebnisse als valide eingestuft werden.

Prinzipiell kann für die OCP-Analytik in Bodenproben die DIN ISO 10382:2003 empfohlen werden, wobei die Anwendung eines massenselektiven Detektors in der Praxis auch zum Einsatz kommt. Aufgrund der zufriedenstellenden Ergebnisse im Ringversuch kann auch das QuEChERS-Verfahren als geeignete Methode eingestuft werden. Besonders im Hinblick auf die geringen Lösungsmittelmengen sowie äußerst kurzen Extraktionszeiten sollte dieser Methode im Bodenbereich mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Hierzu ist jedoch anzumerken, dass eine Adaptierung der Norm für Bodenproben in einem Normungsausschuss erarbeitet werden sollte (siehe dazu Exkurs: QuEChERS-Verfahren Kapitel 4.14).

4.4 Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX)

Bei leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) handelt es sich um Derivate von Methan, Ethan und Ethen. Sie wurden in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts weltweit für zahlreiche industrielle und gewerbliche Zwecke eingesetzt. LHKW gelangten durch z.B. Verwendung als Ausgangsstoffe für die Kunststoffproduktion, als Lösungs- bzw. Reinigungsmittel in chemischen Reinigungen und metallverarbeitenden Betrieben sowie durch Ablagerungen in den Boden und finden sich daher in Altlasten bzw. an Altstandorten. In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde das toxische und kanzerogene Potential dieser Substanzen erkannt. Zu diesem Zeitpunkt befanden sich bereits signifikante Mengen an LHKW an Standorten einer Vielzahl von Industrie- und Gewerbebezügen in Boden und Grundwasser.

BTEX fasst die aromatischen Kohlenwasserstoffe Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole zusammen, sind chemisch beständig, mit Wasser nicht mischbar und sind in der Petrochemie von großer Bedeutung.

LHKW und BTEX stellen eine Vielzahl von Substanzen dar, wovon eine kleine Auswahl mit ihren Einstufungen der ECHA (2020) hier Erwähnung finden.

Gemäß AbfallverzeichnisVO 2020 sind leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) halogenierte C1- und C2-Kohlenwasserstoffe, einschließlich Trichlormethan, Tribrommethan, Bromdichlormethan, Dibromchlormethan, Trichlornitromethan, Tetrachlormethan, Dichlormethan, Trichlorfluormethan, Difluordichlormethan, 1-1-Dichlorethen, 1-2-Dichlorethen, Tetrachlorethen, Trichlorethen, 1-1-1-Trichlorethan, 1-1-2-Trichlorethan und 1-1-2-2-Tetrachlorethan.

Die Einstufungen erfolgen an Hand des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien: **Trichlorethen (TCE)** verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315) und schwere Augenreizungen (Eye Irrit. 2, H319), kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen (STOT SE 3, H336), kann vermutlich genetische Defekte verursachen (Muta. 2, H341), kann Krebs erzeugen (Carc. 1B, H350) und ist schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 3, H412). **Tetrachlorethen (PER)** verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315) und schwere Augenreizungen (Eye Irrit. 2, H319), kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen (STOT SE 3, H336), kann vermutlich Krebs erzeugen (Carc. 2, H351) und ist schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 2, H411). **Methyl-tert-Butylether (MTBE)** ist als Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (Flam. Liq. 2, H225) und verursacht bei Kontakt Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315).

Als Vertreter der BTEX ist **Benzol** als Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (Flam. Liq. 2, H225), kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein (Asp. Tox. 1, H304), verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315) und schwere Augenreizungen (Eye Irrit. 2, H319), kann genetische Defekte verursachen, kann Krebs erzeugen (Carc. 1A, H350) und schädigt die Organe (STOT RE 1, H372). Die **Xylole** sind als Flüssigkeit und Dampf entzündbar (Flam. Liq. 3, H226), sind gesundheitsschädlich bei Hautkontakt (Acute Tox. 4, H312), verursachen Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315) und sind gesundheitsschädlich bei Einatmen (Acute Tox. 4, H332) (ECHA, 2020).

Die Zuordnung zur spezifischen Schlüsselnummer (SN) betreffend LHKW-haltige Böden hat ab einem LHKW Gehalt von 2 mg/kg zu erfolgen. Der Grenzwert für die Einstufung als gefährlicher Abfall ergibt sich aus der Einstufung des jeweiligen leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffs gemäß CLP-Verordnung. Bei einigen LHKW wie Tetrachlormethan und 1,1,1, Trichlorethan (beide ozonschichtschädigend - HP14), Trichlorethen (karzinogen Kat 1 – HP7) ist ab einem Gehalt von 1.000 mg /kg von gefährlichen Abfällen auszugehen.

Für die Abfall-Ablagerung in einer Bodenaushubdeponie gilt derzeit ein Grenzwert von 6 mg BTEX /kg TS, dieser Grenzwert gilt auch für alle anderen Deponieklassen (DeponieVO, Anhang 1). Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn der BTEX Gesamtgehalt 200 mg/kg TM übersteigt.

Im Boden sind die LHKW relativ mobil. Neben ihrer Toxizität weisen LHKW insbesondere aufgrund ihrer im Vergleich zu anderen organischen Schadstoffen wie MKW und PAK, relativ

hohe Wasserlöslichkeit, hohe Dichte und geringe Sorptionstendenz an die organische Bodensubstanz auf sowie hohe Mobilität im Grundwasser. Die BTEX sind im Boden auch nur mäßig gebunden, wobei eine Bindung im Wesentlichen an Humus und Tonminerale erfolgen kann (Litz, 2004).

Aufgrund der Flüchtigkeit der LHKW sowie BTEX muss auf eine sachgerechte Probenahme hingewiesen werden.

Für die Analyse von LHKW und BTEX stehen derzeit folgende in Verwendung befindliche Normen zur Verfügung.

- **ÖNORM EN ISO 22155:2016;** Bodenbeschaffenheit — Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether — Statisches Dampfraum-Verfahren (ISO 22155:2016)
- **ÖNORM EN ISO 15009:2016;** Bodenbeschaffenheit — Gaschromatographische Bestimmung des Anteils an flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Naphthalin und flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen — Purge-und-Trap-Anreicherung mit thermischer Desorption (ISO 15009:2016)

Tabelle 17: Übersicht über die Normgrundlagen zur Analytik von LHKW und BTEX

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX)						
Methode	ÖNORM EN ISO 22155:2016	Bodenbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether - Statisches Dampfraum-Verfahren					
	Extraktion	Detektion					
	Mögliche Kombinationen	Methanol	ECD	ELCD	FID	PID	MS
	Schüttler	X					
			X	X	X	X	X
Angewendete Methode	ÖNORM EN ISO 15009:2016	Bodenbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung des Anteils an flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Naphthalin und flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - Purge-und-Trap-Anreicherung mit thermischer Desorption					
Mögliche Kombinationen	Extraktion	Detektion					
	Methanol	ECD	ELCD	FID	PID	MS	
	Schüttler	X					
			X	X	X	X	X
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend			
Bemerkungen	Die Auswahl des Detektors soll entsprechend den Angaben in den Normen erfolgen.						

Tabelle 18: LHKW/BTEX-Analytik: ÖNORM EN ISO 22155:2016

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX)						
Methode	ÖNORM EN ISO 22155:2016	Bodenbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether - Statisches Dampf-raum-Verfahren					
	Extraktion		Detektion				
Mögliche Kombinationen		Methanol	ECD	ELCD	FID	PID	MS
	Schüttler	X					
			X	X	X	X	X
	X (fett) ... normkonform			x ... normabweichend			
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Internationale Norm legt ein statisches Dampfraumverfahren zur quantitativen gaschromatographischen Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe und Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter aliphatischer Ether im Boden fest. Die Bestimmungsgrenze ist abhängig vom angewendeten Nachweissystem und von der Qualität des Methanols, mit dem die Bodenprobe extrahiert wird. Unter den in dieser Internationalen Norm festgelegten Bedingungen gelten folgende Bestimmungsgrenzen (bezogen auf Trockensubstanz). Bei Anwendung eines Gaschromatographen mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID) liegt die typische Bestimmungsgrenze: für flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe: 0,2 mg/kg; für aliphatische Ether, wie Methyl-tert-Butylether (MTBE) und tert-Amylmethylether (TAME): 0,5 mg/kg. Bei Anwendung eines Gaschromatographen mit Elektroneneinfang-Detektor (GC-ECD) liegt die typische Bestimmungsgrenze für flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe bei 0,01 mg/kg bis 0,2 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) (gekürzt nach ÖNORM EN ISO 22155:2016).						
Vorteile	Ein ECD kann Tri- und Tetrahalogenverbindungen empfindlicher nachweisen als eine MS. Als Universaldetektor kann FID und für den Nachweis von aromatischen Verbindungen kann ein PID angewendet werden.						
Nachteile	Eine Anreicherung der Probe zur Senkung der Bestimmungsgrenze ist nicht möglich.						

Tabelle 19: LHKW/BTEX-Analytik: ÖNORM EN ISO 15009:2016

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe		Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX)					
Methode	ÖNORM EN ISO 15009:2016	Bodenbeschaffenheit - Gaschromatographische Bestimmung des Anteils an flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Naphthalin und flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen - Purge-und-Trap-Anreicherung mit thermischer Desorption					
	Extraktion	Detektion					
		Methanol	ECD	ELCD	FID	PID	MS
	Mögliche Kombinationen	Schüttler	X				
			X	X	X	X	X
		X (fett) ... normkonform		x ... normabweichend			
Prinzip der Methode und Anwendungs-bereich		Diese Internationale Norm legt ein quantitatives gaschromatographisches Verfahren zur Bestimmung von flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Naphthalin und flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen im Boden fest. (ANMERKUNG: Im Fall von ungesättigten Torfböden kann es zur Absorption des Lösungsmittels kommen.) Die untere Bestimmungsgrenze ist abhängig von der verwendeten Prüfeinrichtung und der Qualität des Methanols, mit dem die Bodenprobe extrahiert wird. Bei Anwendung eines Gaschromatographen mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID) liegt die typische Bestimmungsgrenze für flüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe bei 0,1 mg/kg. Bei Anwendung eines Gaschromatographen mit Elektroneneinfang-Detektor (GC-ECD) liegt die typische Bestimmungsgrenze für flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe bei 0,01 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) (gekürzt nach ÖNORM EN ISO 15009:2016).					

4.4.1 Zusammenfassung LCKW / BTEX-Analytik

Für die Analytik der leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe und der BTEX stehen derzeit zwei Normen (ÖNORM EN ISO 22155:2016 und ÖNORM EN ISO 15009:2016) zur Verfügung, die beide empfohlen werden können. Auch im Abfallbereich (DepVO, 2008) wird auf beide Normen verpflichtend verwiesen.

In der Praxis hat sich entsprechend unserer Umfrage die ÖNORM EN ISO 22155 mit GC-MS Detektion weitgehend durchgesetzt, da die technischen Voraussetzungen (Purge- and Trap) nicht immer zur Verfügung stehen.

4.5 Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen vereinen wasser- und fettabweisende Eigenschaften in einem Molekül und finden deswegen breiten Einsatz als Netzmittel oder als Ausgangs-

stoff für diverse Erzeugnisse, bei denen wasser- und schmutzabweisende Eigenschaften erwünscht sind. PFAS sind eine Gruppe von Industriechemikalien, die über 4.700 Substanzen umfasst. Zu den PFAS zählt die Untergruppe der **Perfluoralkylsulfonate** unterschiedlicher Moleküllänge mit ihrem bekanntesten Vertreter, der Perfluorooctansulfonsäure (PFOS). Haupteinsatzgebiete von PFOS waren die Textil- und Halbleiter-industrie und Feuerlöschschäume, neben einer Anzahl weiterer Verwendungen bei Oberflächenvergütung und -imprägnierung. Strukturell eng verwandt mit dieser Untergruppe sind die **Perfluoralkylcarbonsäuren**. Deren bekannteste Vertreterin ist die Perfluorooctansäure (PFOA), die jedoch hauptsächlich als Synthesehilfsstoff (etwa bei der Teflonproduktion) – nicht im Endprodukt – eingesetzt wird. Sie gelangt aber als Abbauprodukt anderer perfluorierter Substanzen in die Umwelt. Zu diesen Vorläufersubstanzen zählt eine dritte bedeutende Untergruppe, die polyfluorierten **Telomeralkohole**, die breiten Einsatz bei der Oberflächenbehandlung, nicht zuletzt bei der Herstellung fettresistenter Lebensmittelverpackungen, finden.

PFAS stellen eine Vielzahl von Substanzen dar, wovon eine kleine Auswahl mit ihren Einstufungen der ECHA (2020) hier Erwähnung finden. Einstufungen erfolgen an Hand des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien: **Perfluorooctansäure (PFOA)** ist gesundheitsschädlich beim Verschlucken und Einatmen (Acute Tox. 4, H302, H332), verursacht schwere Augenschäden (Eye Dam. 1, H318), kann vermutlich Krebs erzeugen (Carc. 2, H351), kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (Lact., H362), schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (STOT RE 1, H372, Leber) und kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 1B, H360D). **Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)** ist gesundheitsschädlich bei Verschlucken und Einatmen (Acute Tox. 4, H302, 332), vermutlich krebserregend (Carc. 2, H351), kann das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 1B, H360D), kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (Lact., H362), ist organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (STOT RE 1, H372 (Leber)) und giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 2, H411).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe ist PFOS im Anhang I (Teil A, mit Ausnahmen) aufgelistet, die gemäß Artikel 3 einem Verbot der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung unterliegen. Weiters ist im Anhang IV in der Liste der Stoffe, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen ein Grenzwert von 50 mg/kg für PFOS und ihren Derivaten festgelegt. In der Stockholm-Konvention wird Perfluorooctansäure (PFOA), ihre Salze und verwandte Verbindungen seit 2019 im Anhang A (Eliminierung), Perfluorooctansulfonsäure (PFOS), ihre Salze und Perfluorooctansulfonylfluorid seit 2009 in Anhang B (Beschränkung) gelistet.

POP-Abfälle, die den Gesamtschadstoffgrenzwert von 50 mg/kg für PFOS überschreiten, erfüllen die jeweilige gefahrenrelevante Eigenschaft entsprechend der Einstufung dieser Schadstoffe gemäß CLP Verordnung unter Heranziehung der Grenzwerte des Anhangs 3 der AbfallverzeichnisVO. Ab 3.000 mg PFOS/kg TM im Abfall ist auch das Kriterium HP10 (reproduktionstoxisch) erfüllt.

Die Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II 100/2004 idgF) gibt für Düngemittel einen Grenzwert von 0,1 mg/kg Trockenmasse an. Dieser Grenzwert ist auf die Summe aus PFOA und PFOS bezogen.

Im Gegensatz zu den meisten POP ist die Affinität von PFAS zur organischen Substanz eher gering. Das Verhalten der PFAS im Boden ist abhängig von der Kettenlänge. So weisen PFOA und PFOS Sorption an Oberboden auf, hingegen zeigen kleinere PFAS-Moleküle (PFBA, PFBS, PFHxA) keine Sorption (Reinhard und Held, 2018) und können somit leicht verlagert werden. PFOS, eine der mengenmäßig wichtigsten Substanzen aus der Gruppe der PFAS ist in der Umwelt extrem langlebig. Es reichert sich zwar - anders als die meisten persistenten organischen Schadstoffe - nicht in Fettgewebe an, bindet jedoch an Blut- und Leberproteine. Auch im Boden sorbieren PFAS im Wesentlichen an Proteine (Li et al. 2019). Für die Analyse von PFAS stehen derzeit folgende in Verwendung befindliche Normen zur Verfügung.

- **ÖNORM CEN/TS 15968:2010:** Bestimmung von extrahierbarem Perfluorooctansulfonat (PFOS) in beschichteten und imprägnierten Feststoffartikeln, Flüssigkeiten und Feuerlöschschäumen - Verfahren zur Probenahme, Extraktion und Analyse mittels LC-qMS oder LC-tandem/MS (CEN/TS 15968:2010)
- **DIN 38414-14:2011:** Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)

Tabelle 20: PFAS-Analytik – ONR CEN/TS 15968:2010

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Perfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)						
Methode	ONR CEN/TS 15968: 2010	Bestimmung von extrahierbarem Perfluorooctansulfonat (PFOS) in beschichteten und imprägnierten Feststoffartikeln, Flüssigkeiten und Feuerlöschschäumen - Verfahren zur Probenahme, Extraktion und Analyse mittels LC-qMS oder LC-tandem/MS (CEN/TS 15968:2010)					
Mögliche Kombinationen	Extraktion	Reinigung			Detektion		
	Methanol	Acetonitril	Methanol	Aktivkohle od. SPE	ENVI-Carb	LC-MS/MS	LC qMS
	Schüttler	Ultraschall					
	X	x	X	X	x	X	X
		X (fett) ... normkonform			x ... normabweichend		
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Die vorliegende Europäische Technische Spezifikation beschreibt die Bestimmung von Perfluorooctansulfonat (PFOS) in konzentrierten Extrakten aus beschichteten und imprägnierten Feststoffartikeln, Flüssigkeiten und Feuerlöschschäumen unter Anwendung von Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie/Tandem- Massenspektrometrie (LC-MS/MS) oder Quadrupol-Massenspektrometrie (LC-MS). Die Analyten (Perfluorooctansulfonsäure, Perfluorooctansulfonamid; N-Methylheptadecafluor-octansulfonamid, N-Ethylheptadecafluor-octansulfonamid, N-Methylheptadecafluor-octansulfonamidoethanol, N-Ethylheptadecafluor-octansulfonamidoethanol) werden nach deren Extraktion mit Methanol durch Flüssigkeitschromatographie mit Tandem-Massenspektrometriedetektion (LC-tandem/MS) oder Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometriedetektion (LC-qMS) bestimmt. Die Liste von Analyten ist in Bezug auf alle möglichen PFOS-Derivate nicht vollständig. Das Verfahren ist anwendbar auf Konzentrationen von PFOS in der Extraktionslösung im Bereich zwischen 0,5 ng/ml und 50 ng/ml (gekürzt nach ÖNORM Technische Regel CEN/TS 15968: 2010).						
Nachteile	Diese Norm gilt eigentlich für Textilien, Leder, Gewebe und Papier bzw. Feuerlöschschäume.						

Tabelle 21: PFAS-Analytik – DIN: 38414-14:2011

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Perfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)		
Methode	DIN: 38414-14:2011	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)	
Mögliche Kombinationen	Extraktion	Reinigung	Detektion
	Methanol	ggf. Festphase	LC-MS/MS
	Ultraschall		
	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Die vorliegende DIN beschreibt die Bestimmung von perfluorierten Verbindungen in Schlamm, Kompost und Boden unter Anwendung von Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie/Tandem- Massenspektrometrie (LC-MS/MS). Die Substanzen werden durch ultraschallunterstützte Extraktion aus der trockenen homogenisierten Probe extrahiert. Der Extrakt wird ggf. durch Festphasenextraktion an einem schwachen Anionenaustauscher gereinigt (gekürzt nach DIN: 38414-14:2011).		
Vorteile	Methode lt. Norm für Schlamm, Kompost und Boden vorgesehen.		

4.5.1 Zusammenfassung PFAS-Analytik

Die Analytik von PFAS im Boden stellt eine große Herausforderung dar. Sie unterliegt einer rasch fortschreitenden Entwicklung. Im Bodenbereich kann im Moment lediglich auf die DIN 38414-14:2011 verwiesen werden.

4.6 Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F)

Die Gruppe der PCDD/F umfasst 210 Kongenere, wovon 75 polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD) und 135 polychlorierte Dibenzofurane (PCDF) mit ähnlichen Eigenschaften vorliegen. Im Säugetierorganismus und damit auch im Menschen wirken von diesen 210 Substanzen 17 besonders toxisch. Dioxine - wie auch Furane - entstehen als unerwünschtes Nebenprodukt bei einer Vielzahl von industriellen Prozessen und Verbrennungsvorgängen. Weltweites Aufsehen erregte diese Schadstoffgruppe durch den schweren Unfall in einer Chemiefabrik in Seveso (Italien) im Jahr 1976 (Sevesogift). Die Toxizität der PCDD/F ist abhängig von Anzahl und Position der Chloratome. Um die Toxizität komplexer Mischungen bewerten zu können, wurden Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) geschaffen, die auf dem

Vergleich mit dem höchst toxischen 2,3,7,8 TCDD beruhen. TCDD ist kanzerogen, immuntoxisch, teratogen, reproduktionstoxisch und neurotoxisch. Schäden an Leber, Magen, Schilddrüse und Haut wurden in Tierversuchen und auch bei Vergiftungsfällen beobachtet. Die Auslösung zahlreicher biologischer Effekte im Niedrigdosisbereich ist eine Folge der Bindungsfähigkeit von TCDD an zelluläre Rezeptoren (Umweltbundesamt, 2008).

Die Einstufung des hochtoxischen Vertreters 2,3,7,8 TCDD gemäß der CLP-Kriterien lautet: Toxische Wirkung bei Inhalation, beim Verschlucken sowie bei Hautkontakt (Acute Tox. 1, H301, H310, H330) und das Auftreten schwerer Augenschäden (Eye Irrit. 2, H319). 2,3,7,8 TCDD ist weiters sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe sind polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF) im Anhang III (Teil A) aufgelistet, die den Bestimmungen zur Verringerung der Freisetzung unterliegen. Weiters sind PCDD/F im Anhang IV mit einem Grenzwert von 15 µg/kg gelistet, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen. Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn der PCDD/F Gesamtgehalt im Abfall 10.000 ng TE/kg lt. Anhang III übersteigt.

Im Boden werden die PCDD/F stark durch die organische Substanz gebunden, wobei die chlorärmeren Kongenere relativ weniger stark gebunden sind, als die chlorreicheren Kongenere (Litz, 2004).

Folgende Normen sind derzeit für die Bestimmung der PCDD/F vorliegend:

- **ÖNORM EN 16190:2019:** Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS); Soil, treated biowaste and sludge - Determination of dioxins and furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls by gas chromatography with high resolution mass selective detection (HR GC-MS);

Vorläufer und Grundlage der ÖNORM EN 16190:2019

- **EPA Method 1613:1994:** Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC-HRMS

Tabelle 22: PCDD/F-Analytik – ON EN 16190:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F)	
Angewendete Methode	ÖNORM EN 16190:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)
Mögliche Kombinationen	Toluol	
	Soxhlet	X
	X (fett) ... normkonform x ... normabweichend	
Prinzip der Methode	Für die Analyse der 17 PCDD/F sowie 12 PCB wird vor der Soxhlet-Extraktion das Isotopenverdünnungsverfahren angewendet und jeweils ¹³ C-markierte Standards zugegeben. Nach der Extraktion von vorzugsweise gefriergetrockneten Proben mit Toluol werden Reinigungsschritte mittels Mehrsäulen-Flüssigchromatographie angewendet. Die Analyse erfolgt mittels hochauflösender Gaschromatographie bzw. Massenspektrometrie (HRGC-HRMS) (gekürzt nach ÖNORM EN 16190:2019).	
Vorteile	Die gemeinsame Erfassung von PBDE, PCN, PCB sowie PCDD/F ist möglich.	
Nachteile	Laut Norm steht nur Toluol als Lösungsmittel zur Verfügung.	

4.6.1 Zusammenfassung PCDD/F-Analytik

Für die Analytik von PCDD/F steht derzeit nur die ÖNORM EN 16190:2019 zur Verfügung.

4.7 Alkylphenole (Nonylphenole (NP), NP-Ethoxylate (NP1EO/NP2EO))

Nonylphenole sind Alkylphenole mit einem Alkylrest mit neun Kohlenstoffatomen. Nonylphenole sind endokrine Disruptoren, sie wirken östrogen. Das im industriellen Maßstab hergestellte Nonylphenol besteht aus einer Mischung der verschiedenen Isomere. 4-Nonylphenol ist Ausgangsprodukt für die Herstellung nichtionischer Tenside, Kunstharze und -lacke sowie für Alkylphenolethoxylate. Es wird weiters als Bohr-, Flotation-, Netz- und Verlaufsmittel verwendet und als Additiv zu Schmierölen und Weichmachern eingesetzt. Alkylphenolethoxylate werden letztlich wieder zu 4-Nonylphenol (bzw. Octylphenol) abgebaut.

Nonylphenol (NP) ist nach CLP-Verordnung harmonisiert wie folgt eingestuft: Gesundheitsschädlich beim Verschlucken (Acute Tox. 4, H302), verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (Skin Corr. 1B, H314), kann vermutlich die Fruchtbarkeit

beeinträchtigen und kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 2, H361fd), sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410). Für die **Ethoxylate NP1EO** und **NP2EO** liegen keine harmonisierten Einstufungen vor. Alkylphenoethoxylate werden ebenfalls als endokrine Disruptoren geführt und zeigen persistente, bioakkumulative sowie toxische Wirkung (ECHA, 2020).

Im Abfallrecht liegen keine relevanten Bestimmungen bezüglich NP und NP1EO bzw. NP2EO vor. Nonylphenol wird aufgrund seiner endokrin wirkenden Eigenschaften und Risiken für die menschliche Gesundheit in die erste Beobachtungsliste der Trinkwasserrichtlinie aufgenommen und bis zum 12. Januar 2022 erlassen werden (EU 2020/2184).

Im Boden wird NP stark gebunden (Litz, 2004), unterliegt aber einem raschen Abbau mit Halbwertszeiten von 5-40 Tagen (UBA, 2004). Die Ethoxylate NP1EO und NP2EO sind gut wasserlöslich, werden jedoch im Boden in Abhängigkeit der Kettenlänge gut gebunden.

Folgende Norm ist derzeit für die Bestimmung der Alkylphenole vorliegend:

- **ONR CEN/TS 16182: 2012 04 01:** Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von Nonylphenolen (NP) und Nonylphenol-Mono- und Diethoxylaten mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (GC-MS) (CEN/TS 16182:2012)

Tabelle 23: NP, NP1EO, NP2EO-Analytik – CEN/TS 16182:2012

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Nonylphenolen (NP) und Nonylphenol-Mono- und Diethoxylaten (NP1EO, NP2EO)			
Methode	ONR CEN/TS 16182:2012	Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von Nonylphenolen (NP) und Nonylphenol-Mono- und Diethoxylaten mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (GC-MS)		
		Extraktion	Reinigung	Silylierung Detektion
Mögliche Kombinationen	Aceton / hexanähnliches Lösemittel	Trennsäule	MSTFA	GC-MS
	Schüttler			
	X	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend	
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	In dieser Technischen Spezifikation wird ein Verfahren zur Bestimmung von Nonylphenolen (NP), Nonylphenol-monoethoxylaten (NP1EO) und Nonylphenol-diethoxylaten (NP2EO) in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden mit Hilfe der GC-MS festgelegt. Durch Schütteln mit einem Gemisch aus Aceton und einem hexanähnlichen Lösemittel (1:1) wird die Probe extrahiert. Die Reinigung wird mit geeigneter Trennsäule durchgeführt. Der Extrakt wird mit N-methyl-N-(trimethylsilyl)-trifluoracetamid (MSTFA) behandelt, um die Analyte zu derivatisieren (Silylierung); danach folgen die gaschromatographische Analyse und die massenspektrometrische Detektion (GC-MS). Nonylphenole und Nonylphenol-mono- und -diethoxylate werden durch den GC-Fingerprint, die relativen Retentionszeiten und die relativen Intensitäten der beiden diagnostischen Ionen identifiziert. Für Schlamm kann eine Nachweisgrenze von 0,1 mg/kg und für Boden und behandelten Bioabfall eine Nachweisgrenze von 0,02 mg/kg (angegeben als Trockenmasse) erreicht werden. Niedrigere Nachweisgrenzen können erreicht werden, wenn der Extrakt durch Verdampfen des Lösemittels konzentriert wird (gekürzt nach ÖNORM EN 16182: 2012).			
Nachteile	Das Verfahren ist komplex, erfordert Erfahrung.			

4.7.1 Zusammenfassung NP und NP1/2EO - Analytik

Für die Analytik von Nonylphenol und den Ethoxylaten steht eine ÖNORM Regel / Technischen Spezifikation ONR CEN/TS 16182:2012 zur Verfügung.

4.8 Chlorphenole (CPH)

Die Stoffgruppe der Chlorphenole besteht aus einem Benzolring mit einer Hydroxygruppe sowie Chlor als Substituenten. Durch unterschiedliche Chlorierungsgrade sowie der möglichen verschiedenen Chlorpositionen zur funktionellen Gruppe gibt es etwa 19 kongenere Strukturen der Stoffgruppe. Jedes der Kongenere weist unterschiedliche toxische und physikochemische Eigenschaften auf. Chlorphenole sind generell schlecht wasserlösliche und schwerflüchtige Verbindungen. Aufgrund ihrer chemischen Stabilität weisen Chlorphenole ein Bioakkumulationspotential auf. Studien deuten ebenfalls auf ein mutagenes, endokrines

und karzinogenes Potential dieser Stoffgruppe hin. Chlorphenole werden üblicherweise bei der Herstellung von Farbstoffen, Arznei- und Desinfektionsmitteln eingesetzt (Institut für Umweltanalysen, 2019).

Pentachlorphenol (PCP) als einer der bekanntesten Vertreter dieser Stoffgruppe ist nach CLP wie folgt eingestuft: PCP ist giftig beim Verschlucken (Acute Tox. 3, H301), giftig bei Hautkontakt (Acute Tox 3., H311), lebensgefährlich bei Inhalation (Acute Tox. 2, H330), verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315), verursacht schwere Augenreizungen (Eye Irrit. 2, H319), kann die Atemwege reizen (STOT SE 3, H335), kann Krebs erzeugen (Carc. 2), ist sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe ist PCP und seine Salze im Anhang I (Teil A) aufgelistet, die entsprechend Artikel 3 einem Verbot der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung unterliegen. Bei Überschreitung des Gesamtschadstoffgrenzwertes von 100 mg PCP/kg Abfall handelt es sich um POP Abfälle, die die jeweilige gefahrenrelevante Eigenschaft entsprechend der Einstufung dieser Schadstoffe gemäß CLP-Verordnung unter Heranziehung der Grenzwerte des Anhangs 3 der AbfallverzeichnisVO erreichen.

Ab 2.500 mg PCP/kg wäre die gefahrenrelevante Eigenschaft HP14 wassergefährdend (rechnerisch) erfüllt (Biotestung ist möglich). Je nach Art der Verunreinigung des PCP wurde in der ECHA Datenbank auch eine Einstufung als akut toxisch Kat 1 mit einem Grenzwert 1.000 mg/kg von einigen Registranten angegeben.

Im Boden werden Chlorphenole unterschiedlich stark gebunden. Die Bindung steigt vom Tri- über das Tetra- zum Pentachlorphenol an (Litz, 2004).

Folgende Norm ist derzeit für die Bestimmung der Chlorphenole vorliegend:

- **DIN ISO 14154:2005-12:** Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Chlorphenolen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektion (ISO 14154:2005)

Tabelle 24: Chlorphenol-Analytik: DIN ISO 14154:2005-12

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Chlorphenol (CP)		
Methode	DIN ISO 14154:2005-12	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Chlorphenolen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektion (ISO 14154:2005)	
Mögliche Kombinationen		Extraktion	Acetylierung
	Ultraschall	Aceton/Hexan	
	Scheidetrichter	Säure/Lauge	
	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese internationale Norm legt die gaschromatographische Bestimmung von 15 Chlorphenolen (2,3-Dichlorphenol, 2,4-Dichlorphenol, 2,5-Dichlorphenol, 2,6-Dichlorphenol, 3,4-Dichlorphenol, 3,5-Dichlorphenol, 2,3,4-Trichlorphenol, 2,3,5-Trichlorphenol, 2,3,6-Trichlorphenol, 2,4,5-Trichlorphenol, 2,4,6-Trichlorphenol, 3,4,5-Trichlorphenol, 2,3,4,5-Tetrachlorphenol, 2,3,4,6-Tetrachlorphenol und Pentachlorphenol) in Bodenproben fest. Das Verfahren kann auch für andere Feststoffproben, z. B. Sedimente und feste Abfälle, angewendet werden. Das Verfahren beruht auf zwei Schritten. Schritt 1 beinhaltet die Fest-/Flüssig-Extraktion: die CPH werden aus Böden mittels einer Aceton/Hexan-Mischung bei niedrigem pH-Wert extrahiert. Schritt 2 dient der Reinigung und beruht auf aufeinander folgenden Extraktionen in alkalischen und sauren wässrigen Lösungen und Hexan. Die in wässriger carbonatischer Lösung vorhandenen CPH werden mittels Essigsäureanhydrid in ihre entsprechenden Acetate derivatisiert. Die so gebildeten Derivate werden durch Hexan aus der Probe extrahiert. Die Hexanfraktion wird gaschromatographisch mit einem ECD oder MS-Detektor untersucht. Mit diesem Verfahren können CPH mit einem Massenanteil im Bereich von etwa 0,01 mg/kg bis 0,05 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse), in Abhängigkeit von der Empfindlichkeit des Detektors für die Verbindungen und der Probeneinwaage bestimmt werden (gekürzt nach DIN ISO 14154:2005).		
Nachteile	Das Verfahren ist sehr komplex, erfordert Erfahrung, es müssen Maßnahmen zur Verringerung von Blindwerten getroffen werden.		

4.8.1 Zusammenfassung CP-Analytik

Für die Analytik von Chlorphenolen steht die DIN ISO 14154:2005 zur Verfügung.

4.9 Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)

Im Allgemeinen sind Sulfonsäuren organische Schwefelverbindungen mit einem organischen Rest. Die Salze und Ester der Sulfonsäure sind Sulfonate. LAS setzen sich aus aromatischen Sulfonsäuren, welche in para-Stellung mit linearen Alkylketten substituiert sind, zusammen. LAS finden vor allem Anwendung als Wasch-, Spül- und Reinigungsmittel und stellen daher eine wesentliche Gruppe der anionischen Tenside dar. Aufgrund der überwiegenden Anwendung als Waschmittel gelangen LAS hauptsächlich durch Abwässer in die Umwelt. In Kläranlagen adsorbieren LAS an Klärschlamm (Öko-Institut, 2012).

Einstufungen erfolgen an Hand des global harmonisierten Systems (GHS) zur Einstufung und Kennzeichnung von Chemikalien am Beispiel eines der wichtigsten Vertreter Natriumdodecylbenzolsulfonat: Gesundheitsschädlich beim Verschlucken (Acute Tox. 4, H302), verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315) und verursacht schwere Augenschäden (Eye Dam. 1, H318) (ECHA, 2020).

LAS werden im Boden mäßig stark gebunden, wobei längerkettige stärker gebunden werden als kurzkettige LAS. Eisenreiche Böden sorbieren stärker, ebenso wie saure Böden. Im Boden erfolgt ein relativ rascher Abbau, der jedoch von den jeweiligen sorbierenden Eigenschaften des Bodens abhängt. Je stärker die Sorption an Humus, Tonminerale bzw. Eisenoxide, desto langsamer verläuft der Abbau (Litz, 2004).

Folgende Norm ist derzeit für die Bestimmung der LAS vorliegend:

- **DIN CEN/TS 16189:2012-05; DIN SPEC 91263:2012-05:** Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektion (FLD) oder massenselektiver Detektion (MS); Deutsche Fassung CEN/TS 16189:2012

Tabelle 25: Lineare Alkylsulfonate (LAS)-Analytik – CEN/TS 16189:2012

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Lineare Alkylsulfonate (LAS)		
Methode	CEN/TS 16189:2012	Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) mittels Hochleistungs- Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektion (FLD) oder massenselektiver Detektion (MS) (CEN/TS 16189:2012)	
Mögliche Kombinationen	Extraktion	Reinigung	Detektion
	Schüttler	Trennsäule	HPLC
	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Technische Spezifikation beschreibt die Bestimmung von LAS in Schlamm, Boden, behandeltem Bioabfall und ähnlichen Materialien mittels Hochleistungs-Flüssigchromatographie (HPLC) und Detektion durch Fluoreszenz (FLD) oder Massenspektrometrie (MS). LAS ist das Natriumsalz der Alkylbenzolsulfonsäuren und besteht aus einem Gemisch der Homologen C10-LAS, C11-LAS, C12-LAS, C13-LAS und C14-LAS, die durch Schütteln mit Methanol extrahiert werden. Die LAS werden als Summe dieser Homologen bestimmt. Die Identifizierung basiert auf den Retentionszeiten der Homologen und der Isomere dieser Homologen. Ein weiterer Identifizierungspunkt ist der Fingerprint der Homologen sowie der Isomere dieser Homologen, wenn für die HPLC eine C18-Säule verwendet wird. Die Quantifizierung basiert auf dem Verfahren mit internem Standard. Der interne Standard (C8-LAS) wird während des gesamten Analyseverfahrens verwendet. Unter den in dieser Technischen Spezifikation festgelegten Bedingungen kann in der Regel eine Nachweisgrenze von 20 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse) für Schlamm und eine Nachweisgrenze von 0,2 mg/kg bis 0,5 mg/kg für Boden und behandelten Bioabfall erreicht werden. Niedrigere Nachweisgrenzen können erreicht werden, wenn der Extrakt durch Verdampfen des Lösemittels konzentriert wird. (gekürzt nach CEN/TS 16189: 2012).		

4.9.1 Zusammenfassung LAS-Analytik

Für die Analytik von LAS steht eine ÖNORM Regel / Technischen Spezifikation ONR CEN/TS 16189:2012 zur Verfügung.

4.10 Phthalate (PHTH)

Durch Verbindungen der Phthalsäure mit verschiedenen Alkoholen entstehen Phthalate. Diese werden überwiegend als Weichmacher in der Kunststoffindustrie eingesetzt, im Speziellen um z.B. dem normalerweise spröden Kunststoff Polyvinylchlorid elastische Eigenschaften zu ermöglichen. Phthalate sind nicht fest an Kunststoffe gebunden und können daher leicht in die Umwelt gelangen, sie können in die Luft entweichen oder auch durch Flüssigkeiten oder Fett gelöst werden. Aufgrund der nachweislich fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften sind einige Phthalate verboten oder nur mit spezifischen Zulassungen erlaubt (UBA 2020a, ECHA 2020).

Die Einstufung einiger der wichtigsten Vertreter der Phthalate nach CLP ist wie folgt: **Dibutylphthalat (DBP)**: Kann das Kind im Mutterleib schädigen und kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen (Repr. 1B, H360Df), ist sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400). **Diethylhexylphthalat (DEHP)**: Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 1B, H360FD). **Diisopentylphthalat (DIPP)**: Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen (Repr. 1B, H360FD) und ist sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400). **Benzylbutylphthalat (BBP)**: Kann das Kind im Mutterleib schädigen und kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen (Repr. 1B, H360Df), ist sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der REACH-Verordnung ist DEHP auf der Kandidatenliste für besorgniserregende Stoffe (SVHC-Stoffe) für folgende Eigenschaften gelistet: Reproduktionstoxizität (Artikel 57c), endokrine Wirksamkeit in der Umwelt (Artikel 57f) und endokrine Wirksamkeit für die Gesundheit (Artikel 57f).

Im Boden werden die Phthalate an organische Substanz gebunden. Phthalate werden von einer Reihe von Mikroorganismen unterschiedlich schnell abgebaut (DBP < DMP < DEHP). Niedrige pH-Werte und höhere Temperaturen beschleunigen den Abbau im Gegensatz zu anaeroben Bedingungen (Litz, 2004).

Folgende Normen sind derzeit für die Bestimmung der Phthalate vorliegend:

- **CEN/TS 16183:2012**: Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden — Bestimmung ausgewählter Phthalate mittels kapillarer Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) (CEN/TS 16183:2012)

Die folgende DIN wird derzeit von keinem beteiligten Labor angewendet, daher liegen keine Erfahrungen vor.

- **DIN 19742:2014-08**: Soil quality - Determination of selected phthalates in sludge, sediment, solid waste and soil after extraction and determination using gas chromatography mass spectrometry (GC-MS); Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Phthalaten in Schlamm, Sediment, festem Abfall und Boden nach Extraktion und Bestimmung mittels massenspektrometrischer Gaschromatographie (GC-MS)

Tabelle 26: Phthalate-Analytik – CEN/TS 16183:2012

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Phthalate		
Methode	CEN/TS 16183:2012	Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung ausgewählter Phthalate mittels kapillarer Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) (CEN/TS 16183:2012)	
	Extraktion	Reinigung	Detektion
Mögliche Kombinationen	Schüttler	Säulenchromatographie	GC-MS
	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Technische Spezifikation legt ein Verfahren zur Bestimmung ausgewählter Phthalate in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden nach Extraktion und gaschromatographischer Analyse mit massenspektrometrischer Detektion fest. Folgende Phthalate können bestimmt werden: Dimethylphthalat (DMP), Diethylphthalat (DEP), Dipropylphthalat (DPP), Di-(2-methylpropyl)-phthalat (DiBP), Dibutylphthalat (DBP), Butylbenzylphthalat (BBzP=BBP), Dicyclohexylphthalat (DCHP), Di-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), Dioctylphthalat (DOP), Didecylphthalat (DDcP), Diundecylphthalat (DUP). Die durch Gefriertrocknen oder mit Natriumsulfat getrocknete Prüfprobe wird mit Ethylacetat auf der Schüttelmaschine extrahiert. Ein Aliquot des Extraktes wird (falls erforderlich) mit Aluminiumoxid gereinigt; darauf folgt eine gaschromatographische Trennung auf einer Kapillarsäule und eine massenspektrometrische Identifizierung und Quantifizierung der Phthalate. Das Verfahren ist für die Bestimmung von Phthalaten mit einem Mindestmassengehalt von 0,1 mg/kg bis 0,5 mg/kg (bezogen auf Trockenmasse), geeignet, abhängig von der jeweiligen Substanz (gekürzt nach CEN/TS 16183: 2012).		

4.10.1 Zusammenfassung Phthalat-Analytik

Für die Analytik von Phthalate steht derzeit die ÖNORM Regel / Technischen Spezifikation ONR CEN/TS 16183:2012 zur Verfügung sowie die DIN 19742:2014-08, mit welcher jedoch keine Erfahrungen vorliegen.

4.11 Polychlorierte Naphthaline (PCN)

Polychlorierte Naphthaline sind Verbindungen, die durch Chlorierung von Naphthalinen hergestellt werden. Der Grundkörper trägt hierbei bis zu acht Chlorsubstituenten. Naphthalin selbst ist ein polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff. Wie bei der Gruppe der Dioxine und polychlorierten Biphenylen gibt es verschiedene Kongenere der polychlorierten Naphthaline. Anwendung fand die Gruppe der PCN unter anderem als Isoliermaterial, Weichmacher oder auch als Träger- und Imprägniermaterial. Deren Verwendung und Pro-

duktion ist jedoch seit den 80iger Jahren verboten. Die Gruppe der PCN zeigt ähnliche toxische Eigenschaften und Umweltdynamiken wie jene der eng verwandten polychlorierten Biphenyle (Umweltbundesamt, 2015b).

Pentachlor-Naphthalin als einer der Vertreter dieser Stoffgruppe ist nach CLP wie folgt eingestuft: Gesundheitsschädlich beim Verschlucken und bei Hautkontakt (Acute Tox. 4, H302, H312), verursacht Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315), verursacht schwere Augenreizungen (Eye Irrit. 2, H319), sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe sind polychlorierte Naphthaline im Anhang I (Teil A) aufgelistet, die entsprechend Artikel 1 dem Verbot der Herstellung, des Inverkehrbringens sowie der Verwendung unterliegen. Weiters sind sie in Anhang III (Teil B) gelistet, die den Bestimmungen zur Verringerung der Freisetzung unterliegen. Auch ist im Anhang IV in der Liste der Stoffe, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen, ein Grenzwert von 10 mg/kg für die polychlorierten Naphthaline festgelegt (POP-Abfälle). Die gefahrenrelevante Eigenschaft HP15 der Österreichischen Abfallverzeichnisverordnung gilt als erfüllt, wenn PCN den Gehalt von 50 mg/kg im Abfall übersteigt. Über das Verhalten von PCN im Boden ist sehr wenig in der Literatur zu finden. Man geht davon aus, dass sie ähnlich wie die PCB oder PCDD/F stark an organische Substanz im Boden sorbieren und geringe Löslichkeit aufweisen (Kuruntha et al. 1998, Xu et al. 2020).

Folgende Norm könnte derzeit für die Bestimmung der PCN angewendet werden:

- **ÖNORM EN 16190:2019 06 15:** Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (GC-HRMS)

Tabelle 27: PCN-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polychlorierte Naphthaline (PCN)	
Methode	ÖNORM EN 16190:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (GC-HRMS)
Mögliche Kombinationen		Toluol
	Soxhlet	X
		X (fett) ... normkonform x ... normabweichend
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Europäische Norm legt ein Verfahren fest zur quantitativen Bestimmung von 17 2,3,7,8-chlorsubstituierten Dibenzo- <i>p</i> -dioxinen und Dibenzofuranen sowie dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden mittels flüssigchromatographischer Reinigungsverfahren und GC-HRMS. Die Nachweisgrenze hängt von der Art der Probe, vom Kongener, von den verwendeten Geräten und von der Qualität der zur Extraktion und zur Reinigung (Clean-up) verwendeten Chemikalien ab. Unter den in dieser Europäischen Norm festgelegten Bedingungen können Nachweisgrenzen erreicht werden, die besser als 1 ng/kg (bezogen auf Trockenmasse) sind (gekürzt nach ÖNORM EN 16190:2019).	
Vorteile	Die gemeinsame Erfassung von PBDE, PCN, PCB sowie PCDD/F ist möglich.	
Nachteile	Laut Norm steht nur Toluol als Lösungsmittel zur Verfügung. Die Methode ist instrumentell sehr aufwändig.	

4.11.1 Zusammenfassung PCN-Analytik

Die PCN könnten derzeit mit der ÖNORM EN 16190:2019 miterfasst werden.

4.12 Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Polybromierte Diphenylether (PBDE) sind bromhaltige organische Verbindungen aus zwei aromatischen Ringen und je nach Bromierungsgrad mit ein bis zehn Bromatomen. Die unterschiedlichen Verbindungen werden als Kongenere bezeichnet und umfassen 209 Verbindungen. Ihren Einsatz finden PBDE hauptsächlich als Flammenschutzmittel in Kunststoffen, Textilien, Elektroartikeln, oder auch Baumaterialien. Technisch wichtige PBDE-Gemische sind PentaBDE, OctaBDE sowie DecaBDE (UBA, 2020b). Der Eintrag von PBDE erfolgt überwiegend während der Produktion sowie über den gesamten Produktlebens-zyklus, PBDE sind somit in sämtlichen Umweltmedien nachweisbar. Im speziellen zeigen PentaBDE ein hohes Potential für Bioakkumulation und Biomagnifikation. PBDE greifen die Leber an, wirken auf das Nervensystem und führen zu endokrinen Störungen (UBA, 2020b). Aufgrund der Stockholm Konvention sind einige PBDE weltweit verboten. Pentabromdiphenylether

als technisch wichtiges Gemisch ist nach CLP wie folgt harmonisiert eingestuft: Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (Lact., H362), kann die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition schädigen (STOT RE 2, H373), ist sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der POP-Verordnung (EU 2019/1021) über persistente organische Schadstoffe sind einige PDPE (TBDE, PeBDE, HxBDE, HpBDE und DBDE) im Anhang I (Teil A, mit Ausnahmen) aufgelistet, die entsprechend Artikel 3 verboten sind. Weiters ist für diese PBDE im Anhang IV in der Liste der Stoffe, die den Abfallwirtschaftsbestimmungen gemäß Artikel 7 unterliegen, ein Grenzwert von 1.000 mg/kg für die Summe (TBDE, PBDE, HxBDE, HpBDE und DBDE) festgelegt (POP Abfälle). (Die Reduktion auf 500 mg/kg wird derzeit von der Kommission überprüft). Abfälle, deren Gehalte an polybromierten Diphenylethern (Tetra-, Penta-, Hexa-, Hepta-, DecaBDE) den POP-Konzentrationsgrenzwert 1.000 mg/kg gemäß Anhang IV der EU-POP-V überschreiten, erfüllen die jeweilige gefahrenrelevante Eigenschaft entsprechend der Einstufung dieser Schadstoffe gemäß CLP-Verordnung unter Heranziehung der Grenzwerte des Anhangs 3 der AbfallverzeichnisVO 2020. (Anmerkung: einige PBDE sind in der ECHA Datenbank nicht eingestuft).

Im Boden sind die PBDE stark sorbiert und werden auch nicht abgebaut (Wong et al. 2012).

Folgende Normen werden derzeit für die Bestimmung der PBDE angewendet:

- **ÖNORM EN 16190:2019:** Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS); Soil, treated biowaste and sludge - Determination of dioxins and furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls by gas chromatography with high resolution mass selective detection (HR GC-MS);

In Anlehnung an

- **Method 1614:** Brominated Diphenyl Ethers in Water Soil, Sediment and Tissue by HRGC-HRMS.

Tabelle 28: PBDE-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Polybromierte Diphenylether (PBDE)	
Methode	ÖNORM EN 16190:2019	Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm — Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)
Mögliche Kombinationen		Toluol
	Soxhlet	X*
		X (fett) ... normkonform x ... normabweichend
		[X] ... normkonform, jedoch nicht beim RV eingesetzt
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	Diese Europäische Norm legt ein Verfahren fest zur quantitativen Bestimmung von 17 2,3,7,8-chlorsubstituierten Dibenzo- <i>p</i> -dioxinen und Dibenzofuranen sowie dioxinähnlichen polychlorierten Biphenylen in Schlamm, behandeltem Bioabfall und Boden mittels flüssigchromatographischer Reinigungsverfahren und GC-HRMS. Die Nachweisgrenze hängt von der Art der Probe, vom Kongener, von den verwendeten Geräten und von der Qualität der zur Extraktion und zur Reinigung (Clean-up) verwendeten Chemikalien ab. Unter den in dieser Europäischen Norm festgelegten Bedingungen können Nachweisgrenzen erreicht werden, die besser als 1 ng/kg (bezogen auf Trockenmasse) sind (gekürzt nach ÖNORM EN 16190:2019).	
Vorteile	Die gemeinsame Erfassung von PBDE, PCN, PCB sowie PCDD/F ist möglich.	
Nachteile	Laut Norm steht nur Toluol als Lösungsmittel zur Verfügung. Die Methode ist instrumentell sehr aufwändig.	

4.12.1 Zusammenfassung PBDE-Analytik

Für die Analytik von PBDE kann die ÖNORM EN 16190:2019 herangezogen werden.

4.13 Zinnorganische Verbindungen (OZV)

Unter dem Begriff der Zinnorganischen Verbindungen versteht man Derivate von Zinn, bei welchen kovalente Kohlenstoff-Zinn Bindungen zu einem, oder auch mehreren organischen Gruppen bestehen. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften, wie auch die biologische Wirkung hängt von der Anzahl und dem Verhältnis der an Zinn gebundenen anorganischen und organischen Gruppen ab. Zinnorganische Verbindungen sind im Normalfall wenig flüchtig, schwer löslich im Wasser und zeigen ein hohes Adsorptionsvermögen an Partikel, wodurch sie weltweit in der Umwelt nachweisbar sind. Organozinnverbindungen bieten vielseitige Anwendungsmöglichkeiten wie etwa für Pflanzenschutzmittel, Anstriche oder auch für Kunststoffe. Aufgrund ihrer toxischen Eigenschaft auf die menschliche Gesundheit

wie auch der Umwelt ist deren Einsatz in der EU jedoch weitestgehend verboten. Tributylzinn-Verbindungen zählen als umweltproblematischte Vertreter dieser Gruppe (BfR, 2011).

Tributyl-Zinnverbindungen, zu denen über 80 Einzelstoffe zählen, sind nach CLP wie folgt eingestuft: Giftig bei Verschlucken (Acute Tox. 3, H301), gesundheitsschädlich bei Hautkontakt (Acute Tox. 4, H312), verursachen Hautreizungen (Skin Irrit. 2, H315), verursachen schwere Hautreizungen (Eye Irrit. 2, H319), führen zu einer Schädigung der Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (STOT RE 1, H372), können das Kind im Mutterleib schädigen und können vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen (Repr. 1B, H360FD), sind sehr giftig für Wasserorganismen (Aquatic Acute 1, H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (Aquatic Chronic 1, H410) (ECHA, 2020).

Entsprechend der REACH-Verordnung sind einige OZV auf der Kandidatenliste für besorgniserregende Stoffe (SVHC-Stoffe) gelistet.

Im Boden steigt die Sorptionsneigung vom Mono- (MBT) zum Di- (DBT) und weiter zum Tributylzinn (TBT) an. Sorption findet hauptsächlich an der organischen Substanz im Boden statt, eine untergeordnete Rolle spielen Tonminerale und Oxide (UBA, 2004). Es treten unterschiedliche Bindungsformen in Erscheinung wobei es auch zu Verlagerungen bzw. Auswaschungen einzelner OZV kommen kann (UBA, 2004).

Folgende Norm ist derzeit für die Bestimmung der OZV vorliegend:

- **EN ISO 23161:2019:** Bodenbeschaffenheit — Bestimmung ausgewählter Organozinnverbindungen — Gaschromatographisches Verfahren

Tabelle 29: Zinnorganische Verbindungen (OZV)– EN ISO 23161:2019

Schadstoff bzw. Schadstoffgruppe	Zinnorganische Verbindungen (OZV)			
Methode	EN ISO 23161:2019	Bodenbeschaffenheit - Bestimmung ausgewählter Organozinnverbindungen - Gaschromatographisches Verfahren		
	Extraktion		Derivatisierung	Detektion
Mögliche Kombinationen	Hexan	Saure Extraktion	ausgenommen TTBT	GC-MS
Prinzip der Methode und Anwendungsbereich	TTBT	alle anderen OZV		
	X	X	X	X
		X (fett) ... normkonform	x ... normabweichend	
Dieses Dokument legt ein Verfahren zur gaschromatographischen Identifizierung und Quantifizierung von Organozinnverbindungen (OZV) in Böden fest [Monobutylzinnkation (MBT), Dibutylzinnkation (DBT), Tributylzinnkation (TBT), Monoctylzinnkation (MOT), Dioctylzinnkation (DOT), Triphenylzinnkation (TPhT), Tricyclohexylzinnkation (TCyT), Tetrabutylzinnkation (TTBT)]. Dieses Dokument ist ebenfalls auf Proben von Sedimenten, Schlämmen und Abfällen (bodenähnliche Materialien) anwendbar. Der Arbeitsbereich ist von dem angewendeten Nachweisverfahren und der für die Untersuchung genommenen Probemenge abhängig. Für die ionischen und die nichtionischen Organozinnverbindungen sind sowohl unterschiedliche Probenvorbehandlungen als auch unterschiedliche Probenvorbereitungen notwendig. Die Bestimmung des nichtionischen TTBT kann wegen der Verdunstungsverluste nicht mit gefriergetrockneten Materialien durchgeführt werden. Deshalb muss es in der feldfeuchten Probe bestimmt werden. Organozinnkationen können nur nach der Derivatisierung bestimmt werden, dagegen ist TTBT bereits peralkyliert und kann ohne Derivatisierung bestimmt werden. Die Bestimmungsgrenze der Einzelverbindungen ist etwa 10 µg/kg (bezogen auf Trockenmasse) (gekürzt nach EN ISO 23161:2019).				
Nachteile	Das Verfahren ist komplex, erfordert Erfahrung.			

4.13.1 Zusammenfassung OZV

Für die Analytik von OZV steht die EN ISO 23161:2019 zur Verfügung.

4.14 Exkurs: QuEChERS-Methode

Die QuEChERS-Methode (ÖNORM EN 15662:2018) gilt derzeit für die Analyse von Pestiziden in pflanzlichen Lebensmitteln. Aufgrund der vielen Vorteile dieser Methode, liegt es auf der Hand, diese auch auf andere Matrices (z. B. Boden, Klärschlamm oder Kompost) anzuwenden. In der wissenschaftlichen Literatur wird dieser Methode steigende Popularität zugesprochen, da valide Analysenergebnisse gekoppelt mit einem zeitlich schnellen Durchsatz auch die ökonomischen Vorteile sichtbar werden lassen (Vera et al. 2013). Die Vorteile wie z. B. die gleichzeitige Extraktion einer großen Probenanzahl bei starker Reduktion der ar-

beitsintensiven Probenvorbereitung sind klar erkennbar. Weiters sind ein geringer Lösungs-
mittelverbrauch sowie geringe Analysekosten pro Probe evidente Vorteile. Diese Methode
kommt den Prinzipien der „Grünen Chemie“ sowie den in dieser Broschüre vorgeschlage-
nen Entscheidungskriterien auf ökologischer Basis sehr entgegen. Auch sind die notwendi-
gen Probenvorbereitungsgeräte vergleichbar günstig, was diese Methode zu einer sehr in-
teressanten Alternative zu anderen existierenden Methoden darstellt.

Als mögliche Nachteile sind eine größere Messunsicherheit (MU), eine wesentlich stärkere
Belastung und dadurch verkürzte Lebensdauer der Säulen sowie der notwendige Einsatz
von Matrixstandards zu erwähnen.

Trotz der Einfachheit dieser Methode kann sie auch bei komplexen Matrices eingesetzt wer-
den und ist dabei, bestehende Methoden zu ersetzen. In der Literatur sind mehrere modi-
fizierte bzw. vereinfachte QuEChERS-Anwendungen publiziert, wo diverse organische
Schadstoffe (z. B. Pestizide, aber auch andere Schadstoffe) erfolgreich aus Boden- bzw. Se-
dimentproben extrahiert werden konnten.

Die getesteten Methoden wurden validiert, womit eine verlässliche Bestimmung von aus-
gewählten Verbindungen mit hohen Wiederfindungsraten gegeben ist (Vera et al. 2013).
Um die Anwendungsmöglichkeiten für weitere organische Schadstoffgruppen mit unter-
schiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften zu vergrößern, sind weitere Un-
tersuchungen bzw. Ringversuche empfehlenswert.

Auf Grundlage der wissenschaftlichen Literatur wird die Etablierung dieser Methode auch
für die Bodenanalytik innerhalb des Gremiums der Austrian Standards empfohlen.

5 Angaben zu den Ergebnissen

5.1 Allgemeines

In fast allen Analysennormen gibt es Anforderungen, welche Angaben zu den Ergebnissen in den Berichten anzuführen sind.

Standardmäßig anzugeben ist die jeweils angewandte Analysenmethode. Zusätzlich ist in den Normen weiterhin auch oftmals festgelegt, dass die Extraktion/Reinigungsschritte, teilweise auch die Endbestimmung zu beschreiben sind. Darüber hinaus sind auch jegliche Abweichungen von der Norm zu dokumentieren.

In der Praxis erfolgen die Angaben bei den Ergebnissen oft unterschiedlich. Meist wird nur die Norm angegeben. Einen Überblick, welche Angaben gegeben werden können, zeigt Tabelle 31.

Infolge der vielen Kombinationsmöglichkeiten bei der Bestimmung der einzelnen Schadstoffgruppen ist zu überlegen, ob neben der Angabe der Norm in Hinkunft zumindest auch das Extraktionsmittel, die Art der Extraktion und die Detektionsart ebenfalls verbindlich angeführt werden sollten. Weiters wäre in Hinblick auf Vergleichbarkeit und ggf. Interpretation der Daten auch eine kurze Beschreibung der Probenahme (zumindest Angabe der Tiefenstufe) erforderlich bzw. die durchgeführte Probenvorbereitung zu dokumentieren. Im akkreditierten Bereich sind die Angaben zur Probenahme und Probenvorbereitung über ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025 in der geltenden Fassung geregelt.

5.2 Summenbildung in der Analytik

Bei einigen Schadstoffgruppen ist es üblich, einen Summenwert anzugeben. Für die Summenbildung gibt es bis auf wenige Ausnahmen (z. B. ÖNORM EN 15308:2017 im Anhang D) keine konkreten Vorgaben in den jeweiligen Analysennormen. Das GS Zeichen (Geprüfte Sicherheit), das sich jedoch nur auf Produkte bezieht, gibt zum Beispiel vor, dass bei der Summenbildung der PAK nur Werte oberhalb der BG berücksichtigt werden (AfPS GS 2019:01 PAK Seite 5).

Bei der Angabe von Summenwerten sollte die Grundlage der Berechnung bekannt sein sowie die Einzelsubstanzen als auch die Art der Summenbildung. Die Ergebnisse der Einzelsubstanzen sollten ebenfalls ausgewiesen werden. Um eine einheitliche Vorgangsweise zu erzielen, wird empfohlen, dass der Gesetzgeber bzw. ein Normbildungsprozess das Vorgehen bei der Summenbildung festlegen soll.

Ein Überblick über die Summenbildung wird in Tabelle 33 gegeben.

Für die Summenbildung wird oft auf die **ONR 136602:2009**, welche aus dem Wasserbereich stammt, verwiesen. Diese beschreibt u.a. folgende Verfahren:

1. Verfahren 1: Summenangabe der nachweisbaren und mengenmäßig bestimmbaren Substanzen (entspricht LB^* , $>BG$)
2. Verfahren 2: Summenangabe mit der Festlegung, dass Werte der jeweiligen Berichtsgrenze als Nullwerte behandelt werden ($> Berichtsg^{**}$, laborspezifisch)
3. Verfahren 3: Summenangabe mit der Festlegung, dass Werte unter der jeweiligen Berichtsgrenze als Werte an der Berichtsgrenze behandelt werden (Aufrunden, entspricht UB^*)
4. Verfahren 4: Summenangaben als Bereich (Intervall *** ; $LB-MB-UB^*$)

Wenn keine spezifischen Vorgaben des Auftraggebers oder aufgrund von Regelwerken vorliegen, wird (in der ONR 136602:2009) das Verfahren 2 empfohlen.

Hinweis: In der Praxis hat sich auch etabliert, dass Werte $<BG$ mit dem Wert der halben Bestimmungsgrenze bei der Summenbildung berücksichtigt werden bzw. Werte $<NG$ mit „Null“.

Unabhängig der oben genannten Verfahren sind folgende Vorgaben zu berücksichtigen:

- Anführen der Einzelwerte, die für die Summenbildung herangezogen werden.
- Dokumentation des Verfahrens, wie die Summenbildung durchgeführt wurde (d.h. wie wurden Werte $<BG$ bzw. $<NG$ berücksichtigt) bzw. Verweis auf eine konkrete Norm samt Unterpunkt.
- Berechnung soll anhand der Analysenwerte erfolgen (nicht auf Basis der gerundeten Werte)
- Anzuführende Stellen, die Summe darf maximal auf soviel signifikante Stellen gerundet werden, wie der höchste Einzelwert besitzt.

LB-MB-UB:** Für die Berechnung des Upper-Bound (UB) sind die Werte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze liegen, gleich der Bestimmungsgrenze. Beim Lower-Bound-Ansatz (LB) werden Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze gleich „null“ gesetzt. *Berichtsgrenze:** Bei der Berichtsgrenze kann es sich um die Bestimmungsgrenze (BG), aber auch um das untere Arbeitsbereichsende der verwendeten Methode oder um eine untere Grenze, ab welcher Werte angegeben werden (auftrags- bzw. projektsabhängig) handeln. *****Intervall:** Bei Auswertung der Analysenergebnisse wird eine Minimal- und eine Maximalbewertung durchgeführt. Bei der Minimalbewertung werden alle nicht nachweisbaren Substanzen gleich „null“ gesetzt und alle Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze (BG) mit der Nachweisgrenze („NG“) berücksichtigt. Bei der Maximalbewertung werden alle nicht nachweisbaren Stoffe gleich der „NG“ gesetzt und alle Nachweise kleiner BG gleich der „BG“ gesetzt.

5.3 Ergebnisse der Labor-Kurz-Umfrage

Für einen Einblick in die derzeitige Vorgangsweise der einzelnen Labore bezüglich Ergebnisdarstellung sowie Angabe von zusätzlichen Parametern in Prüfberichten, wurde eine „Kurz-Umfrage“ (Tabelle 30) bei den acht beteiligten österreichischen Laboren durchgeführt, die im Folgenden dargestellt wird.

Tabelle 30: Fragen der Kurz-Umfrage an acht Labore.

Frage 1	Welche Angaben geben Sie zusätzlich zum Messergebnis im Prüfbericht an?
Frage 2	Geben Sie Hinweise auf die Norm, das Extraktionsverfahren, das Lösungsmittel, die Probenvorbereitung, Sonstiges an?
Frage 3	Wie gehen Sie bei der Summenbildung von Analytik-Ergebnissen, (zB Summe PAK16, PCB6 bzw. PCB7) bei Vorliegen von Werten unter der BG bzw. NG, vor?
Frage 4	Geben Sie die Messunsicherheit an (und wenn ja, auf Kundenwunsch oder standardmäßig)?
Frage 5	Wie wird die Messunsicherheit bestimmt und wie wird sie angegeben?

Aus der Praxis:

Zu Frage 1:

Die Angaben, welche zusätzlich zum Messergebnis angegeben werden, hängen in erster Linie davon ab, ob ein Prüfbericht gem. ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025:2018 bzw. Vorgaben gem. Deponieverordnung erstellt wird.

In Tabelle 31 wird ein Überblick über die von Laboren in Prüfberichten zusätzlichen Angaben gezeigt. Die Angaben werden gruppiert in (a) allgemeine Angaben zur Probe, (b) Angaben je Parameter und in Tabelle 32 (c) Parameter entsprechend der Deponieverordnung dargestellt.

Tabelle 31: Parameter, die im Prüfbericht dargestellt werden (können).

Allgemeine Angaben zur Probe	Auftraggeber (samt Kontaktdaten, Kundennummer, Verteiler – sofern der Bericht an mehrere Personen geht)
	Zusammenfassung der Beauftragung
	Prüfberichtsnummer
	Auftragsnummer
	Probennummer (Analysennummer)
	Probeneingang
	Probenbeschreibung (Menge, Aussehen, welches Gebinde etc.)
	Auffälligkeiten bei der Probenanlieferung
	Probenahmedatum
	Probenehmer/In
	Art der Probenahme
	Falls Parameter extern vergeben wurden, sind diese ebenfalls zu kennzeichnen
	Kennzeichnung von Daten die vom Kunden ermittelt/übermittelt worden sind
	Probenahmeverfahren (sofern die Proben durch eigene Probenehmer/In gezogen wurden) und Kennzeichnung wenn Verfahren nicht akkreditiert ist.
	Probenvorbereitung (Trocknen, Mahlen, Homogenisieren, Probenteilen, Sieben, Überkornanteil, Größenreduzierung, nicht zerkleinerter Anteil etc.)
	Probenbezeichnung
	Beginn der Prüfungen (nicht je Parameter – sondern über die gesamte Probe)
	Ende der Prüfungen (z. B. mit der Freigabe des Prüfberichts (nach Abschluss etwaiger Wiederholungsanalysen)
	Angabe des gesamten Prüfumfangs (nicht nur der quantifizierbare Teil)
	Datum des Prüfberichts
	Freigabe des Prüfberichts durch (Zeichnungsberechtigte/r SachbearbeiterIn)
Angaben je Parameter:	Parameter (Bezeichnung)
	Einheit
	Analysenergebnis
	Bestimmungsgrenze (bei Feststoffbefunden auch die NG entspr. DepVO)
	Grenzwert, Richtwert (wenn Konformitätsbewertungen durchgeführt werden)
	Methode (angewandte Norm/angewandtes Verfahren inkl. Ausgabedatum)
	Kennzeichnung von Verfahren, die nicht akkreditiert sind
	Angewandtes Aufschluss- bzw. Elutionsverfahren (z.B. bei Schwermetallen)
	Bei Fremdvergabe:

	*Kennzeichnung des Parameters (Bezeichnung)
	*Angabe des Analysenverfahrens im Fremdlabor
	*Kennzeichnung, ob akkreditiert ist (inkl. Akkreditierungsnummer)
	Messunsicherheit (sofern vom Kunden verlangt bzw. vorgegeben) inkl. Entscheidungsregel

Viele dieser Angaben sind Pflichtangaben gemäß ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025:2018.

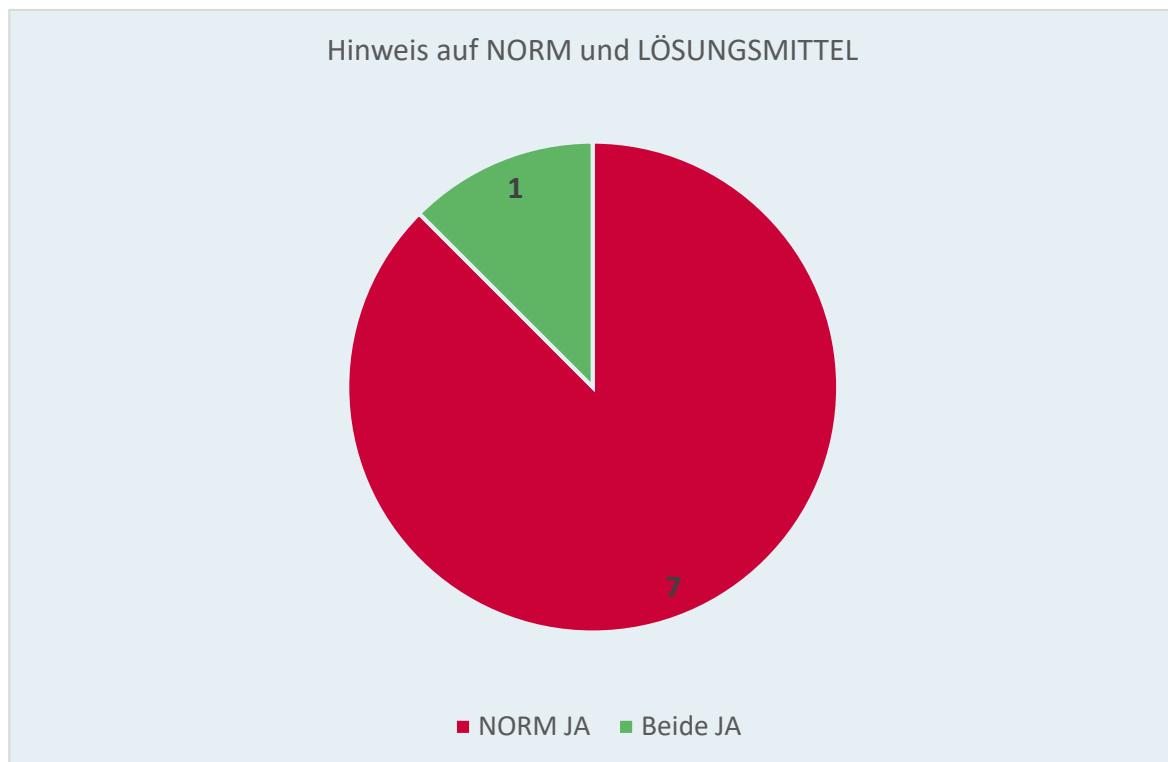
Tabelle 32: Zusätzliche Parameter, die im Prüfbericht entsprechend der Deponieverordnung (BGBl. II 39/2008) dargestellt werden.

Zusätzliche Angaben bei Untersuchungen gemäß Deponieverordnung (entsprechend der Akkreditierungsstelle)	Probenaufbereitungsprotokoll (analog EN 15002 und EN 12457-4) je Probe
	Probenvorbereitung (von der Feldprobe zur Laborprobe zur Prüfprobe)
	*Max. Korngröße/Stückigkeit
	*Größe der Laborprobe
	*Abfall-/Materialart
	*Angabe ob Probenahmeprotokoll übermittelt wurde
	*Auffälligkeiten bei Probenanlieferung
	*Angaben zur Probenkonservierung bei Anlieferung/Transport
	*Wurden Mischproben im Labor erstellt
	-Wenn ja, Anzahl der Einzelproben
	*Aussortierte inerte Fremdanteile
	-Wenn ja, Anteil in Gew-%
	*Angabe auf welche Fraktion sich das Analyseergebnis bezieht (meistens Gesamtfraktion, es kann aber auch sein, dass nur der Feinanteil < 2 mm zu untersuchen war - oder ähnliches)
	*Art der Zerkleinerung (sofern zutreffend)
	-Backenbrecher
	-Schneidmühle
	-Art der Trocknung (z.B. forcierte Lufttrocknung bei 30°C)
	*Art der Probenteilung / Homogenisierung (Fraktioniertes Teilen, Kegeln und Vierteln, Rotationsverteiler, Riffelteiler, Cross-riffling)
	*Angabe bezügl. Rückstellprobe (Lagerungsort und –dauer)
	*Anzahl der Prüfproben
	Probenaufarbeitung (von der Prüfprobe zur Messprobe)
	*untersuchungsspezifische Trocknung der Prüfprobe (chem. Trocknung, Ofentrocknung 105 °C, forcierte Lufttrocknung, Gefriertrocknung)

	*untersuchungsspezifische Feinzerkleinerung der Prüfprobe (brechen / schneiden < 2 mm; mahlen / schneiden < 250 µm)
	Herstellung und Aufbereitung des Eluat
	*Datum Eluatansatz
	*Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis (L/S)
	*Masse der Messprobe (in kg)
	*Menge des Auslaugmittel (in l)
	*Art der Flasche
	*Elutionsdauer mit Angabe des Temperaturbereichs
	*Flüssig/Fest-Trennungsschritt
	-Zentrifugieren (Dauer inkl. RZB; Parametergruppe)
	-Filtration (Porenweite, Parametergruppe)
	*Datum der zuletzt durchgeführten Blindprobe

Die Antworten auf die Frage 2 (Geben Sie Hinweise auf die Norm, das Extraktionsverfahren, das Lösungsmittel, die Probenvorbereitung, Sonstiges an?) werden zusammengefasst in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich der Angabe der verwendeten Norm bzw. Lösungsmittel (LM) (Frage 2).



Die Antworten auf die Frage 3 (Wie gehen Sie bei der Summenbildung von Analytik-Ergebnissen, (zB Summe PAK16, PCB6 bzw. PCB7) bei Vorliegen von Werten unter der BG bzw. NG, vor?) werden zusammengefasst in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich Summenbildung von Werten unter der Bestimmungsgrenze (BG) (Frage 3).

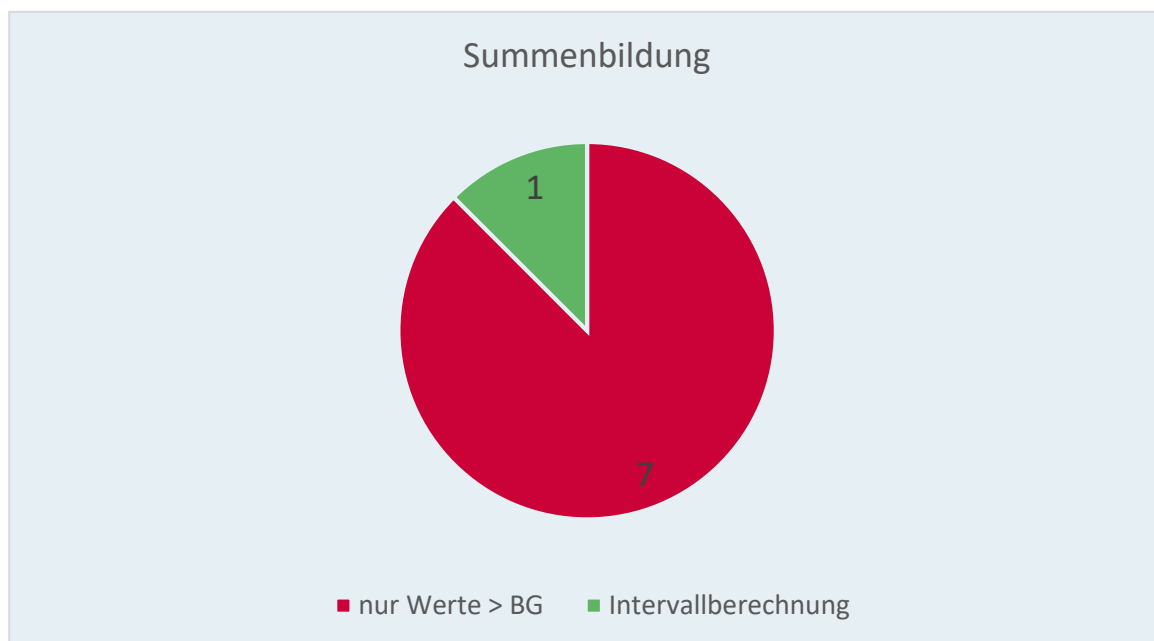


Tabelle 33: Parameter, die als Summe dargestellt werden und die Art der Summenbildung der befragten Labore.

		Summenbildung	
PAK (6)	Fluoranthen	> BG	Intervall
	Benzo[b]fluoranthen	> BG	Intervall
	Benzo[k]fluoranthen	> BG	Intervall
	Benz[a]pyren	> BG	Intervall
	Indeno[1,2,3-cd]pyren	> BG	Intervall
PAK (16)	Benzo[g,h,i]perylene	> BG	Intervall
	Naphthalin	> BG	Intervall
	Acenaphthylen	> BG	Intervall
	Acenaphthen	> BG	Intervall
	Fluoren	> BG	Intervall
	Phenanthren	> BG	Intervall
	Anthracen	> BG	Intervall
	Fluoranthen	> BG	Intervall

Summenbildung			
	Pyren	> BG	Intervall
	Benzo[a]anthracen	> BG	Intervall
	Chrysen	> BG	Intervall
	Benzo[b]fluoranthen	> BG	Intervall
	Benzo[k]fluoranthen	> BG	Intervall
	Benzo[a]pyren	> BG	Intervall
	Dibenzo[a,h]anthracen	> BG	Intervall
PCB (6)	Indeno[1,2,3-cd]pyren	> BG	Intervall
	Benzo[g,h,i]perylene	> BG	Intervall
	PCB 28 (2,4,4'-Trichlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 52 (2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
PCB (7)	PCB 28 (2,4,4'-Trichlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 52 (2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 101 (2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 118 (2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 138 (2,2',3,4,4',5'-Hexachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 153 (2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
	PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl)	> BG	Intervall
dl-PCB (12)	PCB 77 (3,3',4,4'-Tetrachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 81 (3,4,4',5-Tetrachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 126 (3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 169 (3,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 105 (2,3,3',4,4'-Pentachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 114 (2,3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 118 (2,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 123 (2',3,4,4',5-Pentachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 156 (2,3,3',4,4',5-Hexachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	PCB 157 (2,3,3',4,4',5'-Hexachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	

Summenbildung			
	PCB 167 (2,3',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
PCDD/F (17)	PCB 189 (2,3,3',4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl)	LB, MB, UB	
	2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	1,2,3,7,8-Pentachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	Octachlordibenzo-p-dioxin	LB, MB, UB	
	2,3,7,8-Tetrachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,7,8-Pentachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	2,3,4,7,8-Pentachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,4,7,8-Hexachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	2,3,4,6,7,8-Hexachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,7,8,9-Hexachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,4,6,7,8-Heptachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	1,2,3,4,7,8,9-Heptachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
	Octachlordibenzofuran	LB, MB, UB	
PBDE (6)	BDE 28 (2,4,4'-TriBDE)	> BG	Intervall
	BDE 47 (2,2',4,4'-TetraBDE)	> BG	Intervall
	BDE 99 (2,2',4,4',5-PentaBDE)	> BG	Intervall
	BDE 100 (2,2',4,4',6-PentaBDE)	> BG	Intervall
	BDE 153 (2,2',4,4',5,5'-HexaBDE)	> BG	Intervall
	BDE 154 (2,2',4,4',5,6'-HexaBDE)	> BG	Intervall

Um die Vorgangsweise bezüglich der Messunsicherheit (MU) zu erläutern, wird in Abbildung 14 dargestellt, ob und aus welchen Gründen die MU bekannt gegeben wird. In Abbildung 15 wird dargestellt, in welcher Form die MU berechnet wird.

Abbildung 14: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich **Angabe** der Messunsicherheit (MU) (Frage 4).

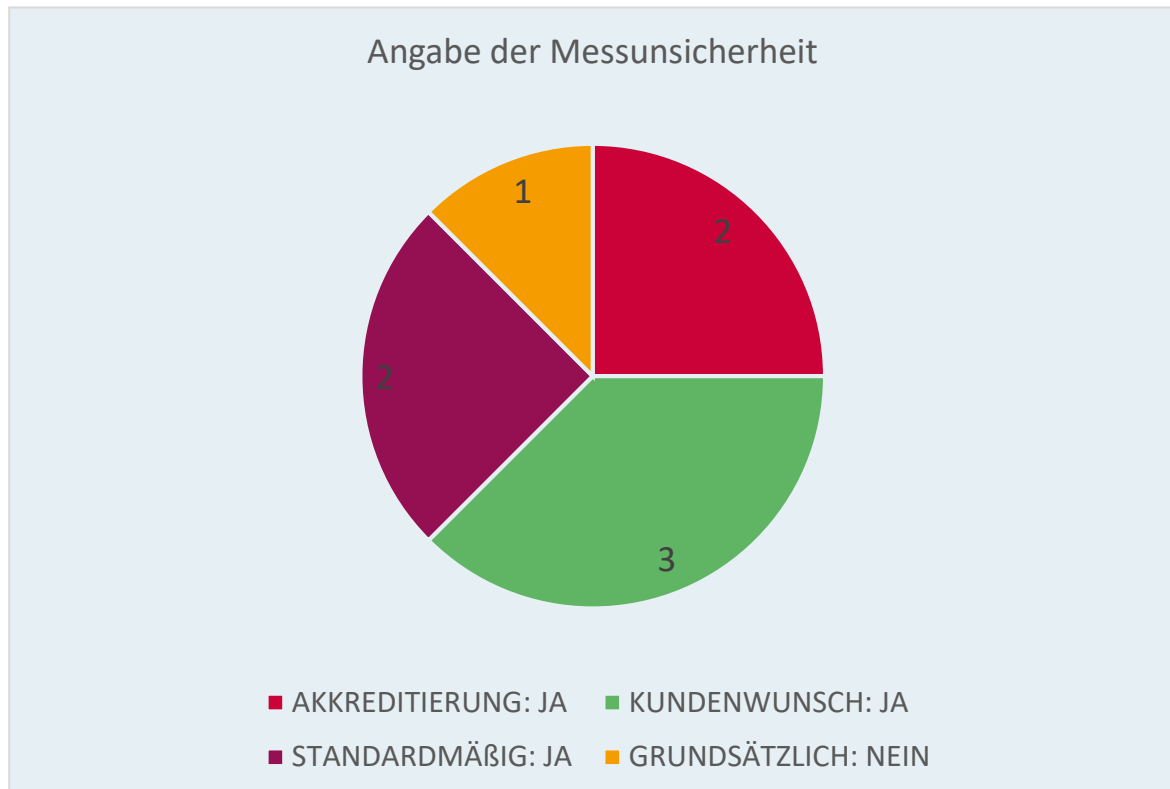
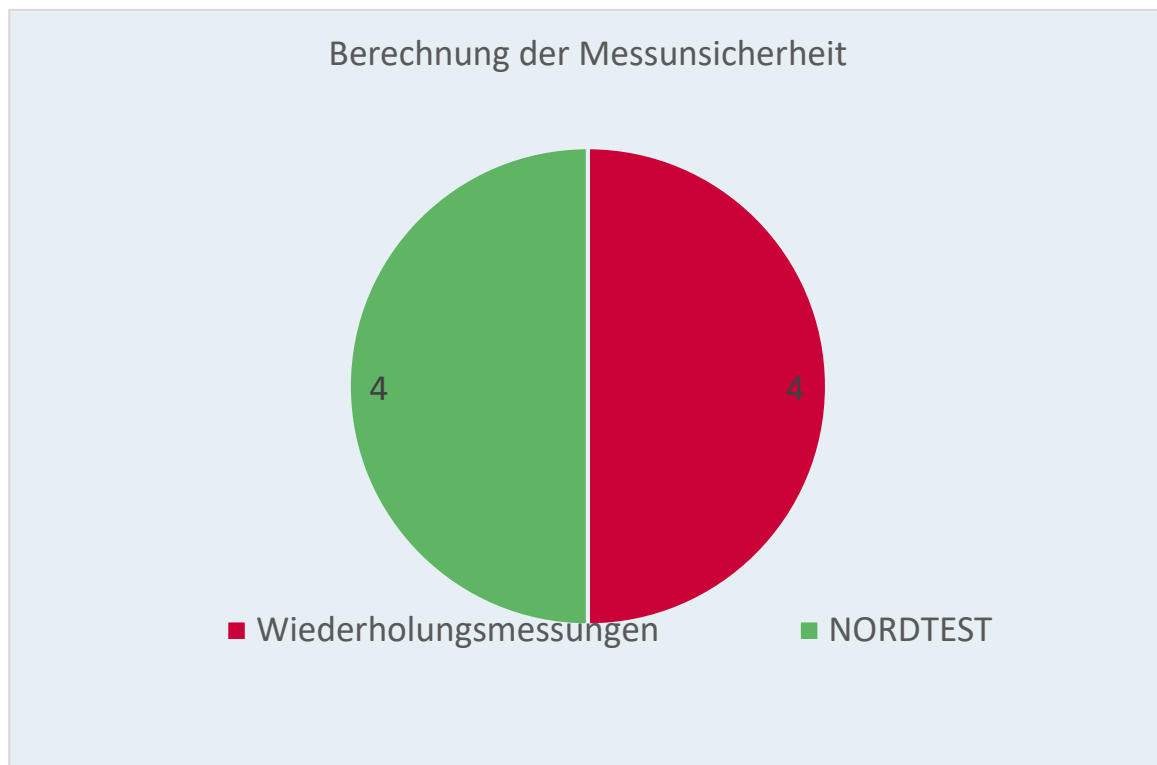


Abbildung 15: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich **Berechnung** der Messunsicherheit* (MU) (Frage 5).



***NORDTEST**: Ermittlung der Messunsicherheit aus verschiedenen Verfahrenskenngrößen.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Teilnehmende Labore aus Österreich	8
Tabelle 2: Toxikologisch relevante Eigenschaften von Lösungsmitteln	18
Tabelle 3: Übersicht über die Normgrundlagen zur PAK-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (X) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren.....	24
Tabelle 4: PAK-Analytik: ÖNORM EN 16181:2018	25
Tabelle 5: PAK-Analytik: ÖNORM EN 15527:2008	26
Tabelle 6: PAK-Analytik: ÖNORM L 1200:2003	27
Tabelle 7: Übersicht über die Normgrundlagen zur PCB-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (X) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren.....	31
Tabelle 8: PCB-Analytik: ÖNORM EN 16167:2019	32
Tabelle 9: PCB-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019	33
Tabelle 10: PCB-Analytik: ÖNORM EN 15308:2017	34
Tabelle 11: PCB-Analytik: DIN ISO 10382:2003	35
Tabelle 12: PCB-Analytik: DIN 38414-20:1996	36
Tabelle 13: Übersicht über die Normgrundlagen der OCP-Analytik. Angeführt sind die in der Norm erlaubten Verfahren (X) sowie alle im Ringversuch verwendeten Verfahren. ...	40
Tabelle 14: OCP-Analytik: DIN ISO 10382:2003	41
Tabelle 15: OCP-Analytik: ÖNORM EN 15662:2018	42
Tabelle 16: OCP-Analytik: ÖNORM EN 15308:2017	43
Tabelle 17: Übersicht über die Normgrundlagen zur Analytik von LHKW und BTEX.....	47
Tabelle 18: LHKW/BTEX-Analytik: ÖNORM EN ISO 22155:2016	48
Tabelle 19: LHKW/BTEX-Analytik: ÖNORM EN ISO 15009:2016	49
Tabelle 20: PFAS-Analytik – ONR CEN/TS 15968:2010.....	52
Tabelle 21: PFAS-Analytik – DIN: 38414-14:2011	53
Tabelle 22: PCDD/F-Analytik – ON EN 16190:2019.....	55
Tabelle 23: NP, NP1EO, NP2EO-Analytik – CEN/TS 16182:2012	57
Tabelle 24: Chlorphenol-Analytik: DIN ISO 14154:2005-12	59
Tabelle 25: Lineare Alkylsulfonate (LAS)-Analytik – CEN/TS 16189:2012.....	61
Tabelle 26: Phthalate-Analytik – CEN/TS 16183:2012	63
Tabelle 27: PCN-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019	65
Tabelle 28: PBDE-Analytik: ÖNORM EN 16190:2019	67
Tabelle 29: Zinnorganische Verbindungen (OZV)– EN ISO 23161:2019	69
Tabelle 30: Fragen der Kurz-Umfrage an acht Labore.	73
Tabelle 31: Parameter, die im Prüfbericht dargestellt werden (können).....	74

Tabelle 32: Zusätzliche Parameter, die im Prüfbericht entsprechend der Deponieverordnung (BGBl. II 39/2008) dargestellt werden.....	75
Tabelle 33: Parameter, die als Summe dargestellt werden und die Art der Summenbildung der befragten Labore.....	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Labore, die die jeweiligen Schadstoffgruppen analysieren.....	9
Abbildung 2: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 1.....	11
Abbildung 3: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 2.....	11
Abbildung 4: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 3.....	12
Abbildung 5: Wiederfindungsrate der Summe 16 PAK im Ringversuch 1 der Probe 4.....	12
Abbildung 6: Wiederfindungsrate der Summe 7 PCB im Ringversuch 1 der Probe 4.....	13
Abbildung 7: Wiederfindungsrate von 4,4'-DDT im Ringversuch 2 der Probe 1.	14
Abbildung 8: Wiederfindungsrate von Aldrin im Ringversuch 2 der Probe 1.....	15
Abbildung 9: Wiederfindungsrate von Hexachlorbenzol im Ringversuch 2 der Probe 1.....	15
Abbildung 10: Wiederfindungsrate von Lindan (γ -HCH) im Ringversuch 2 der Probe 1.	16
Abbildung 11: Wiederfindungsrate von trans-Chlordan im Ringversuch 2 der Probe 1.	16
Abbildung 12: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich der Angabe der verwendeten Norm bzw. Lösungsmittel (LM) (Frage 2).	77
Abbildung 13: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich Summenbildung von Werten unter der Bestimmungsgrenze (BG) (Frage 3).	78
Abbildung 14: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich Angabe der Messunsicherheit (MU) (Frage 4).....	81
Abbildung 15: Dargestellt sind die Anzahl der Labore bezüglich Berechnung der Messunsicherheit* (MU) (Frage 5).....	82

Literaturverzeichnis

Ausschuss für Produktsicherheit (AfPS) GS-Spezifikation. Prüfung und Bewertung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bei der Zuerkennung des GS-Zeichens - Spezifikation gemäß § 21 Abs. 1 Nr. 3 ProdSG - AfPS GS 2019:01 PAK Stand: 10. April 2020

Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2020): Verordnung der über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung 2020)

Bundesinstitut für Risikobewertung (2011): Organozinnverbindungen in verbrauchernahen Produkten. Online verfügbar unter: https://www.bfr.bund.de/cm/343/organozinnverbindungen_in_verbrauchernahen_produkten.pdf

ECHA (Europäische Chemikalienagentur) (2020). Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis: Datenbank des C&L-Verzeichnisses. <http://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database> (ECHA, 2020).

EU Verordnung 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe.

EU Richtlinie 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung).

Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (2020): Boden und nachhaltige Entwicklungsziele - Empfehlungen zur Umsetzung in Österreich. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus; p 139.

Institut für Umweltanalysen (2019): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung innerhalb der Detailuntersuchung (Nr. B 3.17). Online verfügbar unter: https://www.umweltministerkonferenz.de/umlbeschluesse/UmlaufID_1576_DateiID_526.pdf

ISO/DIS 23646:2020: Soil quality — Determination of organochlorine pesticides by gas chromatography with mass selective detection (GC-MS) and gas chromatography with electron-capture detection (GC-ECD)

Li, Fei / Fang, Xinliang / Zhou, Zhenming / Liao, Xiaobin / Zou, Jing / Yuan, Baoling / Sun, Wenjie (2019): Adsorption of perfluorinated acids onto soils: Kinetics, isotherms, and influences of soil properties. In: *The Science of the total environment* 649, S. 504–514. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.209

Litz, Norbert (2004): Organische Verbindungen. In: Blume H.-P. (Hrsg.) Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und –belastung, Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg am Lech, ecomed Verlagsgesellschaft 2004, 3. Auflage, S 416-492.

Martín-Pozoa, Laura / Blanca de Alarcón-Gómez / Rocío Rodríguez-Gómez / María Teresa García-Córcoles / Morsina Çipab / Alberto Zafra-Gómez (2019): Analytical methods for the determination of emerging contaminants in sewage sludge samples. A review. *Talanta* 192, 508–533

Öko-Institut e.V. (2012): Untersuchung der Einsatzmengen von schwer abbaubaren organischen Inhaltsstoffen in Wasch- und Reinigungsmitteln im Vergleich zum Einsatz dieser Stoffe in anderen Branchen im Hinblick auf den Nutzen einer Substitution. R. Groß, A. Leisewitz, K. Moch. Online verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3709_65_430_wasch_und_reinigungsmittel_bf.pdf

ÖNORM EN 17322:2018: Umweltrelevante feste Matrices - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) oder Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)

Reinhard, Michael / Held, Thomas (2018): PFC-BELASTUNGEN IN MITTEL- UND NORDBADEN - Modellstudie zur Untersuchung des Eintrags von PFC aus belasteten Böden in das Grundwasser (Schlussbericht), Arcadis Germany GmbH, p 96.

Vera, Jose / Luísa Correia-Sá / Paula Paíga / Idalina Bragança / Virgínia C. Fernandes / Valentina F. Domingue / Cristina Delerue-Matos (2013) QuEChERS and soil analysis. An Overview. DOI: 10.2478/sampre-2013-0006, Sample Preparation: 54-77

UBA (2020a): Phthalate in Humanproben. Umweltprobenbank des Bundes. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland. Online verfügbar unter: https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/selected_results/16425

UBA (2020b): Polybromierte Diphenylether. Umweltprobenbank des Bundes. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/26591>

UBA (2012): Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe - Umweltschädlich! Giftig! Vermeidbar? Umweltbundesamt Dessau, Roßlau. Deutschland.

UBA (2004): Untersuchung von Klärschlamm auf ausgewählte Schadstoffe und ihr Verhalten bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung: Umweltbundesamt Berlin. Deutschland

Umweltbundesamt (2018): Auswertung des Bodens-AG Ringests PAK und PCB; Probenversand am 12. November 2018; 1. Ausgabe vom 29. Februar 2019

Umweltbundesamt (2019): Auswertung des Bodens-AG Ringests Organochlorpestizide Probenversand am 10. September 2019; 1. Ausgabe vom 09. März 2020

Umweltbundesamt (2015a): Phthalat- und Bisphenol A-Belastung in Österreich. Hartmann, C. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0532.pdf>

Umweltbundesamt (2015b): Ermittlung von potentiellen POP-haltigen Abfällen und Recyclingstoffen-Ableitung von Grenzwerten. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_34_2015_ermittlung_von_potenziell_pop_haltigen_abfaellen.pdf

Wong, Fiona / Kurt-Karakus, Perihan / Bidleman, Terry (2012): Fate of Brominated Flame Retardants and Organochlorine Pesticides in Urban Soil: Volatility and Degradation; Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 2668–2674

Normenverzeichnis

Probenahme

ÖNORM EN ISO 25177:2020-03-15; Bodenbeschaffenheit - Bodenbeschreibung im Felde (ISO 25177:2019)

ÖNORM L 1050:2016-03-15; Boden als Pflanzenstandort - Begriffe und Untersuchungsverfahren

ÖNORM L 1054:2004 07 01; Probenahme von Böden - Allgemeines, Terminologie

ÖNORM L 1055:2004 07 01; Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden

ÖNORM L 1056:2004 07 01; Probenahme von Dauergrünland (inklusive Parkanlagen, sowie Zier- und Sportrasen)

ÖNORM L 1057:2004 07 01; Probenahme von wein- und obstbaulich genutzten Böden und Böden von Baumschulen

ÖNORM L 1058:2004 07 01; Probenahme von Böden in geschütztem Anbau, Substraten und Nährlösungen

ÖNORM L 1059:2004 07 01; Probenahme von Waldböden

ÖNORM EN 14899:2006 02 01; Charakterisierung von Abfällen – Probenahme von Abfällen

ÖNORM S 2126:2016 02 01; Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit

ÖNORM S 2127:2011 11 01; Grundlegende Charakterisierung von Abfallhaufen oder von festen Abfällen aus Behältnissen und Transportfahrzeugen

ÖVE/ÖNORM EN ISO/IEC 17025:2018; Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien (ISO/IEC 17025:2017)

Probenvorbereitung

ÖNORM L 1053:2012 04 15; Bodenuntersuchungen - Allgemeine Grundlagen

ÖNORM EN 16179:2012-10-15; Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden —Anleitung zur Probenvorbehandlung

ÖNORM EN ISO 16720:2007 05 01; Bodenbeschaffenheit - Vorbehandlung von Proben durch Gefriertrocknung für die anschließende Analyse (ISO 16720:2005)

ÖNORM EN 15002:2015 07 01; Charakterisierung von Abfällen — Herstellung von Prüfmen-
gen aus der Laborprobe

ÖNORM S 2117:2018; Herstellung eines Eluates aus ungemahlenen Abfallproben mit einer Korngröße kleiner 10 mm für die Untersuchung der aquatischen Ökotoxizität und der organischen Parameter

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

ÖNORM EN 16181:2018; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) mittels Gaschromatographie (GC) und Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC)

ÖNORM EN 15527:2008; Charakterisierung von Abfällen – Bestimmung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Abfall mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)

ÖNORM L 1200:2003; Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden, Klärschlämmen und Komposten (2012 zurückgezogen)

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

ÖNORM EN 16167:2019; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) und Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)

ÖNORM EN 16190:2019; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm — Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS)

ÖNORM EN 15308:2017; Charakterisierung von Abfällen — Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion

DIN ISO 10382:2003; Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor (ISO 10382:2002)

DIN 38414-20:1996; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB) (S 20)

ÖNORM EN 17322:2018; Umweltrelevante feste Matrices - Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB) mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) oder Elektroneneinfang-Detektion (GC-ECD)

Organochlorpestizide (OCP)

DIN ISO 10382:2003; Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Organochlorpestiziden und polychlorierten Biphenylen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektor

ÖNORM EN 15308:2017; Charakterisierung von Abfällen - Bestimmung ausgewählter polychlorierter Biphenyle (PCB) in festem Abfall mittels Gaschromatographie mit Elektroneneinfang-Detektion oder massenspektrometrischer Detektion

ÖNORM EN 15662:2018; Pflanzliche Lebensmittel - Multiverfahren zur Bestimmung von Pestizidrückständen mit GC und LC nach Acetonitril-Extraktion/Verteilung und Reinigung mit dispersiver SPE - Modulares QuEChERS-Verfahren

ISO/DIS 23646:2020; Soil quality — Determination of organochlorine pesticides by gas chromatography with mass selective detection (GC-MS) and gas chromatography with electron-capture detection (GC-ECD)

Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (LHKW und BTEX)

ÖNORM EN ISO 22155:2016; Bodenbeschaffenheit — Gaschromatographische Bestimmung flüchtiger aromatischer Kohlenwasserstoffe, Halogenkohlenwasserstoffe und ausgewählter Ether — Statisches Dampfraum-Verfahren (ISO 22155:2016)

ÖNORM EN ISO 15009:2016; Bodenbeschaffenheit — Gaschromatographische Bestimmung des Anteils an flüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Naphthalin und flüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen — Purge-und-Trap-Anreicherung mit thermischer Desorption (ISO 15009:2016)

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

ÖNORM CEN/TS 15968:2010; Bestimmung von extrahierbarem Perfluorooctansulfonat (PFOS) in beschichteten und imprägnierten Feststoffartikeln, Flüssigkeiten und Feuerlöschschäumen - Verfahren zur Probenahme, Extraktion und Analyse mittels LC-qMS oder LC-tandem/MS (CEN/TS 15968:2010)

DIN 38414-14:2011; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14)

Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/F)

ÖNORM EN 16190:2019; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS); Soil, treated biowaste and sludge - Determination of dioxins and furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls by gas chromatography with high resolution mass selective detection (HR GC-MS)

EPA Method 1613:1994; Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC-HRMS

Alkylphenole (APH)

ONR CEN/TS 16182: 2012 04 01; Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von Nonylphenolen (NP) und Nonylphenol-Mono- und Diethoxylaten mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (GC-MS) (CEN/TS 16182:2012)

Chlorphenole (CPH)

DIN ISO 14154:2005-12; Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Chlorphenolen - Gaschromatographisches Verfahren mit Elektroneneinfang-Detektion (ISO 14154:2005)

Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)

DIN CEN/TS 16189:2012-05; DIN SPEC 91263:2012-05; Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden - Bestimmung von linearen Alkylbenzolsulfonaten (LAS) mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie (HPLC) mit Fluoreszenzdetektion (FLD) oder massenselektiver Detektion (MS); Deutsche Fassung CEN/TS 16189:2012

Phthalate (PHTH)

CEN/TS 16183:2012; Schlamm, behandelter Bioabfall und Boden — Bestimmung ausgewählter Phthalate mittels kapillarer Gaschromatographie mit massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) (CEN/TS 16183:2012)

DIN 19742:2014-08; Soil quality - Determination of selected phthalates in sludge, sediment, solid waste and soil after extraction and determination using gas chromatography mass spectrometry (GC-MS); Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von ausgewählten Phthalaten in Schlamm, Sediment, festem Abfall und Boden nach Extraktion und Bestimmung mittels massenspektrometrischer Gaschromatographie (GC-MS)

Polychlorierte Naphthaline (PCN)

ÖNORM EN 16190:2019 06 15; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (GC-HRMS)

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

ÖNORM EN 16190:2019; Boden, behandelter Bioabfall und Schlamm - Bestimmung von Dioxinen und Furanen sowie Dioxin-vergleichbaren polychlorierten Biphenylen mittels Gaschromatographie und hochauflösender massenspektrometrischer Detektion (HR GC-MS);
Soil, treated biowaste and sludge - Determination of dioxins and furans and dioxin-like polychlorinated biphenyls by gas chromatography with high resolution mass selective detection (HR GC-MS);

EPA Method 1614:2010; Brominated Diphenyl Ethers in Water Soil, Sediment and Tissue by HRGC-HRMS.

Zinnorganische Verbindungen (OZV)

EN ISO 23161:2019; Bodenbeschaffenheit — Bestimmung ausgewählter Organozinnverbindungen — Gaschromatographisches Verfahren

Summenbildung in der Analytik

Technische Regel: ONR 136602:2009; Wasseruntersuchung - Summenbildung von mehreren Parametern einer Probe

Abkürzungen

Abk.	Abkürzung
APH	Alkylphenole (Nonylphenol, Nonylphenoethoxylate)
Art.	Artikel
ASE	Accelerated Solvent Extraction (Beschleunigte Lösemittelextraktion)(=PLE)
BBP	Benzylbutylphthalat = Butylbenzylphthalat
BBzP	Butylbenzylphthalat = Benzylbutylphthalat
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BTEX	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylole
CHN	Chlorierte Naphthaline
CLP	Classification, Labelling, Packaging (Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung) (CLP-Verordnung)
CPH	Chlorphenole
DBT	Dibutylzinnkation
DBP	Dibutylphthalat
DCHP	Dicyclohexylphthalat
DDcP	Didecylphthalat
DDE	Dichlorodiphenyldichloroethylen
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
DEP	Diethylphthalat
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)-phthalat
DiBP	Di-(2-methylpropyl)-phthalat
DMP	Dimethylphthalat
DOT	Dioctylzinnkation
DOP	Dioctylphthalat
DPP	Dipropylphthalat
DUP	Diundecylphthalat
ECD	Elektroneneinfang-Detektor (electron capture detector)

Abk.	Abkürzung
ELCD	Elektrolytischer Leitfähigkeitsdetektor (electrolytic conductivity detector)
EPA	US Environmental Protection Agency
FID	Flammenionisationsdetektor (flame ionization detector)
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Hexachlorcyclohexan
LB	Lower Bound
LAS	Lineare Alkylsulfonate
LC-qMS	Flüssigkeitchromatographie mit Quadrupol-Massenspektrometrie
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
LM	Lösemittel, Lösungsmittel
MB	MB ... Medium Bound
MBT	Monobutylzinnkation
MOT	Monooctylzinnkation
OCP	Organochlorpestizide
OZV	Organozinnverbindungen
PAH	Polycyclic aromatic Hydrocarbons (=PAK)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (=PAH)
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCBT	Polychlorierte Benzyltoluol
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Dioxine und –Furane
PCT	Polychlorierte Terphenyle
PFAS	Poly- und perfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA	Perfluorbutansäure
PFBS	Perfluorbutansulfonsäure
PFC	Polyfluorierte Verbindungen (Polyfluorierte Chemikalien) (veraltete Abk.)
PFHxA	Perfluorhexansäure
PFOA	Perfluoroctansäure

Abk.	Abkürzung
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
PHTH	Phthalate
PID	Photoionisationsdetektor (photo ionisation detector)
PLE	Pressurized Liquid Extraction (Beschleunigte Lösemittlextraktion) (= ASE)
QuEChERS	Quick, Easy, Cheap, Efficient, Rugged, Save (=schnell, einfach, günstig, effizient, robust, sicher)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien) (REACH-Verordnung)
RV	Ringversuch
SN	Schlüsselnummer
SVHC	Besonders besorgniserregende Substanzen (substances of very high concern)
TBT	Tributylzinnkation
TCyT	Tricyclohexylzinnkation
TPhT	Triphenylzinnkation
TTBT	Tetrabutylzinnkation
UB	Upper Bound
WF	Wiederfindungsrate
usw.	und so weiter

Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus

Stubenring 1, 1010 Wien

bmlrt.gv.at