

Klärschlammkompost

Endbericht



"CIRCULAR ECONOMY" IM ABFALLBEREICH – EVALUIERUNG IM HINBLICK AUF KLÄRSCHLAMMKOMPOST

Endbericht

Wolfgang Friesl-Hanl

REPORT
REP-0805

WIEN 2022

Projektleitung Wolfgang Friesl-Hanl

Autor:innen Wolfgang Friesl-Hanl
Christina Hartmann
Christoph Lampert
Katharina Sexlinger
Andreas Marius Kaiser
Maria Uhl
Florian Amlinger (Technisches Büro für Landwirtschaft)

Lektorat Ira Mollay

Satz/Layout Thomas Lössl

Umschlagfoto © B. Gröger

Auftraggeber Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Dank an Wir möchten uns bei allen Kompostieranlagenbetreiber:innen und Grundbesitzer:innen bedanken, die eine Probenahme ermöglicht haben.

Publikationen Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Diese Publikation erscheint ausschließlich in elektronischer Form auf <https://www.umweltbundesamt.at/>.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2022

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-629-6

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	5
2	KOMMUNALER KLÄRSCHLAMM UND KLÄRSCHLAMMKOMPOST IN ÖSTERREICH	8
3	METHODISCHES VORGEHEN	12
3.1	Probenahmestellen und Probenahme	12
3.1.1	Klärschlammkompost	13
3.1.2	Ausgewählte Bodenstandorte	13
3.2	Chemische Analytik	14
3.2.1	Angewendete Analysemethoden	14
4	ERGEBNISSE	15
4.1	Beschreibung der Klärschlammkomposte (KSK-03-NÖ-2473 und KSK-04-NÖ-3851) und der mit KSK beaufschlagten Standorte	15
4.2	Grundcharakterisierung der Bodenproben	15
4.3	Schadstoffe und Schadstoffgruppen	17
4.3.1	Allgemeines zur Schadstoffbeschreibung	17
4.3.2	Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)	18
4.3.3	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Dioxine und -Furane (PCDD/F).....	25
4.3.4	Polychlorierte Biphenyle (PCB, dl-PCB).....	31
4.3.5	Hexachlorbenzol (HCB).....	36
4.3.6	Polybromierte Diphenylether (PBDE) und Decabromdiphenylethan (DBDPE) und Dechloran.....	40
4.3.7	Zinnorganische Verbindungen (OZV).....	45
4.3.8	Nonylphenol und seine Ethoxylate (4-NP, NP1EO, NP2EO)	49
4.3.9	Bisphenol A (BPA)	53
4.3.10	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK).....	56
4.3.11	Phthalate.....	60
4.3.12	Weitere Industriechemikalien.....	64
4.3.13	Mikroplastik.....	71
5	ZUSAMMENFASSUNG	80
6	SUMMARY	87
7	ABKÜRZUNGEN	94
8	LITERATUR	100

9	RECHTSNORMEN UND LEITLINIEN	109
10	TABELLENVERZEICHNIS	111
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	116
12	ANHANG	119
12.1	Detailergebnisse – Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)	119
12.2	Detailergebnisse – Polychlorierte Dibenzo-<i>p</i>-Dioxine und -Furane (PCDD/F)	122
12.3	Detailergebnisse – Polychlorierte Biphenyle (PCB, dl-PCB)	125
12.4	Detailergebnisse – Hexachlorbenzol (HCB)	128
12.5	Detailergebnisse – Polybromierte Diphenylether (PBDE) und Decabromdiphenylethan (DBDPE)	129
12.6	Detailergebnisse – Zinnorganische Verbindungen (OZV)	131
12.7	Detailergebnisse – 4-Nonylphenol und seine Ethoxylate (4-NP, NP1EO, NP2EO)	133
12.8	Detailergebnisse – Bisphenol A (BPA)	135
12.9	Detailergebnisse – Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	136
12.10	Detailergebnisse – Phthalate	141
12.11	Detailergebnisse – Weitere Industriechemikalien	142
12.12	Detailergebnisse – Mikroplastik	145
12.13	Zusammenschau der Klärschlammkomposte	147
12.14	Chemische Analytik – Details	148
12.14.1	Angewendete Analysemethoden	148
12.14.2	Methodenbedingter Einfluss auf Analyseergebnisse	152
12.15	Detaillierte Beschreibung der Zusammensetzung der zwei Klärschlammkomposte und der Bodenprobenahmeflächen in Niederösterreich	153
12.15.1	NÖ-03 Deutsch Haslau.....	153
12.15.2	NÖ-04 Taxen.....	156

1 EINLEITUNG

Der Einsatz von Klärschlamm bzw. Klärschlammkompost, um den Bodennährstoffgehalt zu erhalten, stellt eine Alternative zu chemischen Düngemitteln, speziell zu Phosphordüngern, dar. Phosphor ist als essenzielles Element die Grundlage für jegliches Pflanzenwachstum und muss dem landwirtschaftlich genutzten Boden ständig zugeführt werden. Neben Nährstoffen kommen allerdings auch Schadstoffe im Klärschlamm vor.

Klärschlammkompostierung

Klärschlammkompost entsteht bei der Kompostierung von organischen Bioabfällen gemeinsam mit Klärschlamm.

Europaweit wird Kompost in einer Menge von 17,3 Mio. Tonnen erzeugt (ohne genaue Jahresangabe), wovon ca. 800.000 Tonnen Klärschlammkompost darstellen (WOOD, 2019). In Österreich fielen 2018 ca. 237.000 Tonnen Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen an, wovon der Großteil (53 %) thermisch behandelt wurde. Rund 20 % dieses Klärschlamm wurden direkt auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht und ca. 27 % einer sonstigen Behandlung (z. B. Kompostierung, mechanisch-biologische Behandlung, Vererdung) zugeführt (BMK, 2020b).

Ziele der Europäischen Union

Das Recycling von Materialien, das konform mit den „Circular Economy Principles“ geht, wird sowohl im Europäischen „Green Deal“ als auch im Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft (Circular Economy Action Plan) als Priorität hervorgehoben. In der „EU Soil Strategy for 2030“ vom 17.11.2021 kündigt die Europäische Kommission mehrere Maßnahmen zur Schließung des Nährstoff- und Kohlenstoffkreislaufes an. Eine dieser Maßnahmen ist die „Integrated Nutrient Management Action“, die auf das sicherere Einbringen von Nährstoffen in den Boden abzielt. Die Transformation der Industrie und aller beteiligten Wertschöpfungsketten ist unter anderem notwendig, um die Abhängigkeit von Rohstoffen aus Zulieferländern zu verringern. Eine weitere Priorität der Europäischen Kommission ist der EU-Aktionsplan zur Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden (Zero Pollution Action Plan). Daher ist es ebenso wichtig, dass das Aufbringen von Klärschlamm als Dünger zu keiner Belastung von Böden, Luft und Wasser führt.

Beispiel Bundesrepublik Deutschland

In der Bundesrepublik Deutschland trat am 03.10.2017 die Novelle der Klärschlammverordnung als „Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung“ in Kraft. Im Wesentlichen sieht die Novelle die Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm bzw. Klärschlammverbrennungsrückständen vor. Dies soll für Kläranlagen mit einer Größe von >100.000 Einwohner:innen (EW) ab 2029 und für Anlagen >50.000 EW ab 2032 gelten. Klärschlamm aus kleineren Kläranlagen (≤50.000 EW) dürfen unbefristet auch künftig auf den Boden aufgebracht werden (UBA, 2018b).

Situation in Österreich

Neben dem Verbrennen von Klärschlamm, dem derzeit hauptsächlich angewendeten Entsorgungsweg in Österreich, stehen auch Möglichkeiten der Wiedernutzung zur Verfügung. Dazu zählt auch die Klärschlammkompostierung. Diese ist auf europäischer Ebene durch die EU-Klärschlammrichtlinie (Richtlinie

86/278/EWG) geregelt, die schon seit Jahren einem Evaluierungsprozess unterzogen wird. In Österreich regeln die Bundesländer die Nutzung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen in ihren Bodenschutzgesetzen sowie in Klärschlamm- und Kompostverordnungen. Der Umgang mit Klärschlamm ist länderspezifisch unterschiedlich und reicht von Aufbringungsverboten von unbehandeltem Klärschlamm (Wien, Tirol, Salzburg) bis hin zur Nutzung nach diversen Eignungsüberprüfungen. In Vorarlberg ist die Verwendung von Klärschlamm soweit eingeschränkt, dass nur kompostierter Klärschlamm als Qualitätsklärschlammkompost unter Einhaltung der vorgegebenen Grenzwerte in der Landwirtschaft verwendet werden darf (Vorarlberger Gesetz zum Schutz der Bodenqualität, LGBl. Nr. 26/2018).

Schadstoffe und Schadstoffgruppen

Klärschlamm enthält neben Nährstoffen auch zahlreiche Schadstoffe. Das Wissen um das Vorhandensein und die schädigenden Wirkungen dieser Schadstoffe hat sich in den letzten 20 Jahren enorm weiterentwickelt. Im Jahr 2001 lauteten die Empfehlungen des Joint Research Centers an die Europäische Kommission noch, dass organische Schadstoffe im Klärschlamm keine gesundheitlichen Probleme für den Menschen erwarten lassen, wenn der Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht wird. Im Vergleich dazu wäre die Belastung mit Schwermetallen viel wichtiger in Bezug auf die menschliche Gesundheit (EC, 2001). Im Jahr 2012 geht aus der Empfehlung des Joint Research Centers an die Europäische Kommission hervor, dass trotz der großen Vielfalt organischer Schadstoffe keine Evidenz für eine Regulation besteht – mit Ausnahme der per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) (EC, 2012). Durch zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen wurde mittlerweile belegt, dass eine Reihe organischer Schadstoffe (wie z. B. polychlorierte Biphenyle, bromierte Flammschutzmittel (Fijalkowski et al., 2017), Bisphenol A und Triclosan (Abril et al., 2018)) im Klärschlamm sehr wohl Gefahren bergen. Derzeit läuft ein Konsultationsverfahren der Europäischen Kommission, da die vor 30 Jahren angenommene Richtlinie den aktuellen Bedürfnissen und Erwartungen nicht mehr gerecht wird. Das gilt unter anderem in Bezug auf die ordnungsgemäße Regelung von in Schlamm enthaltenen Schadstoffen. Die betreffende EU-Richtlinie soll sicherstellen, dass die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft der Umwelt, den Tieren und dem Menschen nicht schadet (EC, 2020).

endokrine Disruptoren

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht die Frage, welche Konzentrationen von ausgewählten organischen Schadstoffen im Klärschlammkompost und nach der Aufbringung im Boden zu finden sind. Dafür wurden hormonell schädigende Substanzen (Endokrine Disruptoren) in Kompost- und Bodenproben analysiert. Die „Endocrine Society“ hat einen Review über mögliche Auswirkungen von endokrinen Substanzen (hormonell schädigenden Substanzen) zusammengestellt und dabei folgende Wirkungen aufgezählt, die mit starken Evidenzen belegt sind: (a) Fettleibigkeit und Diabetes, (b) negative Auswirkungen auf die Fortpflanzung, (c) hormonsensitiver Krebs bei Frauen, (d) Funktionsstörung von Prostata und (e) Schilddrüse sowie schädigende Wirkung auf die (f) Nervenentwicklung und das nervenendokrine System (Gore et al., 2015). Die dabei am häufigsten genannten organischen Schadstoffe sind Chlorotriazin-Herbizide, Bisphenole, Organochlor-Pestizide (DDT), nicht-steroidale synthetische Östrogene, synthetische Derivate von 17-beta-Estradiol, polychlorierte Biphenyle

(PCB), Phthalate (Weichmacher), Perfluoroktansäure (PFOA), Tetrachlor-Dibenzo-*p*-dioxin (TCDD) sowie das Dicarboximid-Fungizid Vinclozolin (Gore et al., 2015). In der Europäischen Union wird seit über 20 Jahren auf die Gefahren von endokrin schädigenden Substanzen aufmerksam gemacht. Sie sind in der Mitteilung der EU-Kommission „Für einen umfassenden Rahmen der EU für endokrine Disruptoren“ festgehalten (EC, 2018). Darin stellt die Kommission ihren strategischen Ansatz für den künftigen Umgang mit endokrinen Disruptoren vor, wobei im Wesentlichen auf weitere Forschung (z. B. Cocktail-Effekte), wirksame Regulierung endokriner Disruptoren und den Ausbau der internationalen Zusammenarbeit auf diesem Gebiet hingewiesen wird.

Ziel der Studie Die Studie bietet einen Einblick in die Belastung von Klärschlammkomposten aus unterschiedlichen Anlagen und Einzugsgebieten mit unterschiedlichen Schadstoffgruppen und in die Auswirkungen der Aufbringung von Klärschlammkompost auf Böden.

Folgende organische Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen wurden in den Klärschlammkompost- bzw. Bodenproben analysiert:

- Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)
- Polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane (PCDD/F)
- Polychlorierte Biphenyle (PCB, dl-PCB)
- Hexachlorbenzol (HCB)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE), Decabromdiphenylethan (DBDPE) und Decloran
- zinnorganische Verbindungen (OZV)
- Nonylphenol und seine Ethoxylate (4-NP, NP1EO, NP2EO)
- Bisphenol A (BPA)
- Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- Phthalate
- weitere Industriechemikalien
- Mikroplastik
- andere (z. B. Arzneimittel), Nachweis mittels Non-Target-Analytik

2 KOMMUNALER KLÄRSCHLAMM UND KLÄRSCHLAMMKOMPOST IN ÖSTERREICH

Klärschlammaufkommen in Österreich

In Österreich fallen in kommunalen Kläranlagen jährlich rund 235.000 Tonnen Trockenmasse (TM)-Klärschlamm an (Mittel 2015–2019). Seit 2019 sind bereits rund 96 % der Haushalte an kommunale Kläranlagen angeschlossen. Ein vollständiger Anschluss ist aufgrund des Siedlungscharakters Österreichs (zahlreiche Streusiedlungen) jedoch auch in Zukunft nicht realistisch. In diesen Gebieten erfolgt die Abwasserentsorgung über Senkgruben bzw. über Hauskläranlagen. Ein Anstieg ist jedoch durch die prognostizierte Bevölkerungszunahme zu erwarten. Nach der Bevölkerungsprognose der Statistik Austria wird die Bevölkerung von 2018 bis 2050 um ca. 8,6 % ansteigen (STATISTIK AUSTRIA, 2020). Bei der Prognose des Aufkommens an Klärschlamm ist zu berücksichtigen, dass im Jahr 2018 rund 56 % der behandelten Abwasserfracht den Einwohner:innen und 46 % industriell-gewerblichen Einleitern zuzurechnen ist (BMNT, 2018a).

Durch die prognostizierte Bevölkerungszunahme sowie ein weiteres Wirtschaftswachstum wird sich die anfallende Klärschlammmenge bis 2050 erhöhen. Der Anstieg wird jedoch durch die Inbetriebnahme der Faulung des Nassschlammes auf der Kläranlage in Wien im Jahr 2020 deutlich gedämpft. Durch diese Umstellung ist von einer Abnahme der TM-Schlammmenge in Wien um ca. 40 % auszugehen. Dies ergäbe eine zukünftige Klärschlammmenge von ca. 258.000 Tonnen im Jahr 2050 (eigene Berechnung).

Verwertung bzw. Entsorgung von Klärschlamm

Die Verwertung bzw. Entsorgung von Klärschlamm erfolgt üblicherweise über die Pfade „Deponie“, „Verbrennung“, „Landwirtschaft“, „sonstige Verwertung bzw. Behandlung“ und „Übergabe an Entsorger“ (letztere Pfade werden zumeist gemeinsam dargestellt, z. B. in (BMNT, 2018a)) oder in den Statusberichten der Abfallwirtschaft). Die in Tabelle 1 berichteten Mengen beruhen auf Auskünften der Bundesländer und werden jährlich aktualisiert.

Die Deponierung von unbehandeltem Klärschlamm ist durch die Deponieverordnung in Österreich seit 2004 bzw. 2009 (Auslaufen von Ausnahmeregelungen) nicht mehr zulässig, da die Ablagerung von Abfällen mit hohem organischen Anteil ohne Vorbehandlung verboten wurde. Allfällige Meldungen auf Deponien nach 2009 können darauf beruhen, dass Klärschlamm, der in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBAs) mitbehandelt wurde, abgelagert wurde.

Die landwirtschaftliche Verwertung von unbehandeltem Klärschlamm ist in Wien, Tirol und Salzburg verboten. Österreichweit gesehen wurden in den letzten Jahren ca. 20 % des anfallenden kommunalen Klärschlammes landwirtschaftlich verwertet.

In den letzten Jahren wurden etwa 54 % des Klärschlammes verbrannt.

„Sonstige Verwertung bzw. Behandlung“ beinhaltet Klärschlamm-mengen, die wie folgt verwertet oder behandelt werden: Landschaftsbau, Kompostierung,

Vererdung, Rekultivierung sowie mechanisch/biologische Behandlung. Eine genaue Zuordnung von Mengen zu diesen Bereichen ist in der publizierten Literatur nicht zu finden (BMK, 2021); (BMK, 2020a); (BMK, 2019); (BMNT, 2018b); (BMLFUW, 2017a).

Die letzte Kategorie umfasst die „Übergabe an Entsorger“. Diese Kategorie beinhaltet Klärschlammengen, die an einen befugten Entsorger abgegeben wurden. Hier ist jedoch unklar, welchen Behandlungs- oder Verwertungsschritten der übernommene Klärschlamm anschließend zugeführt wird.

Die Mengenangaben zwischen den beiden letztgenannten Entsorgungspfaden schwanken zwischen den Jahren relativ stark, wobei sie in Summe jedoch weitgehend stabil sind (ca. 26 % der anfallenden Klärschlammmenge).

Tabelle 1: Anfall an kommunalem Klärschlamm und Entsorgungspfade [Quellen: (BMLFUW, 2017a), (BMNT, 2018b), (BMK, 2019), (BMK, 2020a), (BMK, 2021)].

Jahr	Klärschlamm-anfall	Deponie	Verbrennung	Landwirtschaft	Sonstige Behandlung	Übergabe an Entsorger
t TM/a						
2015	234.880	2.522	123.784	46.861	15.203	51.371
2016	237.982	63	127.276	48.314	48.999	14.373
2017	236.180	15	131.331	47.549	45.009	13.750
2018	234.481	262	126.193	48.170	48.075	14.396
2019	233.561	393	107.186	49.700	50.687	27.063

Abkürzungen: a: Jahr; t: Tonnen, TM: Trockenmasse.

Werden Komposte gemäß der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001 i.d.g.F.) erzeugt, so sind sie nicht mehr weiter im Abfallregime („Abfallende“). Dies hat zur Folge, dass der weitere Einsatzort der Komposte keiner weiteren Meldepflicht unterliegt und damit nicht bekannt ist. Nach der Kompostverordnung sind folgende Anwendungsbereiche für Komposte (mit unterschiedlichen Einschränkungen etwa in Hinblick auf Ausgangsmaterialien und Schadstoffkonzentrationen im erzeugten Produkt) zulässig: Landwirtschaft, Landschaftsbau und Landschaftspflege, Rekultivierungsschicht auf Deponien, Hobbygartenbau sowie Biofilterbau. Diese Anwendungsbereiche sind jedoch durch verschiedene rechtliche Vorgaben (EU-Bioverordnung (EU 2018/848), Bodenschutzgesetze der Länder, Wasserrechtsgesetz – WRG 1959 i.d.g.F. (BGBl. Nr. 215/1959), ÖPUL-Förderprogramm etc.) oder privatwirtschaftliche Vereinbarungen teilweise eingeschränkt oder untersagt.

Klärschlammkompost

In Kompostanlagen wurden im Durchschnitt der Jahre 2017 bis 2019 ca. 239.000 Tonnen Klärschlamm-Frischmasse (FM)/Jahr behandelt. Dies entspricht bei etwa 30 % TM-Gehalt einer Menge von ca. 72.000 Tonnen TM/Jahr.

In den Anlagen, die Klärschlamm zur Kompostierung übernehmen, wurden 2019 weitere ca. 287.000 Tonnen Frischmasse (FM)-Abfälle kompostiert.

Dabei gibt es jedoch auch Anlagen, die Chargen sowohl mit als auch ohne Klärschlamm produzieren. Eine Aussage darüber zu treffen, wieviel Kompost erzeugt wurde, der Klärschlamm als ein Ausgangsmaterial enthielt, ist somit nicht möglich. Unter der Annahme eines Masseverlustes von 60 % (Wasserverlust und Abbau organischer Substanz) und dass keine „klärschlammfreien“ Chargen produziert wurden, würde sich eine Obergrenze von rund 210.000 Tonnen FM-Kompost ergeben.

Über den Verbleib von Komposten (mit oder ohne Klärschlamm) gibt es keine repräsentativen Daten. In einer Studie des Umweltbundesamts (2014) wurden acht Kompostanlagen untersucht, vier verwendeten auch Klärschlamm als Ausgangsmaterial. Bei den „klärschlammlosen“ Komposten erreichten 84 % die Kompostklasse A+ (siehe Kompostverordnung, Anlage 2, Teil 3). Diese Komposte wurden zu 47 % landwirtschaftlich verwertet, 45 % wurden einer sonstigen Verwertung, überwiegend einer Vererdung, z. T. auch der Rekultivierung von Deponien und dem Gartenbereich, zugeführt und knapp 7 % gelangten in den Landschaftsbau. 16 % des „klärschlammlosen“ Kompostes erreichten Qualitätsklasse A. Von diesem Kompost wurden 50 % im Landschaftsbau eingesetzt und 50 % einer sonstigen Verwertung zugeführt. Bei den Komposten mit Klärschlamm erreichten 3 % die Klasse A+, die landwirtschaftlich verwertet wurden. 97 % erreichten Klasse A. Davon wurden rund 90 % in den Landschaftsbau und 10 % in die Landwirtschaft verbracht. Diese nicht repräsentativen Auswertungen zeigen jedenfalls, dass davon auszugehen ist, dass größere Mengen an Kompost, egal ob mit oder ohne Klärschlamm hergestellt, nicht landwirtschaftlich verwertet werden. Bei Kompost mit Klärschlamm scheint der allergrößte Teil nicht landwirtschaftlich verwertet zu werden (Tabelle 2).

Tabelle 2:
Ergebnisse Klärschlammkompostverwendung
(UMWELTBUNDESAMT,
2014).

Behandlungswege	Produktion (in t FM)	Verwertung (in t FM)		
		Landwirtschaft	Landschaftsbau	Sonstige Verwertung
Kompostmenge ohne Klärschlamm	71.185	28.153	9.765	32.721
- davon Q A+	59.800	28.153	4.065	27.036
- davon Q A	11.385	0	5.700	5.685
Kompostmenge mit Klärschlamm	23.707	2.450	20.500	757
- davon Q A+	757	0	0	757
- davon Q A	22.950	2.450	20.500	0

Q A+ ... Qualitätsklasse A+, Q A ... Qualitätsklasse A; FM ... Frischmasse

**EU-weit ca.
800.000 Tonnen
Klärschlammkompost**

In der EU werden nach (WOOD, 2019) 17,3 Mio. Tonnen Kompost erzeugt (ohne genaue Jahresangabe), wovon nur rund 0,8 Mio. Tonnen Klärschlammkompost sind. In einigen europäischen Ländern wird zur Erzeugung von Klärschlammkompost Klärschlamm verwendet, manchmal vermischt mit Grünabfall. Diese

Verfahren weichen stark von jenem in Österreich ab, bei dem immer aufgrund des Wassergehalts Anteile an Strukturmaterial zugegeben werden (als Mindeststandards einer ordnungsgemäßen Kompostierung gelten in Österreich (nach (ARGE KOMPOST & BIOGAS, 2012) eine Zugabe von mindestens 20 Masseprozent Stroh oder 30 Masseprozent Strauchschnitt).

3 METHODISCHES VORGEHEN

Der Schwerpunkt des vorliegenden Projekts lag auf der Untersuchung unterschiedlicher organischer Schadstoffe in Klärschlammkomposten (KSK) sowie von Böden, auf welche Klärschlammkomposte aufgetragen wurden. Die Auswahl der zu untersuchenden Komposte wurde in Zusammenarbeit mit dem Technischen Büro für Landwirtschaft sowie dem Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) getroffen. Die chemische Analyse der Kompost- und Bodenproben erfolgte durch das Umweltbundesamt. Grundcharakterisierungen der Bodenproben wurden von der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) im Auftrag durchgeführt.

Ergebnisse wurden mit Literaturdaten, die in den letzten zehn Jahren veröffentlicht wurden, verglichen, wobei für die Recherche die Begriffe „Klärschlammkompost“ und „sewage sludge compost“ eingesetzt wurden.

3.1 Probenahmestellen und Probenahme

Entsprechend dem Projektkonzept wurden nach eingehender Recherche 14 Klärschlammkompostierungsanlagen in den Bundesländern Niederösterreich, Steiermark, Kärnten, Vorarlberg und Tirol ausgewählt (Tabelle 3). Bei maximal drei Herstellern sollte die Möglichkeit sondiert werden, landwirtschaftliche Standortpaare jeweils mit langjähriger und ohne langjährige Klärschlammkompost-Düngung für die Untersuchung der Böden zur Verfügung zu haben. Wesentliche Kriterien dabei waren:

- räumliche Nähe
- Ähnlichkeit der Bodeneigenschaften
- Ackerland (kein Dauergrünland)
- Verfügbarkeit der wesentlichen Bewirtschaftungsdaten
- Einverständnis der Bewirtschafter:innen
- mehrjährige Düngung mit KS-Kompost aus einer Kompostanlage
- garantiert keine KS oder KS-Kompostaufbringung in der Vergangenheit auf der Vergleichsfläche (Referenzboden)

Diese Bedingungen und die geringe Anzahl (3) der möglichen Standortvergleiche schränkten die Auswahlmöglichkeit nach weiteren fachlichen Kriterien (z. B. Entstehungsprozess und Art des Klärschlammes, Einzugsgebiet der Kläranlage, Kompostierungsverfahren) ein.

Sämtliche Betreiber der KS-Kompostierungsanlagen wurden anhand der oben beschriebenen Kriterien befragt, ob entsprechende Flächen bereitstehen würden. Letztendlich kristallisierten sich die Betriebe 03, 04 und 12, alle in NÖ, als sinnvolle Optionen heraus (Tabelle 4).

Spezielle bodenkundliche Kriterien konnten a priori nicht berücksichtigt werden, was im Rahmen der Fragestellung einer ersten statistisch nicht auswertbaren Pilotstudie auch von untergeordneter Bedeutung scheint.

3.1.1 Klärschlammkompost

Die ausgewählten 14 Klärschlammkompostieranlagen sind in der Tabelle 3 dargestellt. Der Einzugsbereich dieser Anlagen gibt einen stichprobenartigen Einblick in das Klärschlammkompostaufkommen Österreichs.

**Probenahme
Klärschlammkompost**

Die Probenahme erfolgte durch das Technische Büro für Landwirtschaft entsprechend der Anlage 3 der Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001) und wurde im Zeitraum April bis Mai 2020 durchgeführt. Die entnommenen Mischproben wurden in Kunststoffkübeln gesammelt und bis zur Analyse gekühlt aufbewahrt. Eine Teilprobe wurde als Rückstellprobe tiefgefroren.

*Tabelle 3:
Klärschlammkompostieranlagen, Bundesland und Klärschlammkompostklasse.*

Probenbezeichnung im Prüfbericht (PB2102_0073)	Labor-Nummer	Kompost-klasse	Auf Boden aufgebracht
KSK-01-NÖ-3470	2004 01262	A	
KSK-02-NÖ-3454	2004 01263	A	
KSK-03-NÖ-2473	2004 01264	A	X
KSK-04-NÖ-3851	2004 01288	A	X
KSK-05-NÖ-3500	2004 01289	A	
KSK-06-NÖ-2282	2004 01494	A	
KSK-07-B-7422	2004 01526	A	
KSK-08-S-5113	2005 01673	B	
KSK-09-T-6322	2005 01674	A	
KSK-10-V-6830	2005 01675	B	
KSK-11-NÖ-2630	2005 01950	A	
KSK-12-NÖ-3441	2005 01960	A	
KSK-13-K-9131	2006 02247	A	
KSK-14-St-8720	2006 02248	A	

3.1.2 Ausgewählte Bodenstandorte

Es wurden zwei Standorte ausgewählt, die mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurden. Zum Vergleich mit nicht beaufschlagtem Boden wurde jeweils ein Referenzstandort festgelegt, der sich in unmittelbarer Nähe des beaufschlagten Standortes befand, sowie zwei weitere Referenzstandorte. Die Standorte der Bodenuntersuchungen werden in Tabelle 4 dargestellt.

**Probenahme
Bodenproben**

Die Boden-Probenahme erfolgte durch das Technische Büro für Landwirtschaft entsprechend der Probenahme-Norm für Ackerland (ON L 1055:2004) und

wurde im Zeitraum April bis Mai 2020 durchgeführt. Die Probenahme für die Analyse von Mikroplastik wurde entsprechend der Vorarlberger Studie „Kunststoffe im Boden“ (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2019b) durchgeführt und in 5 L-Glasbehältern gesammelt und aufbewahrt.

Tabelle 4:
Standorte der
Bodenuntersuchungen.

Probenbezeichnung im Prüfbericht (PB2102_0073)	Labornummer	LabNr. für Mikroplastik-Analyse	Nutzung	Beaufschlagter KSK der Klasse
KSK-B-NÖ-2473 (NÖ-03)	2004 01258	2004 01260	Acker	A
KSK-BR-NÖ-2473 (NÖ-03)	2004 01259	2004 01261	Acker	
KSK-B-NÖ-3851 (NÖ-04)	2004 01284	2004 01286	Acker	A
KSK-BR-NÖ-3851 (NÖ-04)	2004 01285	2004 01287	Acker	
KSK-B-NÖ-3441 (NÖ-12)*	2006 02245	2006 02246	Acker	
KSK-BR-NÖ-3441 (NÖ-12)	2005 01958	2005 01959	Acker	

* Dieser Standort war als beaufschlagter Standort geplant, beprobt wurde jedoch aufgrund einer Fehlinformation des Grundeigentümers ein nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagter Standort.

Abk.: KSK ... Klärschlammkompost; B ... beaufschlagter Boden, BR ... Referenzboden ohne Klärschlammkompost.

3.2 Chemische Analytik

3.2.1 Angewendete Analysemethoden

Die entnommenen und gekühlt gelagerten Klärschlammkompost- und Bodenproben wurden im Labor vor der Analyse gefriergetrocknet. Die Bodenproben wurden auf 2 mm gesiebt. Die Klärschlammkompostproben wurden in einer Schneidemühle mit einer 2 mm Siebplatte gemahlen. Für die Analytik der jeweiligen Schadstoffgruppen in den Klärschlammkompost- sowie Bodenproben wurden Analysemethoden aus nachfolgenden Bereichen eingesetzt: Target-Analytik (TA), Multikomponenten-Analytik (MKA), und Non-Target-Analytik (NTA). Detailliertere Erläuterungen dieser Methoden werden im Anhang in Kap. 12.14.1 zusammengefasst.

Die jeweils eingesetzte Analysemethoden wird in den einzelnen Schadstoff-Kapiteln beschrieben. Tabelle 57 im Anhang fasst die angewendeten analytischen Methoden und Normen dieses Projektes zusammen.

Die Grundcharakterisierung der Bodenproben wurde von der Österreichischen Agentur für Ernährungssicherheit (AGES) im Auftrag durchgeführt.

4 ERGEBNISSE

4.1 Beschreibung der Klärschlammkomposte (KSK-03-NÖ-2473 und KSK-04-NÖ-3851) und der mit KSK beaufschlagten Standorte

Hier folgt eine kurze Beschreibung über die Klärschlammkompostzusammensetzung und Herkunft der Klärschlämme. Detailliertere Informationen werden im Anhang dargestellt.

**Klärschlammkompost
KSK-03-NÖ-2473
(NÖ-03)**

Der **Klärschlammkompost KSK-03-NÖ-2473** (NÖ-03) wurde aus Klärschlämmen unterschiedlicher Herkunft zusammengemischt und zwar aus Wiener Neustadt, Deutsch Haslau, Bad Vöslau, Baden und Groß-Enzersdorf. Der Anteil der Klärschlämme am Kompostgemisch betrug ca. 34 % und war bei der Probenahme etwa 30 Wochen alt. Auffälligkeiten bei der Probenahme waren z. B., dass sehr trockene Verhältnisse sowie Verpilzungen vorlagen.

Bei dem mit KSK-03-NÖ-2473 **beauftragten Bodenstandort** (KSK-B-NÖ-2473) lag ein Tschernosem vor, mit der Bodenart Lehm mit ca. 2,5 % Humus (mittelhumos) und bei diesem Standort wurden seit 2010 acht Tonnen (TM) Klärschlammkompost pro Hektar und Jahr beaufschlagt.

**Klärschlammkompost
KSK-04-NÖ-3851
(NÖ-04)**

Der **Klärschlammkompost KSK-04-NÖ-3851** (NÖ-04) wurde aus Klärschlämmen unterschiedlicher Herkunft zusammengemischt und zwar aus Wieselburg, Strass im Zillertal, Schwaz, Innsbruck, Hoheneich, Kautzen und Litschau. Der Anteil der Klärschlämme am Kompostgemisch betrug ca. 25 % und war bei der Probenahme 8 bis 32 Wochen alt. Auffälligkeiten bei der Probenahme waren z. B., dass sehr trockene Verhältnisse sowie Verpilzungen vorgeherrscht haben.

Bei dem mit KSK-04-NÖ-3851 **beauftragten Bodenstandort** (KSK-B-NÖ-3851) lag ein Reliktpseudogley vor, mit der Bodenart sandiger Schluff und mit ca. 1,5 bis 4,0 % Humus (mittelhumos). Bei diesem Standort wurden seit 2014 jeweils 25 bis 30 m³ Klärschlammkompost pro Hektar und Jahr beaufschlagt (entspricht ca. 11–14 Tonnen (TM) Klärschlammkompost pro Hektar und Jahr).

4.2 Grundcharakterisierung der Bodenproben

Die Grundcharakterisierung und der Nährstoffgehalt der sechs Bodenproben werden in Tabelle 5 und Tabelle 6 dargestellt und entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2017b) in Tabelle 7 eingestuft. Die meisten Böden wiesen einen neutralen pH-Wert auf, lediglich der Referenzboden KSK-BR-NÖ-3851 kam dem leicht sauren Bereich ($\leq 6,5$) nahe, die Böden KSK-B-NÖ-3441 und KSK-BR-NÖ-3441 lagen im alkalischen Bereich ($\geq 7,2$).

Der Humusgehalt kann in allen Böden als „humos“ eingestuft werden. Die Bodenarten können für B-03 und BR-03 als sandiger Lehm (sL), für B-04 als sandiger Schluff (sU), für BR-04 als sL sowie für B-12 und BR-12 als lehmiger Sand (IS) klassifiziert werden (Blum, Spiegel und Wenzel, 1996). Die Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) kann für alle als „mittel“ eingestuft werden, KSK-BR-NÖ-3851 weist den niedrigsten Wert auf und kann als der Boden mit der geringsten Sorptionskraft beschrieben werden. Der Carbonatgehalt kann als „kalkfrei“ bzw. „kalkarm“ ($>0,5$) beurteilt werden (Tabelle 6).

Tabelle 5:
Grundcharakterisierung
der sechs Bodenproben
[(Quelle: (AGES, 2020a);
(AGES, 2020b); (AGES,
2020c); (AGES, 2020d);
(AGES, 2020e); (AGES,
2020f)].

Standort	pH-Wert	TOC	Humus	Sand	Schluff	Ton	LF	KAK_{eff}
	CaCl ₂							
KSK-B-NÖ-2473	7,18	1,65	2,8	47,2	37,2	15,5	117	17,21
KSK-BR-NÖ-2473	7,09	1,32	2,3	50,3	33,5	16,2	122	15,91
KSK-B-NÖ-3851	7,04	1,76	3	25,7	60,3	14	115	18,62
KSK-BR-NÖ-3851	6,55	1,5	2,6	34,8	54,9	10,3	55	11,69
KSK-B-NÖ-3441	7,33	1,24	2,1	58,4	29,4	12,2	116	15,75
KSK-BR-NÖ-3441	7,24	1,28	2,2	50,6	35,6	13,8	166	15,14

TOC: Total organic carbon (organischer Kohlenstoff), LF: Leitfähigkeit;
 KAK_{eff} : effektive Kationenaustauschkapazität

Tabelle 6: Nährstoffgehalte der sechs Bodenproben [(Quelle: (AGES, 2020a); (AGES, 2020b); (AGES, 2020c); (AGES, 2020d); (AGES, 2020e); (AGES, 2020f)].

Standort	Stickstoff	Phosphor	Kalium	Calcium	Magnesium	Phosphor	Kalium	Carbonat
	%	mg/kg	gesamt g/kg	g/kg	g/kg	CAL mg/kg	mg/kg	%
KSK-B-NÖ-2473	0,162	844	2,79	8,68	4,58	130	145	0,2
KSK-BR-NÖ-2473	0,136	706	2,36	7,67	4,63	53	107	0,6
KSK-B-NÖ-3851	0,183	1303	2,64	5,27	3,33	281	216	0
KSK-BR-NÖ-3851	0,154	775	2,35	2,60	3,20	73	186	0
KSK-B-NÖ-3441	0,132	588	2,60	8,96	4,37	77	166	0,6
KSK-BR-NÖ-3441	0,133	834	2,86	9,66	4,03	213	428	0,7

CAL: Calcium-Acetat-Lactat-Extraktion (pflanzenverfügbare Anteil)

Tabelle 7:
Einstufung entsprechend
den Richtlinien für die
sachgerechte Düngung
[(Quelle: (AGES, 2020a);
(AGES, 2020b); (AGES,
2020c); (AGES, 2020d);
(AGES, 2020e); (AGES,
2020f)].

Bewertung AGES	pH-Wert	CaCO ₃	P (CAL)	K (CAL)	Humus	Ton	KAK _{eff}
KSK-B-NÖ-2473	neutral	gering	D	C	humos – C	mittel	mittel
KSK-BR-NÖ-2473	neutral	gering	C	B	humos – C	mittel	mittel
KSK-B-NÖ-3851	neutral	gering	E	D	humos – C	leicht	mittel
KSK-BR-NÖ-3851	neutral	gering	C	D	humos – C	leicht	mittel
KSK-B-NÖ-3441	alkalisch	gering	C	C	humos – C	leicht	mittel
KSK-BR-NÖ-3441	alkalisch	gering	E	E	humos – C	leicht	mittel

Die Einstufungen der Nährstoffversorgung entsprechend den Richtlinien für sachgerechte Düngung lauten: A: sehr niedrig, B: niedrig, C: ausreichend, D: hoch, E: sehr hoch. Diese Einstufung bietet die Grundlage für die Berechnung der erforderlichen Düngemengen für den entsprechenden Nährstoff (BMLFUW, 2017b).

Bei den Standorten NÖ-2473 und auf NÖ-3851 zeigt sich, dass auf den Referenzflächen (BR) jeweils geringere Nährstoffkonzentrationen vorliegen als auf den mit Klärschlammkompost beaufschlagten Flächen (B). Auf den beiden Referenzflächen des Standorts NÖ-3441 ist der Standort BR mit den Nährstoffen Phosphor (P) und Kalium (K) sehr gut versorgt. Dies lässt darauf schließen, dass eine andere Düngerquelle dafür verantwortlich ist. Aufgrund der sehr hohen Gehalte an P (CAL) und K (CAL) ist möglicherweise der Einfluss durch eine verabreichte Rindergülle ersichtlich. Dies deckt sich auch mit Erhebungen im Zuge der Probenahme.

4.3 Schadstoffe und Schadstoffgruppen

4.3.1 Allgemeines zur Schadstoffbeschreibung

Jedes Kapitel der jeweiligen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen wird durch eine Beschreibung eingeleitet. Anschließend wird dargestellt, ob die besprochenen Schadstoffe in der Kandidatenliste der besonders besorgniserregenden Substanzen (substances of very high concern, SVHC) gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung (ECHA, 2021b) aufscheinen und/oder in der Stockholm-Konvention (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a) über persistente organische Schadstoffe (Persistent Organic Pollutants, POPs) gelistet sind. Weiters wird die chemische Analyse beschrieben sowie die Analysenergebnisse dargestellt. Hierzu werden die Ergebnisse der Klärschlammkomposte und jener der Böden getrennt beschrieben. Bei den zwei Standorten NÖ-03 und NÖ-04 (siehe Kap. 3.1.2) wird ein Vergleich der Schadstoffgehalte in den Klärschlammkomposten mit den damit beaufschlagten Böden sowie mit nicht beaufschlagten Referenzböden

durchgeführt, wobei der mögliche Einfluss der Klärschlammkompostnutzung auf diese Böden aufscheint. Sodann werden ausgewählte Literaturdaten zum Vergleich herangezogen und abschließend wird eine Beurteilung der Ergebnisse durchgeführt. Im Anhang werden die jeweiligen Ergebnisse der Analysen in Tabellenform inklusive Nachweis- und Bestimmungsgrenzen dargestellt.

Die Nachweisgrenze (NG) ist jene statistisch berechnete Konzentration, bei der mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (meist 95 %) ein Signal vom Untergrundrauschen unterschieden werden kann. Ab der Bestimmungsgrenze (BG) ist eine Quantifizierung mit ausreichender statistischer Sicherheit möglich. Zwischen Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze ist per Definition ein Signal eindeutig erkennbar, aber nicht quantifizierbar. Daher wird in diesem Fall <BG angegeben.

Bei der Berechnung von Mittelwerten wurden die Ergebnisse unter der Nachweisgrenze gleich „null“ und jene unter der Bestimmungsgrenze gleich der halben Bestimmungsgrenze gesetzt. Ausnahmen stellen die Berechnungen bei den polychlorierten Dibenzo-*p*-Dioxinen und Dibenzo-Furanen (PCDD/F) und polychlorierten Biphenylen (PCB) dar, wobei die Methode der „upper bound“-Berechnung angewendet wurde. Hierbei wurden die Gehalte unter der BG gleich der BG gesetzt.

4.3.2 Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

Beschreibung Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind Industriechemikalien bzw. Kohlenwasserstoffe, in deren chemischer Struktur die Wasserstoffatome gänzlich oder teilweise durch Fluoratome ersetzt sind. Sie umfassen mehrere tausend derzeit bekannte Verbindungen. PFAS besitzen eine hohe thermische und chemische Stabilität und sind sowohl fett- als auch wasser- und schmutzabweisend. Aufgrund dieser Eigenschaften werden bzw. wurden sie seit den 1950er-Jahren in unterschiedlichen Industriebereichen (z. B. der Galvanik, der Foto- und der Halbleiterindustrie), in Konsumprodukten (z. B. in Imprägniermitteln, Lebensmittelverpackungen, Funktionsbekleidung) und in anderen Anwendungen (z. B. Feuerlöschschäumen) eingesetzt (OECD, 2021). In der Umwelt sind PFAS extrem persistent, teilweise bioakkumulativ, teilweise höchst mobil und mittlerweile global verbreitet. Sie können sowohl in entlegenen Gebieten als auch in Biota und im Menschen nachgewiesen werden (ECHA, 2021d). Die Verbindung Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) ist eine der wichtigsten und auch am meisten untersuchten Substanzen aus der Gruppe der PFAS. Tierversuchsstudien zeigten eine lebertoxische, krebserzeugende und fortpflanzungsschädigende Wirkung. Im Menschen stehen bei geringsten Konzentrationen Effekte auf das Immunsystem im Vordergrund (EFSA, 2020). PFOS und auch die Perfluorooctansäure (PFOA) und die Perfluorononansäure (PFNA) wurden von der europäischen Chemikalienagentur als vermutlich krebserregend und reproduktionstoxisch eingestuft (ECHA, 2021d).

- SVHC-Kandidatenliste** Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste gelistet. Zu diesen zählen auch bestimmte PFAS. Diese umfassen unter anderem die Perfluorhexansäure (PFHxA), die Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS), die Perfluorundecansäure (PFUnDA) und die Perfluordodecansäure (PFDoDA) aufgrund ihrer sehr persistenten und sehr bioakkumulativen (very persistent very bioaccumulative, vPvB) Eigenschaften sowie die Perfluorononansäure (PFNA), die Perfluordecansäure (PFDA) und PFOA aufgrund ihrer reproduktionstoxischen und persistenten, bioakkumulativen und toxischen (PBT) Eigenschaften (ECHA, 2021c).
- Stockholm-Konvention** Unter der Stockholm-Konvention über persistente organische Schadstoffe (persistent organic pollutants, POPs) – ein globales Übereinkommen zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt vor langlebigen und global verbreiteten Chemikalien – sind eine Reihe von unterschiedlichen organischen Schadstoffen gelistet, zu welchen auch einzelne PFAS zählen. So sind PFOA und auch seine Salze und PFOA-ähnliche Substanzen in Anhang A (Eliminierung) sowie PFOS und seine Salze sowie Perfluoroctansulfonylfluorid in Anhang B (Beschränkung) der Konvention aufgenommen (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a). Des Weiteren sind PFHxS, seine Salze und PFHxS-ähnliche Verbindungen aktuell für eine Aufnahme in die Stockholm-Konvention vorgeschlagen (STOCKHOLM CONVENTION, 2021b). In der EU werden die Stoffe der Konvention dann in die EU POP-VO aufgenommen (VO (EU) 2019/1021).
- chemische Analyse** Im Rahmen der aktuellen Untersuchung erfolgte die chemische Analyse von insgesamt 20 PFAS in 14 Klärschlammkompost- und sechs Bodenproben mittels Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) in Anlehnung an DIN CEN/TS 15968:2010. Die einzelnen untersuchten PFAS sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind zusammen mit den Messergebnissen im Anhang in Tabelle 35 und Tabelle 36 gelistet sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d).
- Analysenergebnisse** In Tabelle 8 sind die Ergebnisse von sechs der derzeit relevantesten PFAS in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (siehe Kap. 4.1 und Kap. 4.2) an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten gegenübergestellt.
- 16 PFAS detektiert** Von den insgesamt 20 analysierten PFAS konnten 16 Substanzen in zumindest einer der untersuchten Proben nachgewiesen werden. Vier Verbindungen wurden in keiner der untersuchten Proben gemessen. Diese umfassen die Perfluorononansulfonsäure (PFNS), die Perfluortetradecansäure (PFTeDA), Perfluoroctansulfonamid (PFOSA) und N-Ethyl-Perfluorsulfonamid (N-Et-FOSA). Über alle PFAS konnte für die Verbindung PFHxA die höchste Konzentration mit 120 µg/kg TM in einer Kompostprobe (Probe KSK-10-V-6830) nachgewiesen werden.

Tabelle 8: Ergebnisse sechs ausgewählter PFAS in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	PFPeA	PFHxA	PFOA*	PFNA	PFDA	PFOS*
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]						
14 Komposte	1,7–19 (5,2)	1,1–120 (25)	0,59–12 (2,7)	<0,22–1,3 (0,46)	0,45–6,9 (1,6)	0,69–50 (9,4)
2 beaufschlagte Böden	0,14 u. 0,50	0,18 u. 0,30	0,19 u. 0,83	<0,10 u. 0,36	<0,10 u. 0,46	0,16 u. 1,0
4 Referenzböden	n.n.	n.n.-<0,10 (<0,10)	<0,11–0,23 (0,14)	n.n.-<0,10 (<0,10)	n.n.-<0,10 (<0,10)	<0,12-<0,14 (<0,14)

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit unter der analytischen Nachweisgrenze liegt. Die Nachweisgrenzen für die angegebenen Substanzen PFHxA, PFNA und PFDA liegen bei 0,05 µg/kg TM sowie für PFPeA bei 0,14 µg/kg TM. Werte, die mit „<“ angegeben werden, liegen unter der Bestimmungsgrenze (<BG). Die der Tabelle zugrunde liegenden Einzeldaten sind im Anhang in Tabelle 35 und Tabelle 36 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) angeführt.

Abkürzungen: n.n.: nicht nachweisbar; PFDA: Perfluordecansäure; PFPeA: Perfluorpentansäure; PFHxA: Perfluorhexansäure (Perfluorcapronsäure); PFNA: Perfluornonansäure; PFOA: Perfluoroctansäure; PFOS: Perfluoroctansulfonsäure; TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost Die Untersuchung der 14 Klärschlammkompostproben zeigte einen Nachweis von nachfolgenden Verbindungen in allen der insgesamt 14 untersuchten Komposten (Tabelle 8; Einzelergebnisse im Anhang in Tabelle 35 und Tabelle 36 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d)). Auffallend ist, dass für die Verbindungen PFDA, PFDODA, PFOA, PFOS und PFNA die jeweils höchste nachgewiesene Konzentration in der Probe KSK-04-NÖ-3851 sowie für die Verbindungen PFPeA und PFHxA die jeweilige Maximalkonzentration in der Probe KSK-10-V-6830 gefunden wurde. Damit ist davon auszugehen, dass hohe PFAS-Belastungen im Klärschlamm nicht auf einzelne Substanzen beschränkt sind, sondern vermutlich eine kombinierte hohe Exposition mit mehreren PFAS-Verbindungen vorliegt.

Boden Die Ergebnisse in den sechs untersuchten Bodenproben zeigten grundsätzlich geringe Belastungen (Tabelle 8, Einzelergebnisse im Anhang in Tabelle 35 und Tabelle 36 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d)). Die Böden werden getrennt nach beaufschlagten Böden und Referenzböden dargestellt. Die höchste nachgewiesene Konzentration aller PFAS wurde mit 1,0 µg/kg TM für PFOS identifiziert. Bei diesem Boden handelte es sich um die Probe KSK-B-NÖ-3851 (beaufschlagter Boden am Standort NÖ-04) (Tabelle 8, Tabelle 9).

Vergleich Kompost-Böden An zwei niederösterreichischen Standorten wurden der entsprechende Klärschlammkompost, der beaufschlagte Boden sowie ein Referenzboden, der nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurde, untersucht und miteinander verglichen. Die Ergebnisse für ausgewählte PFAS sind in Tabelle 9 angeführt.

Tabelle 9:
Ergebnisse sechs ausgewählter PFAS in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	PFPeA	PFHxA	PFOA*	PFNA	PFDA	PFOS*
Standort NÖ-03							
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	1,8	21	1,0	0,38	1,4	4,6
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	<0,28	0,18	0,19	<0,10	<0,10	0,16
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.	n.n.	0,10	n.n.	n.n.	<0,12
Standort NÖ-04							
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	11	56	12	1,3	6,9	50
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	0,50	0,30	0,83	0,36	<0,10	1,0
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	n.n.	n.n.	<0,11	<0,10	n.n.	<0,13

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit unter der analytischen Nachweisgrenze liegen. Die Nachweisgrenzen für die angegebenen Substanzen PFHxA, PFNA und PFDA liegen bei 0,05 µg/kg TM sowie für PFPeA bei 0,14 µg/kg TM. Werte, die mit „<“ angegeben werden, liegen unter der Bestimmungsgrenze (<BG). Die der Tabelle zugrunde liegenden Einzeldaten sind im Anhang in Tabelle 35 und Tabelle 36 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) angeführt.

Abkürzungen: n.n.: nicht nachweisbar; PFDA: Perfluordecansäure; PFPeA: Perfluorpentansäure; PFHxA: Perfluorhexansäure (Perfluorcapronsäure); PFNA: Perfluorononansäure; PFOA: Perfluoroctansäure; PFOS: Perfluoroctansulfonsäure; TM: Trockenmasse.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Am Standort NÖ-03 zeigten sich sehr deutlich (vgl. Tabelle 9) vergleichsweise hohe Konzentrationen an unterschiedlichen PFAS in der Klärschlammkompostprobe. Die Substanzen wurden auch im beaufschlagten Boden nachgewiesen, allerdings in deutlich geringeren Mengen. Im Vergleich dazu finden sich allerdings im entsprechenden Referenzboden diese PFAS nicht oder nur in Spuren. Beispielhaft werden die beiden am häufigsten untersuchten PFAS (PFOS: Abbildung 1; PFOA: Abbildung 2) dargestellt.

Abbildung 1:
PFOS-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$)
am Standort NÖ-03 in
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagtem
Boden (rot) und
Referenzboden (grün).

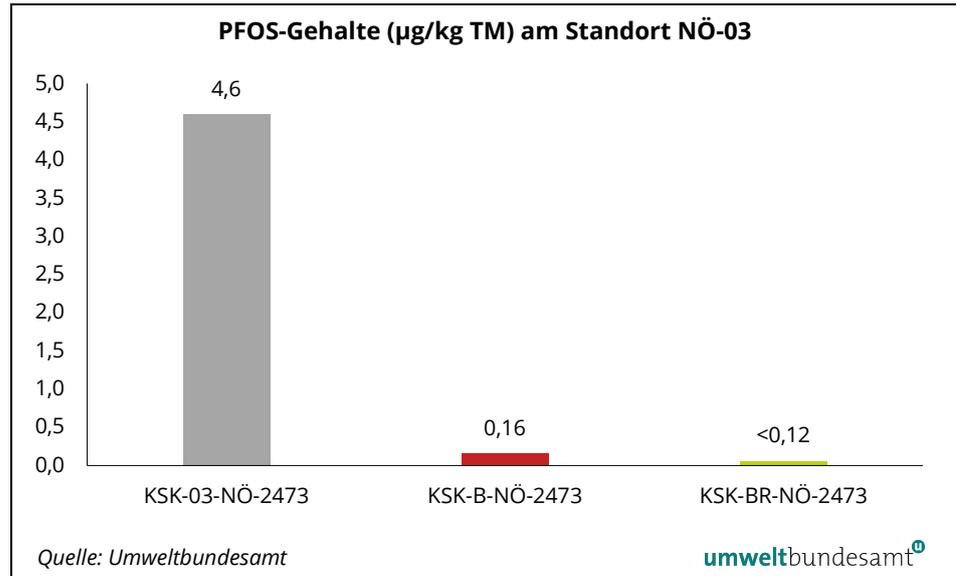
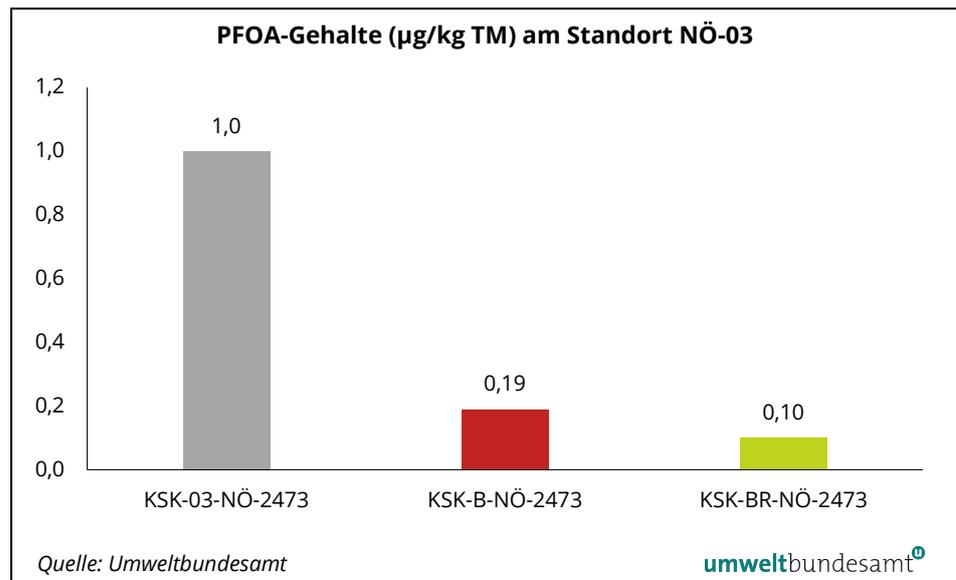


Abbildung 2:
PFOA-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$)
am Standort NÖ-03 in
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagtem
Boden (rot) und
Referenzboden (grün).



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Der Vergleich der PFAS-Gehalte im Kompost des Standorts NÖ-04 mit dem entsprechenden beaufschlagten Boden zeigt ebenfalls (siehe hierzu Tabelle 9) deutliche PFAS-Belastungen im Kompost sowie geringe, aber im Vergleich zum Referenzboden deutlich höhere Gehalte im beaufschlagten Boden. Des Weiteren ist anzumerken, dass in der untersuchten Klärschlammkompostprobe des Standorts NÖ-04 im Vergleich zu allen anderen Klärschlammkompostproben durchwegs höhere Belastungen bestimmt wurden. Beispielhaft werden die beiden am häufigsten untersuchten PFAS (PFOS: Abbildung 3; PFOA: Abbildung 4) dargestellt.

Abbildung 3:
PFOS-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$)
am Standort NÖ-04 in
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagtem
Boden (rot) und
Referenzboden (grün).

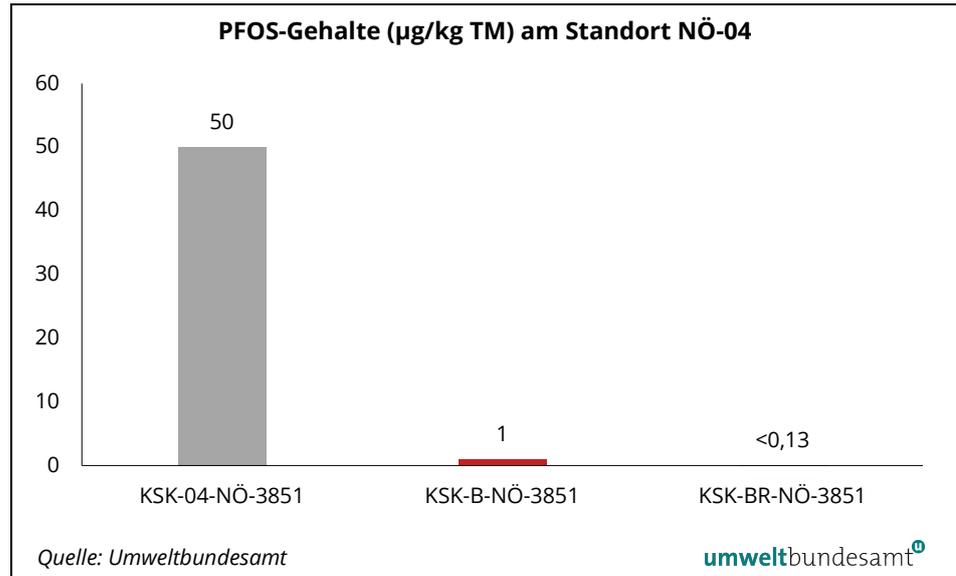
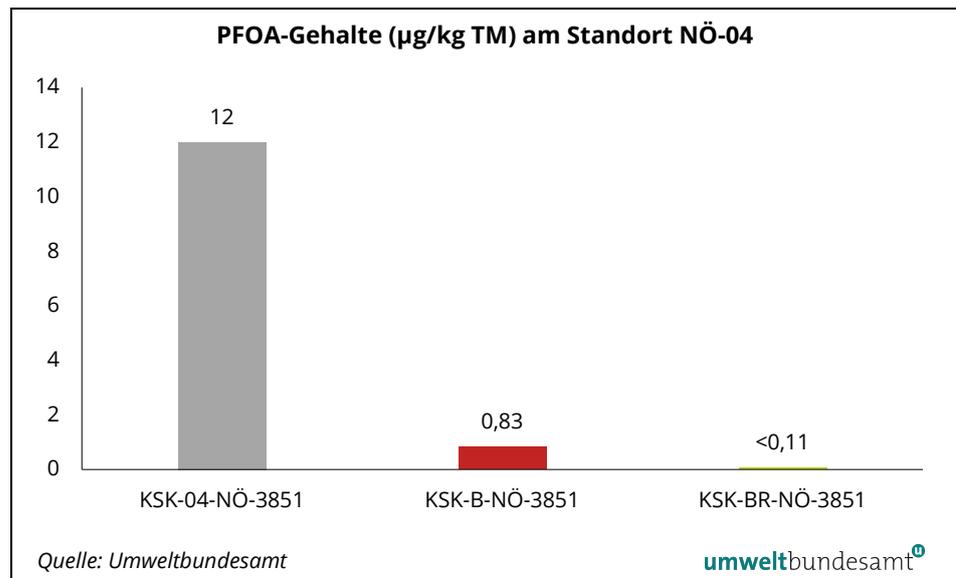


Abbildung 4:
PFOA-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$)
am Standort NÖ-04 in
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagtem
Boden (rot) und
Referenzboden (grün).



**Vergleich mit der
Literatur**

Es wurden schon früher Untersuchungen von landwirtschaftlich genutzten Böden, die mit Klärschlamm beaufschlagt wurden, untersucht, allerdings mit höheren Nachweisgrenzen. PFOS und PFOA konnten nicht detektiert werden (Lfl, 2006). Eine in Vorarlberg durchgeführte Untersuchung (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016) in Klärschlammkomposten zeigte für PFHxA nachgewiesene Gehalte von bis zu $12 \mu\text{g}/\text{kg TM}$, welche damit teilweise niedriger als in der aktuellen Untersuchung lagen (vgl. Tabelle 8; Werte der aktuellen Studie: Maximum $120 \mu\text{g}/\text{kg TM}$, Mittelwert $22 \mu\text{g}/\text{kg TM}$). Die in den Vorarlberger Proben durch das Labor des Umweltbundesamtes detektierten Konzentrationen für PFOA in den Komposten lagen bei bis zu $6,4 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ und damit durchwegs etwas höher als in der aktuellen Studie, mit Ausnahme der Klärschlammkompostprobe am Standort NÖ-04. Ein ähnliches Bild konnte

für PFDA identifiziert werden. Für PFNA lagen die nachgewiesenen Gehalte in ähnlichen Bereichen.

In einer aktuellen Studie aus Vorarlberg zeigten für neun langjährig mit Klärschlammkompost gedüngte, landwirtschaftlich genutzte Böden PFOS-Gehalte zwischen 4,2 und 70 µg/kg TM und PFOA-Gehalte zwischen 1,2 und 10 µg/kg TM (ebenso vom Umweltbundesamt analysiert). Es konnte jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass diese Böden neben KS-Kompost auch mit anderen landwirtschaftlichen Betriebsmitteln gedüngt wurden. In dieser Vorarlberger Studie wurde auch ein Bewertungssystem für PFAS im Boden vorgeschlagen, womit die Bodengehalte der Standorte dieser Studie verglichen wurden (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2021). Aufgrund der Ergebnisse der Vorarlberger Untersuchung gehen die Autor:innen davon aus, dass ab einem ΣPFOA/PFOS-Gehalt im Boden von mehr als 2 µg/kg TM eine Vorbelastung besteht. Ab einem ΣPFOA/PFOS-Gehalt von 4 µg/kg TM wird ein Boden als belastet eingestuft. In der gegenständlichen Studie lagen die ΣPFOA/PFOS-Gehalte der Referenzböden jeweils unter der Bestimmungsgrenze, vom Standort NÖ-03 bei 0,35 µg/kg TM und vom Standort NÖ-04 bei 1,83 µg/kg TM. Somit lagen alle Gehalte der Leitsubstanzen unterhalb von 2 µg/kg TM und gelten gemäß der Vorarlberger Autor:innen als nicht vorbelastet.

In Deutschland unterliegt Klärschlamm, der bodenbezogen verwertet werden soll, seit 2015 der Düngemittelverordnung, die eine PFAS-Konzentration von 100 µg/kg (Summe von PFOA und PFOS) in der Trockenmasse nicht überschreiten darf – andernfalls ist er zu verbrennen. Die höchsten Gehalte in den untersuchten Klärschlammkomposten lagen unter 62 µg/kg TM. In Österreich wird Klärschlamm von der Düngemittelverordnung nicht erfasst.

Bezogen auf die Aufbringung von Klärschlammkompost auf landwirtschaftliche Flächen wurde in der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) für PFOS die humane Exposition abgeschätzt und mögliche Überschreitungen von sicheren Grenzen der wöchentlichen Aufnahmemenge (TWI) vorausgesagt. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass der TWI 2020 neuerlich herabgesetzt wurde und es in der Bevölkerung zu Überschreitungen kommt.

Beurteilung der Ergebnisse

Für PFAS gibt es aktuell keine Grenzwerte für Boden oder Klärschlammkompost. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnte bestätigt werden, dass in den einzelnen Proben oft gleich mehrere PFAS in höheren Gehalten nachzuweisen waren. Dies ist für eine Mischungstoxizität (additive Effekte) relevant.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigt sich für die unterschiedlichen PFAS ein etwas heterogenes Bild. In der aktuellen Untersuchung fielen die nachgewiesenen Gehalte für einige PFAS im Vergleich etwas niedriger sowie für andere PFAS etwas höher aus. Grundsätzlich konnten aber keine besonderen Auffälligkeiten identifiziert werden.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte deutlich, dass

bestimmte PFAS in vergleichsweise hohen Konzentrationen in den Komposten nachzuweisen waren und dies sich auch auf den beaufschlagten Böden widerspiegelte, wenn auch in deutlich geringeren Konzentrationen. In den untersuchten Referenzböden konnten hingegen die betrachteten PFAS nicht oder nur in Spuren detektiert werden.

- PFAS sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindungen, wobei anzunehmen ist, dass diese in den meisten Klärschlammkomposten nachzuweisen sind, auch in jenen von kleineren, ländlichen Kläranlagen mit gering industriellem Anteil. Außerdem werden in Kompostanlagen in vielen Fällen Klärschlämme verschiedener Herkunft vermischt, damit sind die genauen PFAS-Quellen nicht ermittelbar. **Detaillierte Untersuchungen dazu fehlen, diese wären jedoch zur genauen Abklärung notwendig.**
- Für die Beurteilung von PFAS in Klärschlammkompost- und Bodenproben ist die **Festlegung von Grenzwerten** notwendig. In Vorarlberg wird derzeit ein Entwurf erarbeitet.
- Aufgrund der ubiquitären Verbreitung von PFAS in der Umwelt und in Lebensmitteln sowie im Trinkwasser, den extrem persistenten Eigenschaften sowie langen Halbwertszeiten im Menschen kommt es zur inneren Belastung mit PFAS. Die Europäische Lebensmittelagentur (EFSA, 2008, EFSA, 2020) leitete eine tolerierbare wöchentliche Aufnahme (tolerable weekly intake TWI) von 4,4 ng/kg KG¹ (Summe von vier PFAS) ab und wies darauf hin, dass die Exposition eines beträchtlichen Teils der Bevölkerung bereits über dem TWI-Wert liegt.
- Bezogen auf die Aufbringung von Klärschlammkompost auf landwirtschaftliche Flächen wurde in der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) für PFOS die humane Exposition abgeschätzt und mögliche Überschreitungen von sicheren Grenzen der wöchentlichen Aufnahmemenge (TWI) vorausgesagt.
- Jede weitere **Verbreitung von PFAS muss verhindert werden**, auch die Ausbringung von PFAS-haltigem Klärschlammkompost.

4.3.3 Polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane (PCDD/F)

Beschreibung

Bei den polychlorierten Dibenzo-*p*-Dioxinen und -Furanen (PCDD/F) handelt es sich um zwei Gruppen planarer trizyklischer Verbindungen, welche 1–8 Chloratome enthalten und über ähnliche chemische Strukturen verfügen. Damit weisen sie auch ähnliche Eigenschaften auf und werden üblicherweise gemeinsam betrachtet. Es gibt insgesamt 75 PCDD und 135 PCDF, die als Gemische in unterschiedlicher Zusammensetzung vorliegen. Je nach chemischer Struktur haben die einzelnen Kongenere (d. h. Substanzen mit derselben chemischen Grundstruktur) unterschiedliche Toxizität. Das toxischste Kongener ist dabei das 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (2,3,7,8-TCDD; CAS# 1746-01-6), auch bekannt als das sogenannte „Seveso-Dioxin“ (EC, 2011).

¹ TWI: tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake);
KG: Körpergewicht

Die PCDD/F entstehen als unerwünschte Nebenprodukte bei Verbrennungsprozessen bei unzureichend hohen Temperaturen unter Anwesenheit von Chlor und organischem Kohlenstoff. Der Eintrag in die Umwelt erfolgt über die Luft sowie über Rückstände in Klärschlamm, Asche, Abwässer, etc. PCDD/F sind aufgrund ihrer chemisch-physikalischen Eigenschaften schlecht wasserlöslich, jedoch sehr lipophil². Die Lipophilie bedingt, dass sie sehr gut an Partikel, Sedimente, Böden etc. adsorbiert werden. Während des Kompostierungsprozesses ist mit sehr geringem Abbau der PCDD/F zu rechnen. Aufgrund der Massenreduktion der organischen Masse kann es vielmehr zu einer Konzentrationszunahme kommen (Muñoz et al., 2018). In Organismen werden PCDD/F im Fettgewebe angereichert. Sie sind persistent, bioakkumulativ, endokrin schädigend und toxisch (WHO, 2019).

Stockholm-Konvention PCDD/F zählen zu den ersten 12 Substanzen bzw. Substanzgruppen („das dreckige Dutzend“), die in der Stockholm-Konvention gelistet wurden. Sie finden sich in Anhang C (unbeabsichtigte Produktion) der Konvention (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

Toxizitätsäquivalente (TEQ) Wie oben angeführt, haben die PCDD/F je nach Chlorierungsgrad und Positionierung der Chloratome in ihrer chemischen Struktur unterschiedlich ausgeprägte Toxizitäten. Um diese miteinander vergleichbar zu machen, erfolgt die Anwendung des Konzepts der Toxizitätsäquivalente (toxic equivalents, TEQ). Eine Schlüsselrolle bei der Berechnung der TEQ spielen dabei die sogenannten Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF). Als Referenzsubstanz erhielt das 2,3,7,8-TCDD den Faktor eins, die anderen Verbindungen aus der Stoffgruppe der Dioxine und dioxinähnlichen PCB erhielten entsprechend ihrer geringeren Giftigkeit abgestufte, niedrigere Werte. Durch unterschiedliche TEF in Verbindung mit den jeweiligen Mengen nehmen die verschiedenen Verbindungen unterschiedliche Anteile am TEQ ein (BfR, 2007, EC, 2011). Im Rahmen wissenschaftlicher Studien werden die TEF zum toxischen Potenzial der verschiedenen Verbindungen ermittelt.³

Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten der Berechnung der TEQ. Im vorliegenden Bericht werden die berechneten TEQ nach dem sogenannten Upper-Bound (UB)-Ansatz diskutiert. UB bedeutet, dass Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze liegen, zur Berechnung gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt werden (AGES, 2015). Seit einer Reevaluierung der gültigen TEQ für PCDD/F durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2005 werden aktuell die sogenannten TEQ WHO 05 angewendet (Van den Berg et al., 2006).

Eine Neubewertung der EFSA⁴ brachte eine siebenfache Herabsetzung der bisher geltenden tolerierbaren Aufnahmemengen von PCDD/F und dl-PCB (EFSA CONTAM Panel, 2018).

² lipophil: fettliebend; Substanzen, die sich gut in Fett bzw. Öl lösen.

³ Neubewertung der Toxizitätsäquivalente für Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen | BMU

⁴ EFSA: European Food Safety Authority

chemische Analyse In der aktuellen Untersuchung von Klärschlammkompost- und Bodenproben erfolgte die chemische Analyse der PCDD/F mittels Gaschromatographie gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (GC-HRMS) nach ÖNORM EN 16190:2019.

Analysenergebnisse Ausgewählte Ergebnisse (nachgewiesene Konzentrationen zu 2,3,7,8-TCDD („Seveso-Dioxin“), der Summe der Dioxine (TCDD), der Summe der PCDF (Furane) und der TEQ WHO 05 zu PCDD/F) in den untersuchten Klärschlammkompost- und Bodenproben sind in Tabelle 10 dargestellt. In allen untersuchten Kompost- und Bodenproben konnten PCDD/F bestimmt werden. Weitere ausgewählte Einzelergebnisse finden sich zudem im Anhang in Tabelle 37 und Tabelle 38 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d).

Tabelle 10: Ausgewählte Ergebnisse zu Dioxinen und Furanen in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	2,3,7,8-TCDD*	Summe PCDD*	Summe PCDF*	Summe PCDD/F*	TEQ – PCDD/F WHO 05 UB ¹
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]					
14 Komposte	n.n.-0,00043 (0,00016)	0,25–1,9 (0,80)	0,050–0,23 (0,11)	0,3–2,0 (0,91)	0,0015–0,0044 (0,0027)
2 beaufschlagte Böden	n.n. und n.n.	0,043 und 0,076	0,023 und 0,025	0,066 und 0,10	0,00044 u. 0,00048
4 Referenzböden	n.n.	0,015–0,076 (0,036)	0,014–0,019 (0,017)	0,034–0,0959 (0,053)	0,00023–0,00039 (0,00032)

¹ Upper Bound (UB): Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze lagen, wurden zur TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB)-Berechnung gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt.

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit je nach Probe unter einem Wert von 0,000017–0,000027 µg/kg TM lag.

Abkürzungen: n.n.: nicht nachweisbar; PCDD: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine;

PCDD/F: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -Furane; PCDF: Polychlorierte Dibenzo-p-Furane;

TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB): Toxizitätsäquivalent für PCDD/F nach Weltgesundheitsorganisation 2005 (Upper Bound);

TM: Trockenmasse; 2,3,7,8-TCDD: 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin.

Klärschlammkompost Das sogenannte Seveso-Dioxin (2,3,7,8-TCDD) wurde in den untersuchten Klärschlammkompostproben in Konzentrationen von nicht nachweisbar bis 0,00043 µg/kg TM, die Dioxine (Summe PCDD) von 0,25 bis 1,9 µg/kg TM, die Furane (Summe PCDF) von 0,050 bis 0,23 µg/kg TM, und die Summe der Dioxine und Furane (Summe PCDD/F) von 0,3 bis 2,0 µg/kg TM detektiert (vgl. Tabelle 10). Der höchste Summengehalt an PCDD/F wurde in der Klärschlammkompostprobe (KSK-02-NÖ-3454) nachgewiesen (Tabelle 37). Die berechneten TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) für definierte PCDD/F lagen in den Komposten zwischen 0,0015 und 0,0044 µg/kg TM (Tabelle 10), wobei der Maximalwert in der Probe KSK-08-S-5113 (Tabelle 37) identifiziert wurde.

Böden In den untersuchten Bodenproben fanden sich im Vergleich zu den Komposten deutlich geringere PCDD/F-Gehalte (siehe Tabelle 10). Die Böden werden ge-

trennt nach beaufschlagten Böden und Referenzböden dargestellt. In den beaufschlagten Böden wurden für die Summe der PCDD Konzentrationen von 0,043 bis 0,076 µg/kg TM, für die Summe der PCDF von 0,023 bis 0,025 µg/kg TM und für die Summe der PCDD/F von 0,066 bis 0,10 µg/kg TM detektiert. Die Konzentrationen der Referenzböden lagen mit einer Ausnahme (Summe PCDD: KSK-B-NÖ-3441 (NÖ-12): 0,076 µg/kg TM) immer unter den beaufschlagten Böden (Tabelle 37). Auch bei den berechneten TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) lagen die Konzentrationen der Referenzböden unter den beaufschlagten Böden (Tabelle 10).

2,3,7,8-TCDD wurde hingegen in keiner der untersuchten Böden nachgewiesen.

**Vergleich
Kompost – Boden**

Die Untersuchungsergebnisse an den zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorten NÖ-03 und NÖ-04 finden sich in Tabelle 11:

*Tabelle 11:
Ergebnisse zu ausgewählten Dioxinen und Furanen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).*

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	2,3,7,8-TCDD*	Summe PCDD*	Summe PCDF*	Summe PCDD/F*	TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) ¹
Standort NÖ-03						
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	n.n.	0,64	0,087	0,73	0,0024
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	n.n.	0,043	0,023	0,066	0,00044
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.	0,015	0,019	0,034	0,00039
Standort NÖ-04						
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	n.n.	0,92	0,23	1,1	0,0034
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	n.n.	0,076	0,025	0,10	0,00048
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	n.n.	0,032	0,014	0,046	0,00028

¹ Upper Bound (UB): Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze lagen, wurden zur TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB)-Berechnung gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt.

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit je nach Probe unter einem Wert von 0,000017 bis 0,000027 µg/kg TM lag.

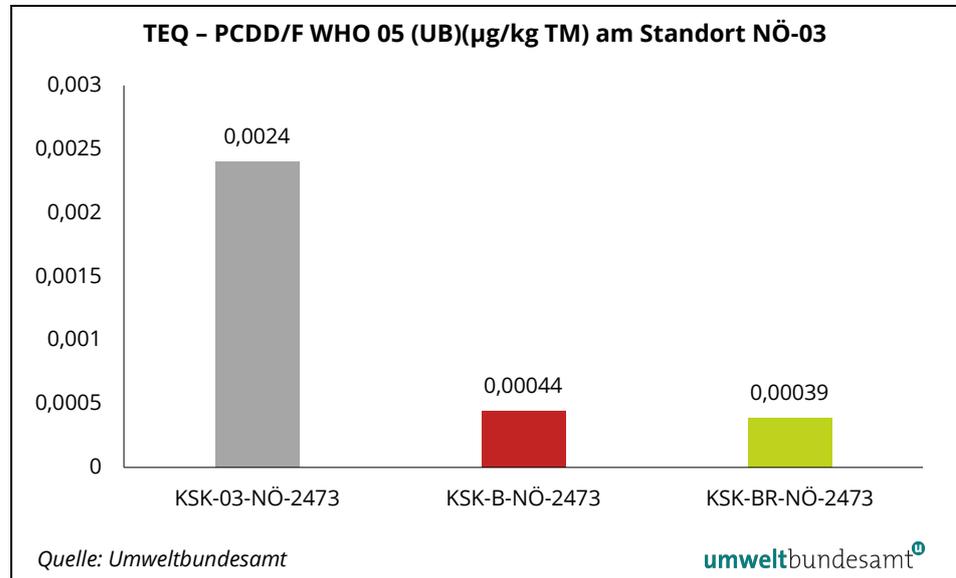
Abkürzungen: B: Boden; BR: Referenzboden; KSK: Klärschlammkompost; n.n.: nicht nachweisbar; PCDD: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine; PCDD/F: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -Furane; PCDF: Polychlorierte Dibenzo-p-Furane; TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB): Toxizitätsäquivalent für PCDD/F nach Weltgesundheitsorganisation 2005 (Upper Bound); TM: Trockenmasse; 2,3,7,8-TCDD: 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Am Standort NÖ-03 konnte weder in den untersuchten Böden noch im Klärschlammkompost 2,3,7,8-TCDD detektiert werden. Die Verteilung der TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 5 dargestellt. Es zeigt

sich, dass im Klärschlammkompost (KSK) vergleichsweise hohe Gehalte nachzuweisen waren. Die Konzentrationen waren im beaufschlagten Boden (KSK-B) sowie im Referenzboden (KSK-BR) ähnlich, wenn auch im Referenzboden etwas geringer.

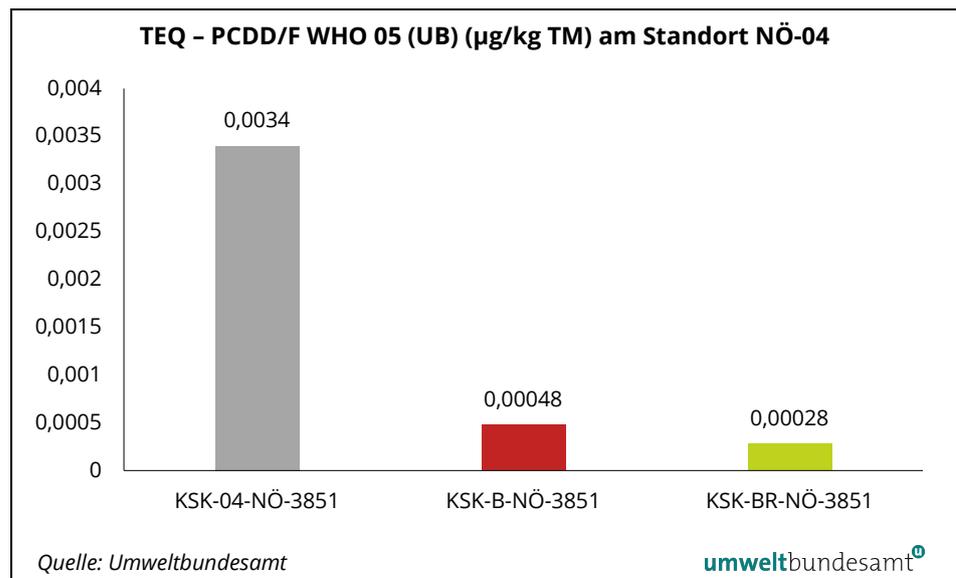
Abbildung 5:
TEQ – PCDD/F WHO 05
(UB)(µg/kg TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Auch am Standort NÖ-04 konnte 2,3,7,8-TCDD in keiner der Proben detektiert werden. Ebenfalls in Übereinstimmung mit dem Standort NÖ-03 fand sich am Standort NÖ-04 im Kompost ein deutlich höherer TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) als in den Böden (siehe Abbildung 6). Im beaufschlagten Boden (KSK-B) lag dieser aber erkennbar höher als im entsprechenden Referenzboden (KSK-BR).

Abbildung 6:
TEQ – PCDD/F WHO 05
(UB) (µg/kg TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).



Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Beaufschlagung mit Klärschlammkompost zu einem Eintrag von PCDD/F in Böden beiträgt.

Vergleich mit der Literatur PCDD/F liegen ubiquitär vor und werden auch in Klärschlammkompost nachgewiesen. In Spanien ging man der Frage nach, welche Faktoren dafür verantwortlich sein könnten, dass PCDD/F nach dem Klärschlamm-Kompostierungsprozess höher waren als vorher. Die Konzentrationen der beschriebenen Klärschlammkomposte reichten von 37 bis 87 pg TEQ/g TM (entspricht 0,037–0,087 µg TEQ/kg TM). Mögliche Vorläufersubstanzen, wie zum Beispiel Pentachlorphenol, könnten für die Entstehung von PCDD/F im Klärschlammkompost ebenso verantwortlich sein wie die Kompostierbedingungen (Muñoz et al., 2018). Die erwähnten Konzentrationen liegen um ein Vielfaches höher als in den Klärschlammkomposten der gegenständlichen Studie. Bezogen auf die Aufbringung von Klärschlammkompost auf landwirtschaftliche Flächen wurde in der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) für PCDD/F die kumulative Anreicherung als Grund für Besorgnis erwähnt.

Beurteilung der Ergebnisse Bundesweit festgesetzte Grenzwerte für PCDD/F in Böden bzw. in Klärschlammkompost existieren aktuell nicht. Lediglich nach der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung (LGBl. Nr. 77/2018 i.d.g.F.) ist ein Grenzwert für das Ausgangsmaterial festgesetzt, welches zur Herstellung von Klärschlammkompost eingesetzt wird, der zur Ausbringung auf den Boden bestimmt ist. Dieser umfasst 50 ng I-TEQ/kg TM⁵ (entspricht 0,05 µg/kg TM). Neben diesem verfügbaren Grenzwert nach Vorarlberger Landesgesetz wurden zur Einschätzung der Messergebnisse der aktuellen Untersuchung Grenzwerte unterschiedlicher Verordnungen herangezogen: Bundesweit setzt die Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II Nr. 100/2004 i.d.g.F.) für PCDD/F einen Grenzwert von 20 ng TEQ/kg TM (entspricht 0,02 µg/kg TM) in Düngemitteln fest, von der jedoch Klärschlamm bzw. Klärschlammkompost ausgenommen sind. In der Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (K-KKV, LGBl. Nr. 74/2000 i.d.g.F.) ist für Dioxine als Anforderung für Komposte aller Qualitätsklassen (Sackware) ein Grenzwert von 50 mg/kg TM (entspricht 50.000 µg/kg TM) festgesetzt. Des Weiteren legt die Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung, BGBl. II Nr. 292/2001 i.d.g.F.) unter anderem als Anforderung für die Qualitätsklasse B an Müllkompost (Endprodukt) einen Dioxin-Grenzwert von 50 ng TEQ/kg TM (entspricht 0,05 µg/kg TEQ/kg TM) fest.

Es kann festgehalten werden, dass die in den untersuchten Klärschlammkompostproben ermittelten PCDD/F-Gehalte deutlich unter den in den genannten Verordnungen angeführten Grenzwerten für Komposte lagen.

⁵ Bei rechtlichen Regelungen im Umweltbereich erfolgt oft noch die Verwendung von sogenannten I-TEQ der NATO aus dem Jahre 1988. Basierend auf diesen haben sich in weiterer Folge die TEQ der WHO weiterentwickelt (UBA 2017). Für den Vergleich der im Rahmen der aktuellen Untersuchung erhaltenen Ergebnisse mit verfügbaren Grenzwerten hat dies allerdings keinen Einfluss auf die Aussage.

Auf Basis der Ergebnisse der aktuellen Untersuchung ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- PCDD/F konnte in allen untersuchten Klärschlammkompost- und Bodenproben nachgewiesen werden.
- Die höchsten Gehalte fanden sich wie erwartet im Klärschlammkompost. Diese lagen aber deutlich unter Grenzwerten für bestimmte Düngemittel bzw. Komposte.
- Ein Unterschied zwischen beaufschlagtem Boden und entsprechendem Referenzboden war identifizierbar, allerdings nur in geringem Ausmaß. Dies weist auf einen PCDD/F-Eintrag in beaufschlagte Böden durch Klärschlammkompost hin.
- Für die Beurteilung PCDD/F in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** notwendig.
- Aufgrund der ubiquitären Verbreitung von PCDD/F und den persistenten bioakkumulativen Eigenschaften kommt es zur Anreicherung im menschlichen Körper. Aufgrund der von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit angesetzten extrem niedrigen tolerierbaren Aufnahmemengen, die in allen Bevölkerungsgruppen um ein Vielfaches überschritten werden, sollte jede weitere **Verbreitung von PCDD/F verhindert werden**, auch die Ausbringung von PCDD/F-haltigem Klärschlammkompost.

4.3.4 Polychlorierte Biphenyle (PCB, dl-PCB)

Beschreibung

Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind eine Gruppe von langlebigen chlorierten Kohlenwasserstoffen. Es gibt insgesamt 209 Kongenere, die sich durch die unterschiedliche Anzahl und Stellung der Chloratome ergeben. In der Vergangenheit wurden große Mengen an PCB produziert und aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften in vielen unterschiedlichen Anwendungen in der Bau-, Elektro- und Kunststoffindustrie als Weichmacher oder Hydraulikflüssigkeit eingesetzt. Mittlerweile sind sie durch die Stockholm-Konvention verboten (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

Als unbeabsichtigtes Nebenprodukt entstehen sie jedoch noch immer bei industriellen Prozessen und Verbrennungsvorgängen und werden aus Produkten, Baumassen, Altlasten oder Deponien freigesetzt und gelangen somit in die Umwelt. Sie können in Atmosphäre, Gewässern, Boden, Pflanzen, Tieren und Menschen nachgewiesen werden. Aufgrund ihrer Langlebigkeit und guten Fettlöslichkeit reichern sie sich in Organismen und der Umwelt an, und aufgrund ihrer Toxizität können sie schwere Gesundheitsschäden verursachen (UMWELTBUNDESAMT, 2020b).

Die Indikator-PCB oder ndl-PCB (non dioxin-like-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 (z. B. Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung, LGBl. Nr. 77/2018 i.d.g.F.).

Die dl-PCB (dioxin-like PCB) umfassen insgesamt zwölf Kongenere, die aufgrund ihrer Molekülstruktur eine dioxinähnliche Wirkung entfalten können. Die unterschiedliche Wirkungsstärke wird mit einem Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF) berücksichtigt. Dabei bewertet man die relative Toxizität der einzelnen Verbindungen im Vergleich zum hochgiftigen 2,3,7,8-TCDD. Die toxische Wirkung wird dann über die Gehalte der zwölf Einzelverbindungen und dem zugehörigen Faktor als Toxizitätsäquivalent (TEQ) errechnet und addiert (vergl. Kapitel 4.3.3). Eine Neubewertung der EFSA⁶ brachte eine siebenfache Herabsetzung der bisher geltenden tolerierbaren Aufnahmemengen von PCDD/F und dl-PCB (EFSA CONTAM Panel, 2018).

Stockholm-Konvention

Aufgrund der Aufnahme der PCB in die POP-Verordnung der EU (Anhang I, Teil A und Anhang III, Teil A) sind Produktions- und Verwendungseinschränkungen bzw. -verbote von PCB in der EU in Kraft (VO (EU) 2019/1021). PCB sind im Stockholmer Übereinkommen seit dem Jahr 2004 im Anhang A (Eliminierung) und C (Verringerung der Freisetzung) gelistet (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

chemische Analyse

In der aktuellen Untersuchung von Klärschlammkompost- und Bodenproben erfolgte die chemische Analyse der PCB mittels Gaschromatographie, gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (GC-HRMS) nach ÖNORM EN 16190:2019.

Analysenergebnisse

Die Ergebnisse der Summe der Indikator-PCB sowie der TEQ WHO 05 der dl-PCB in den untersuchten Klärschlammkompost- und Bodenproben sind in Tabelle 12 und Tabelle 13 dargestellt. In allen untersuchten Kompost- und Bodenproben konnten PCB bestimmt werden. Weitere Ergebnisse finden sich zudem im Anhang in Tabelle 39 und in Tabelle 40 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d).

Tabelle 12:
Ergebnisse zu polychlorierten Biphenylen (PCB) in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden (in µg/kg Trockenmasse).

	Summe Indikator-PCB (UB) ^{1*}	TEQ-PCB (WHO 05 (UB) ¹)
	Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]	
14 Komposte	4,5–22 (12)	0,00026–0,0014 (0,00074)
2 beaufschlagte Böden	0,57 und 0,83	0,00010 und 0,00011
4 Referenzböden	0,34–0,48 (0,40)	0,000043–0,000061 (0,000052)

¹ Upper Bound (UB): Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze lagen, wurden gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt.

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für die Indikator-PCB zwischen 0,031 und 0,1 µg/kg TM und für die dl-PCB zwischen 0,000012 und 0,001 µg/kg TM.

Abkürzungen: PCB: Polychlorierte Biphenyle; TEQ - PCB WHO 05 (UB): Toxizitätsäquivalent für PCB nach Weltgesundheitsorganisation 2005 (Upper Bound); TM: Trockenmasse.

⁶ EFSA: European Food Safety Authority

Klärschlammkompost In den Klärschlammkompostproben reichten die Summen der Indikator-PCB von 4,5 bis 22 µg/kg TM. Die errechneten TEQ-Werte der dl-PCB lagen zwischen 0,00026 und 0,0014 µg/kg TM (TEQ-PCB (WHO 05) (UB)) (Tabelle 12).

Boden Die Gehalte für die Summe der Indikator-PCB reichten in den beaufschlagten Böden von 0,57 bis 0,83 µg/kg TM und die TEQ der dl-PCB lagen zwischen 0,00010 und 0,00011 µg/kg TM (TEQ-PCB (WHO 05) (UB)). Die Gehalte der Referenzböden lagen für die Indikator-PCB zwischen 0,34 und 0,48 µg/kg TM und für die TEQ der dl-PCB zwischen 0,000043 und 0,00061 µg/kg TM (Tabelle 12).

Vergleich Kompost – Boden Tabelle 12 zeigt, dass die Gehalte der Indikator-PCB bzw. der dl-PCB (als TEQ) in den Klärschlammkomposten um ein Vielfaches höher lagen als in den Böden. Hier ist anzumerken, dass die Gehalte in den Klärschlammkomposten sowohl für die in der Abbildung 7 und in der Abbildung 8 dargestellten Kompostproben als auch für jene Probe, in welcher die vorliegende Untersuchung den höchsten Gehalt von 22 µg/kg detektierte (Vorarlberger Kompostprobe (KSK-10-V) (Tabelle 40, Teil 2) selbst unter dem deutschen Vorsorgewert für Boden (mit <8 % Humusgehalt) von 50 µg/kg TM liegen.

Beim Vergleich der beaufschlagten Böden mit den entsprechenden Referenzböden an den untersuchten Standorten NÖ-03 und NÖ-04 zeigte sich aber ein deutlicher Unterschied in den nachgewiesenen Konzentrationen, wobei in den beaufschlagten Böden bis zu 2,5-fach höhere Gehalte gemessen wurden.

Tabelle 13:
Ergebnisse zu polychlorierten Biphenylen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Indikator-PCB*	TEQ – PCB WHO 05 (UB) ¹
Standort NÖ-03			
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	13	0,00067
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	0,57	0,000096
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	0,34	0,000043
Standort NÖ-04			
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	19	0,0013
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	0,83	0,00011
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	0,34	0,000044

¹ Upper Bound (UB): Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze lagen, wurden gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt.

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

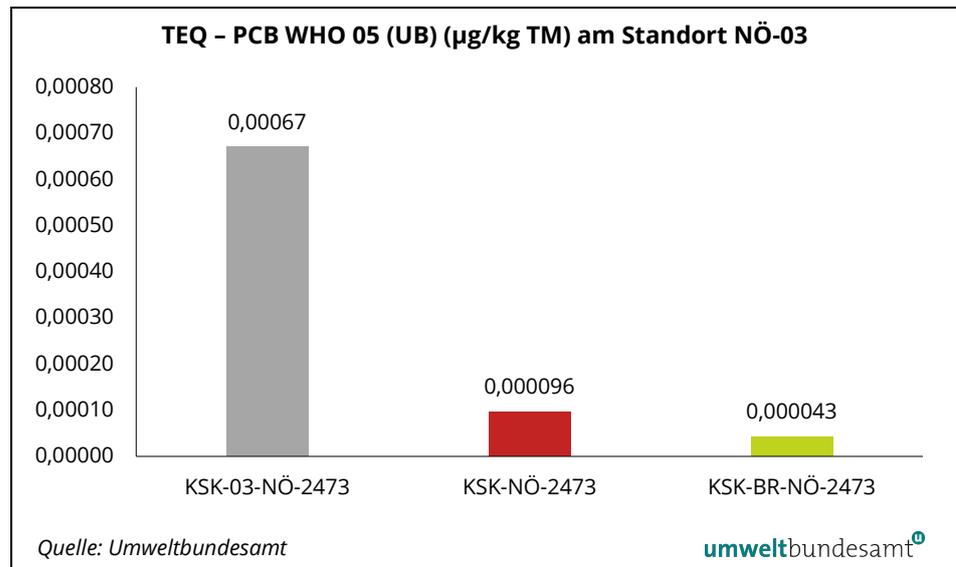
Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für die Indikator-PCB zwischen 0,031 und 0,1 µg/kg TM und für die dl-PCB zwischen 0,000012 und 0,001 µg/kg TM.

Abkürzungen: PCB: Polychlorierte Biphenyle; TEQ - PCB WHO 05 (UB): Toxizitätsäquivalent für PCB nach Weltgesundheitsorganisation 2005 (Upper Bound); TM: Trockenmasse.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der TEQ – PCB WHO 05 (UB) am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 7 dargestellt. Es zeigte sich, dass im Klärschlammkompost (KSK) vergleichsweise hohe Gehalte nachzuweisen waren. Die Konzentrationen im beaufschlagten Boden (KSK-B) zeigten ca. doppelt so hohe Werte wie im Referenzboden (KSK-BR). Bei den Indikator-PCB zeigte sich ein sehr ähnliches Bild (Tabelle 13). Beim beaufschlagten Boden lag der ca. 1,7-fache Gehalt des Referenzbodens vor.

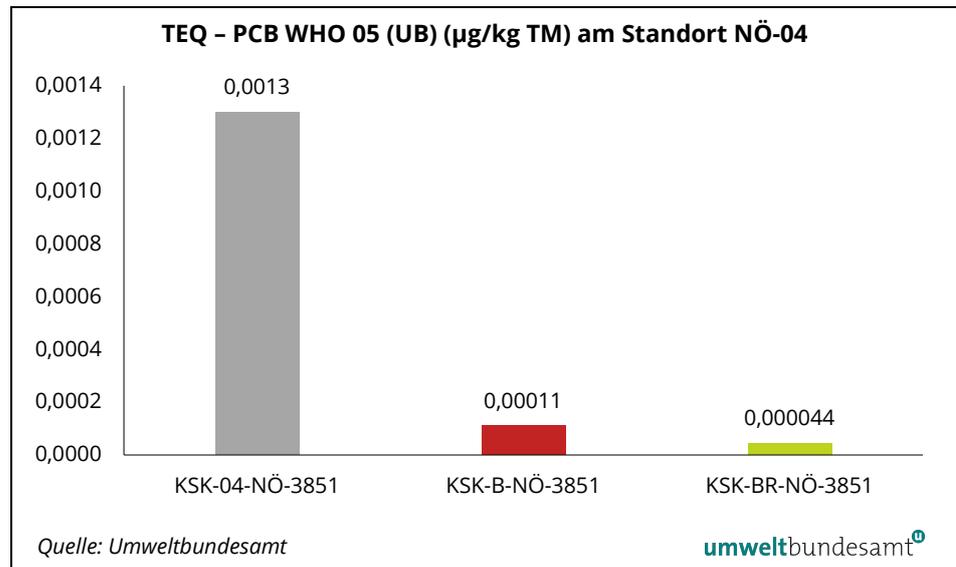
Abbildung 7: TEQ – PCB WHO 05 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Ähnlich wie am Standort NÖ-03 fand sich auch am Standort NÖ-04 im Kompost ein deutlich höherer TEQ – PCB WHO 05 (UB) als in den Böden (siehe Abbildung 8). Die Konzentrationen im beaufschlagten Boden (KSK-B) zeigen ca. das 2,5-fache des Referenzbodens (KSK-BR). Bei den Indikator-PCB zeigte sich ein sehr ähnliches Bild (Tabelle 13). Beim beaufschlagten Boden lag der ca. 2,4-fache Gehalt des Referenzbodens vor.

Abbildung 8: TEQ – PCB WHO 05 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.



**Vergleich mit der
Literatur**

Der Mittelwert der Summe der Indikator-PCB beträgt 12 µg/kg) (Tabelle 12) und liegt im Vergleich zu einer früheren Studie aus Vorarlberg im selben Bereich für Klärschlammkompost (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016). Der Maximalwert von 22 µg/kg zeigt ca. das Doppelte des Mittelwerts. In einer Studie aus Litauen, wo 29 Klärschlammkomposte untersucht wurden, liegt der Mittelwert bei ca. 30 µg/kg (Barčauskaitė, Žydelis und Mažeika, 2020), welcher über dem höchsten Wert der österreichischen Klärschlammkomposte liegt. Die Gehalte an PCB in Klärschlammkompost liegen im Vergleich mit den vorliegenden Studien unter diesen Werten. Die Hintergrundwerte für Ackerböden in Deutschland werden für dl-PCB mit 0,4 ng WHO-TEQ 2005/kg (90. Perzentil) (entspricht 0,0004 µg WHO-TEQ) angegeben, welche hier in allen Böden, sowohl in beaufschlagten als auch in Referenzböden, unterschritten werden (UBA, 2018a). Bezogen auf die Aufbringung von Klärschlammkompost auf landwirtschaftliche Flächen wurde in der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) für PCB die kumulative Anreicherung als Grund für Besorgnis erwähnt.

**Beurteilung der
Ergebnisse**

Bundesweit festgesetzte Grenzwerte für PCB (6)⁷ in Böden bzw. in Klärschlammkompost existieren aktuell nicht. Lediglich nach Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (K-KKV, LGBl. Nr. 74/2000 i.d.g.F.) liegt ein Grenzwert von 1 mg/kg TM (entspricht 1.000 µg/kg TM) für sechs Indikator-PCB (6) im Klärschlamm bzw. Kompost vor. Nach der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung (LGBl. Nr. 77/2018 i.d.g.F.) ist ein Grenzwert für Klärschlammkompost sowie für das Ausgangsmaterial zur Herstellung von zur Ausbringung auf den Boden bestimmten Klärschlammkompost festgesetzt. Dieser liegt bei 1 mg/kg TM (entspricht 1.000 µg/kg TM), jedoch für sieben PCB (7)⁸. Für Boden liegt in Vorarlberg ein Vorsorgewert von 0,1 mg/kg TM (entspricht 100 µg/kg TM) vor. Neben diesem verfügbaren Grenzwert nach Vorarlberger Landesgesetz wurden zur Einschätzung der erhaltenen Messergebnisse der aktuellen Untersuchung Grenzwerte unterschiedlicher Verordnungen herangezogen: Bundesweit setzt die Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II Nr. 100/2004 i.d.g.F.) für PCB einen Grenzwert von 0,2 mg/kg TM (entspricht 200 µg/kg TM) in Düngemitteln fest, von der jedoch Klärschlamm bzw. Klärschlammkompost ausgenommen sind. Des Weiteren legt die Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung, BGBl. II Nr. 292/2001 i.d.g.F.) unter anderem als Anforderung für die Qualitätsklasse B an Müllkompost (Endprodukt) einen PCB (6)-Grenzwert von 1 mg/kg TM (entspricht 1.000 µg/kg TM) fest. Vergleicht man die im Boden (Acker) nachgewiesenen Gehalte mit dem Vorsorgewert der deutschen Bodenschutzverordnung (BBSchV) von 50 µg Indikator-PCB/kg TM, so liegen sowohl die Werte der Referenzböden als auch die Werte der beaufschlagten Böden bei <2 % (Max. = 0,83 µg/kg TM) und damit weit darunter.

⁷ PCB (6) umfasst PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180

⁸ PCB (7) umfasst PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-138, PCB-153, PCB-180 inkl. PCB-118.

Es kann festgehalten werden, dass die in den untersuchten Klärschlammkompostproben ermittelten PCB-Gehalte deutlich unter den in den genannten Verordnungen angeführten Grenzwerten für Komposte lagen. Auch die Gehalte in den Böden liegen unter dem Vorsorgewert der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung.

Auf Basis der Ergebnisse der aktuellen Untersuchung ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- PCB konnten in allen untersuchten Klärschlammkompost- und Bodenproben nachgewiesen werden.
- Die höchsten Gehalte wurden, wie erwartet, im Klärschlammkompost quantifiziert. Diese lagen aber deutlich unter Grenzwerten für bestimmte Düngemittel bzw. Komposte.
- An den beaufschlagten Standorten konnte unter Betrachtung der Indikator-PCB bzw. des TEQ – PCB WHO 05 eine vergleichsweise höhere Belastung der Komposte im Gegensatz zu den Böden identifiziert werden. Ein Unterschied zwischen beaufschlagtem Boden und entsprechendem Referenzboden war ebenso erkennbar. So wiesen hier an beiden Standorten die beaufschlagten Böden deutlich höhere Gehalte als die entsprechenden Referenzböden auf. Dies weist auf einen PCB-Eintrag in beaufschlagte Böden durch Klärschlammkompost hin.
- Die Konzentrationen der PCB sind zwar auf niedrigem Niveau, sie sind jedoch hoch toxisch, endokrin schädigend und aufgrund der bioakkumulierenden Eigenschaften und der damit verbundenen Anreicherung in der Nahrungskette sollte eine **weitere Verbreitung vermieden werden**.

4.3.5 Hexachlorbenzol (HCB)

Beschreibung Einer der bekanntesten Vertreter der Organochlorpestizide ist Hexachlorbenzol, nicht zuletzt aufgrund des HCB-Skandals im Kärntner Görttschitztal.

In der Europäischen Gemeinschaft wurde HCB bereits 1981 wegen seiner gesundheitsschädlichen Eigenschaften für die landwirtschaftliche Verwendung verboten (AGES, 2020g). In Österreich gilt das Verbot seit 1992. HCB wurde vor allem als Pestizid und Fungizid zur Saatgutbeize, als Weichmacher- und Flammschutzadditiv für Kunststoffe und Schmiermittel, als Flussmittel bei der Aluminiumherstellung sowie als Zwischenprodukt zur Synthese von anderen Verbindungen eingesetzt. Als Nebenprodukt kann HCB bei Chlorierungs- oder Verbrennungsprozessen entstehen. Auch kann HCB aus Altlasten in die Umwelt freigesetzt werden (UMWELTBUNDESAMT, 2020b). HCB kommt nicht natürlich in der Umwelt vor. In Wasser ist HCB praktisch unlöslich, es ist jedoch sehr fettlöslich und kann sich deshalb in der Nahrungskette anreichern. HCB ist kanzerogen, endokrin schädigend und für Wasserorganismen akut und chronisch sehr toxisch (ATSDR, 2015).

Stockholm-Konvention Hexachlorbenzol gehört zur Gruppe der polychlorierten Benzole und wurde als eine der ersten zwölf Chlorverbindungen mit der Stockholm-Konvention weltweit im Jahr 2004 verboten (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a).

chemische Analyse In der aktuellen Untersuchung von Klärschlammkompost- und Bodenproben erfolgte die chemische Analyse von HCB mittels Gaschromatographie gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (GC-HRMS) in Anlehnung an ÖNORM EN 16190:2019.

Analysenergebnisse In Tabelle 14 sind die Ergebnisse von HCB in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt (Tabelle 15). Die HCB Ergebnisse sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 41 gelistet sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d).

Tabelle 14:
Ergebnisse von HCB in
14 Klärschlammkompos-
ten und in sechs Böden
(in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	HCB*
	Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]
14 Komposte	0,41–2 (0,88)
2 beaufschlagte Böden	0,094 und <0,19
4 Referenzböden	n.n.–0,89 (0,25)

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für HCB zwischen 0,047 und 0,092 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen zwischen 0,093 und 0,19 µg/kg TM.

Abkürzungen: HCB: Hexachlorbenzol; TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost In Tabelle 14 sind die nachgewiesenen HCB-Gehalte in den untersuchten Klärschlammkompostproben dargestellt. Sie reichen von 0,41 bis 2 µg/kg TM. Der höchste Gehalt von 2 µg/kg TM liegt im Vorarlberger Klärschlammkompost (KSK-10-V-6830) vor (Anhang Tabelle 41).

Boden Die Gehalte von HCB liegen, wie im Anhang (Tabelle 41) ersichtlich, an vier von sechs Standorten unter der Bestimmungsgrenze. An den zwei weiteren Standorten konnte HCB mit einem Höchstgehalt von 0,89 µg/kg TM bestimmt werden.

Vergleich Kompost – Boden Die Untersuchungsergebnisse an den zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorten NÖ-03 und NÖ-04 finden sich in Tabelle 15.

*Tabelle 15:
Ergebnisse zu Hexachlorbenzol (HCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).*

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Hexachlorbenzol (HCB)* (µg/kg TM)
Standort NÖ-03		
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	0,68
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	0,094
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	<0,093
Standort NÖ-04		
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	1,6
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	<0,19
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	0,89

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

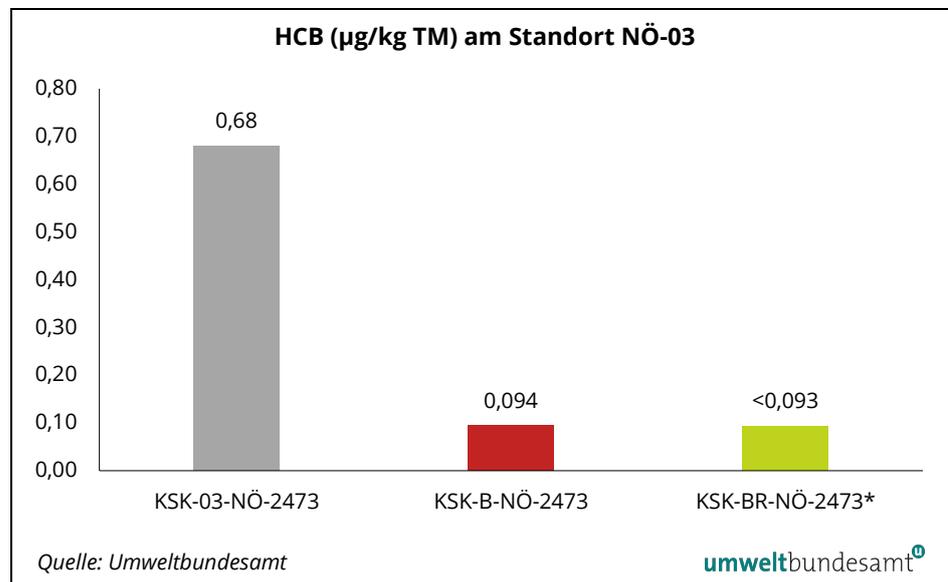
Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für HCB zwischen 0,047 und 0,092 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen zwischen 0,093 und 0,190 µg/kg TM.

Abkürzungen: HCB: Hexachlorbenzol; TM: Trockenmasse.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der HCB-Gehalte am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 9 dargestellt. Der HCB-Gehalt im Klärschlammkompost lag um ein Vielfaches über dem Gehalt des beaufschlagten Bodens. Im Referenzboden lag der HCB-Gehalt unter der Bestimmungsgrenze von 0,093 µg/kg TM.

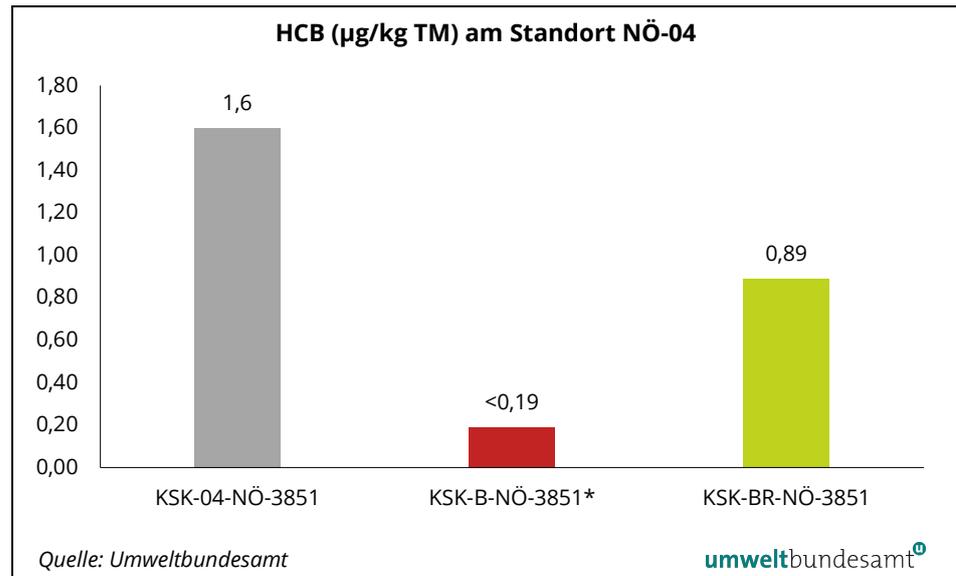
*Abbildung 9:
HCB (µg/kg TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden (* unter der Bestimmungsgrenze von 0,093 mg/kg TM).*



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der HCB-Gehalte am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 10 dargestellt. Der HCB-Gehalt im Klärschlammkompost lag hier nur um das Zweifache über dem Gehalt des Referenzbodens. Am Standort NÖ-04 lag der HCB-Gehalt am beaufschlagten Boden unter der Bestimmungsgrenze von 0,19 µg/kg TM.

Abbildung 10:
 HCB ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am
 Standort NÖ-04 für
 Klärschlammkompost,
 beaufschlagten Boden
 und Referenzboden
 (* unter der Bestim-
 mungsgrenze von
 $0,19 \mu\text{g}/\text{kg TM}$).



**Vergleich mit der
 Literatur**

Verglichen mit einer Studie aus Vorarlberg, in der 20 mit Klärschlammkompost beaufschlagte Böden durch das Umweltbundesamt auf HCB untersucht wurden und diese Böden Gehalte zwischen $0,1$ und $1,9 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ aufwiesen, liegen die Bodengehalte der niederösterreichischen Standorte im unteren Bereich (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2019a).

**Beurteilung der
 Ergebnisse**

Bundesweit festgesetzte Grenzwerte für HCB in Böden bzw. in Klärschlammkompost existieren aktuell nicht. Lediglich nach der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung (LGBI. Nr. 77/2018 i.d.g.F.) ist ein Vorsorgewert für Boden festgelegt. Der Vorsorgewert der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung liegt bei $3 \mu\text{g}/\text{kg TM}$. Ein Zusammenhang mit der Klärschlammkompostbeaufschlagung kann für HCB nicht erkannt werden. Die HCB-Gehalte in den Klärschlammkomposten wie auch in den Böden liegen alle unter diesem Vorsorgewert.

Es kann festgehalten werden, dass die in den untersuchten Klärschlammkompostproben sowie Bodenproben ermittelten HCB-Gehalte unter dem Vorsorgewert der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung lagen.

Auf Basis der Ergebnisse der aktuellen Untersuchung ergeben sich folgende Erkenntnisse:

- HCB konnte in allen 14 untersuchten Klärschlammkompost- und in fünf von sechs Bodenproben nachgewiesen werden.
- Der höchste Gehalt fand sich, wie erwartet, in einem Klärschlammkompost, jedoch lag auch ein vergleichsweise hoher HCB-Gehalt in einem Referenzboden vor.
- Die Herkunft von HCB konnte nicht festgestellt werden. Die Tatsache, dass der höchste Bodengehalt in einem Referenzboden gefunden wurde, lässt

auf eine unbekannte Kontaminationsquelle bei diesem Referenzboden schließen.

4.3.6 Polybromierte Diphenylether (PBDE) und Decabromdiphenylethan (DBDPE) und Dechloran

Beschreibung Polybromierte Diphenylether (PBDE) sind bromierte Kohlenwasserstoffverbindungen. Die Gruppe der PBDE besteht aus 209 möglichen Kongeneren, die sich durch Anzahl und Position der Bromatome unterscheiden. PBDE werden vor allem als Flammschutzmittel, im Elektro-, Elektronik-, Bau-, Transport- und Textilsektor sowie bei der Herstellung von Kunststoffen und Polyurethanschäumen verwendet. Im Wesentlichen kommen drei technische Gemische zum Einsatz. Diese umfassen PentaBDE, OctaBDE und DecaBDE, die sich hinsichtlich ihrer Kongenerzusammensetzung unterscheiden (UBA, 2021 a).

In die Umwelt können PDBE während des gesamten Produktlebenszyklus gelangen. Mittlerweise sind sie weltweit in sämtlichen Umweltmedien nachzuweisen (EFSA, 2011). PBDE sind persistent und können über lange Strecken transportiert werden. Aufgrund ihrer Fettlöslichkeit weisen PBDE ein hohes Bioakkumulationspotenzial auf. Sie sind sehr toxisch, endokrin schädigend und können die Leber, die Schilddrüsenhomöostase sowie das Reproduktions- und Nervensystem angreifen (EFSA, 2011).

Die Summe der sechs PBDE (Hauptbestandteile des technischen Gemisches PentaBDE (BDE (6)) umfasst sechs polybromierte Diphenylether-Verbindungen: BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153 und BDE-154.

Als alternatives Flammschutzmittel zu DecaBDE wird schon seit Jahrzehnten Decabromdiphenylethan (DBDPE) eingesetzt. Auch diese Verbindung ist in der Umwelt persistent sowie vermutlich bioakkumulativ. Des Weiteren gibt es Hinweise, dass DBDPE möglicherweise endokrin wirksam ist (UMWELTBUNDESAMT, 2016). Ein weiteres Flammschutzmittel stellt die chlorierte Substanz Dechloran Plus (DP) (Isomere: anti-DP und syn-DP) dar, die schon seit den 1960er-Jahren in Verwendung ist, z. B. in Elektrogeräten sowie Kunststoffen. Dechloran Plus ist sehr beständig und kann über weite Strecken transportiert werden. Es ist persistent, bioakkumulativ und toxisch für Tiere und Menschen (ECHA, 2020).

SVHC-Kandidatenliste Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste gelistet. Zu diesen zählt auch der Decabromdiphenylether (DecaBDE, BDE-209) aufgrund seiner sehr persistenten und sehr bioakkumulativen (very persistent very bioaccumulative, vPvB) Eigenschaften sowie seiner persistenten, bioakkumulativen und toxischen (PBT) Eigenschaften. Dechloran Plus ist aufgrund seiner sehr persistenten und sehr bioakkumulativen Eigenschaften (vPvB) gelistet (ECHA, 2021c).

Stockholm-Konvention In der Stockholm-Konvention sind im Anhang A (Elimination) TetraBDE, PentaBDE, HexaBDE, HeptaBDE und DecaBPE gelistet (STOCKHOLM CONVENTION, 2021a). Produktions- und Verwendungseinschränkungen bzw. -verbote sind für

die genannten bromierten Diphenylether aufgrund der Aufnahme in die POP-Verordnung in der EU in Kraft (VO (EU) 2019/1021).

chemische Analyse In der aktuellen Untersuchung von Klärschlammkompost- und Bodenproben erfolgte die chemische Analyse der PBDE und weiterer Flammschutzmittel mittels Gaschromatographie gekoppelt mit Tandemmassenspektrometrie (GC-MS/MS) in Anlehnung an ÖNORM EN 16190:2019.

Analysenergebnisse In Tabelle 16 sind die Ergebnisse von ausgewählten bromierten Flammschutzmitteln in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt. Der Klärschlammkompost mit den höchsten Gehalten an DBDPE zeigte einen Wert von 1.300 µg/kg TM (KSK-10-V-6830; Tabelle 42 im Anhang), von welchem jedoch keine Bodenprobe vorliegt. Der höchste Gehalt von BDE-209 lag bei 270 µg/kg TM und wurde im KSK-12-NÖ-3441 detektiert (Tabelle 43). Die Ergebnisse der Untersuchung zum Vorkommen der bromierten Flammschutzmittel sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 42 und Tabelle 43 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) dargestellt.

Tabelle 16:
Ergebnisse der Summe
der BDE (6), BDE-209
und DBDPE in 14
Klärschlammkomposten
und in sechs Böden
(in µg/kg Trockenmasse).

	Summe BDE (6) ⁹	BDE-209 * (Decabrom- diphenyl- ether)	DBDPE (Decabrom- diphenyl- ethan)	Dechloran Plus (anti- und syn- DP) ¹⁰
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]				
14 Komposte	2,1–16 (6,8)	14–270 (71)	11–1.300 (246)	1,5–31 (5,5)
2 beaufschlagte Böden	0,22 und 0,85	0,62 und 7,2	4,8 und 5,1	0,045 u. 0,35
4 Referenzböden	0,01–0,09 (0,034)	n.n.–16 (5,41)	n.n.–5,8 (3,8)	n.n.–0,21 (0,09)

* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für die Summe PDE (6) zwischen 0,0009 und 0,001 µg/kg TM (Bestimmungsgrenzen zwischen 0,0018 und 0,002 µg/kg TM), für BDE-209 zwischen 0,08 und 2,8 µg/kg TM (Bestimmungsgrenzen zwischen 0,16 und 5,6 µg/kg TM) und für DBDPE zwischen 0,2 und 15 µg/kg TM (Bestimmungsgrenzen zwischen 0,3 und 31 µg/kg TM) und für Dechloran Plus 0,01 µg/kg TM (BG: 0,02 µg/kg TM)

Abkürzungen: BDE-209: Decabromdiphenylether; DBDPE: Decabromdiphenylethan; DP: Dechloran Plus; TM: Trockenmasse.

⁹ Summe von BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154

¹⁰ Dechloran Plus: Summe von anti-DP und syn-DP

Klärschlammkompost In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Untersuchungen in den Klärschlammkomposten angeführt; diese reichen für die PBDE (6) von 2,1 bis 16 µg/kg TM, für BDE-209 von 14 bis 270 µg/kg TM und für DBDPE von 11 bis 1.300 µg/kg TM, wobei die höchsten Gehalte jeweils im KSK-12-NÖ-3441 (PBDE (6)), KSK-04-NÖ-3851 (BDE-209) und im KSK-10-V-6830 (DBDPE) liegen (Anhang, Tabelle 43).

Boden Sowohl BDE-209 als auch die Summe PBDE (6) konnte in allen Böden nachgewiesen werden mit dem jeweiligen Höchstwert von 16 µg/kg TM (KSK-BR-NÖ-3441) und 0,85 µg/kg TM (KSK-B-NÖ-3851) (Tabelle 16; Anhang Tabelle 43). DBDPE konnte an fünf der sechs Bodenproben nachgewiesen werden, der Höchstwert lag am Standort KSK-BR-NÖ-2473 (Referenzboden) mit 5,8 µg/kg TM vor.

Vergleich Kompost – Boden Die Untersuchungsergebnisse an den zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorten NÖ-03 und NÖ-04 finden sich in Tabelle 17.

Tabelle 17:
Ausgewählte Ergebnisse zu bromierten Flammschutzmitteln in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Summe PBDE (28, 47, 99, 100, 153, 154)*	BDE 209*	DBDPE	Summe DP
Standort NÖ-03					
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	7,6	30	69	2,9
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	0,22	0,62	5,1	0,045
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	0,03	<0,16	5,8	n.n.
Standort NÖ-04					
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	16	150	630	31
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	0,85	7,2	4,8	0,35
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	0,014	0,18	n.n.	n.n.

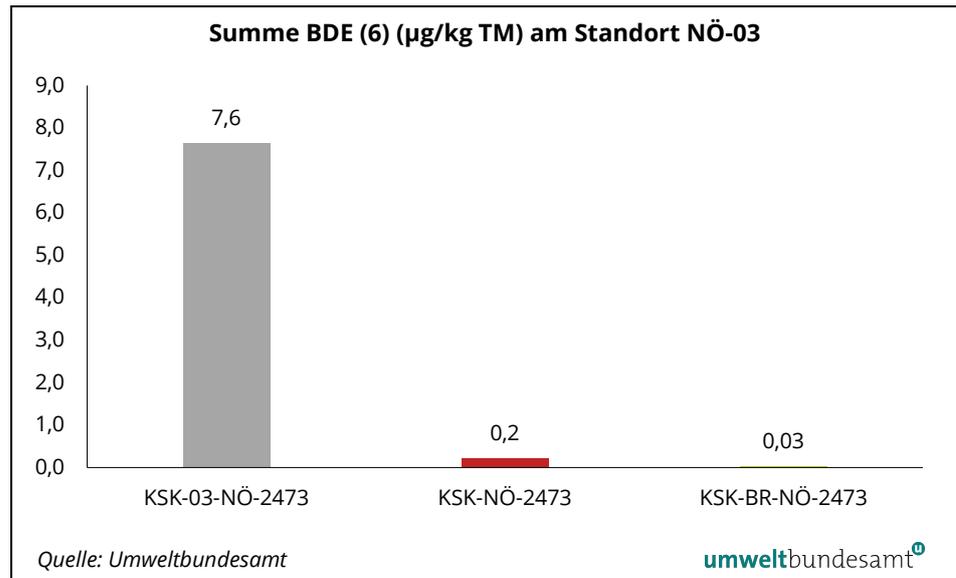
* In der Stockholm-Konvention gelistete POPs.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen je nach Probe bei den Einzelsubstanzen für die Summe BDE(6) zwischen 0,0009 und 0,001 µg/kg TM (Bestimmungsgrenzen zwischen 0,0018 und 0,002 µg/kg TM), für BDE-209 zwischen 0,08 und 2,8 µg/kg TM (BG zwischen 0,16 und 5,6 µg/kg TM) und für DBDPE zwischen 0,2 und 15 µg/kg TM (BG zwischen 0,3 und 31 µg/kg TM) und für Dechloran Plus bei 0,01 µg/kg TM (BG: 0,02 µg/kg TM).

Abkürzungen: BDE 209: Decabromdiphenylether; DBDPE: Decabromdiphenylethan; DP: Dechloran Plus; TM: Trockenmasse.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03 Die Verteilung der Summe der BDE (6)-Gehalte am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 11 dargestellt. Der BDE (6)-Gehalt im Klärschlammkompost lag um ein Vielfaches über dem Gehalt des beaufschlagten Bodens. Im Referenzboden lag der BDE (6)-Gehalt bei ca. 10 % des beaufschlagten Bodens.

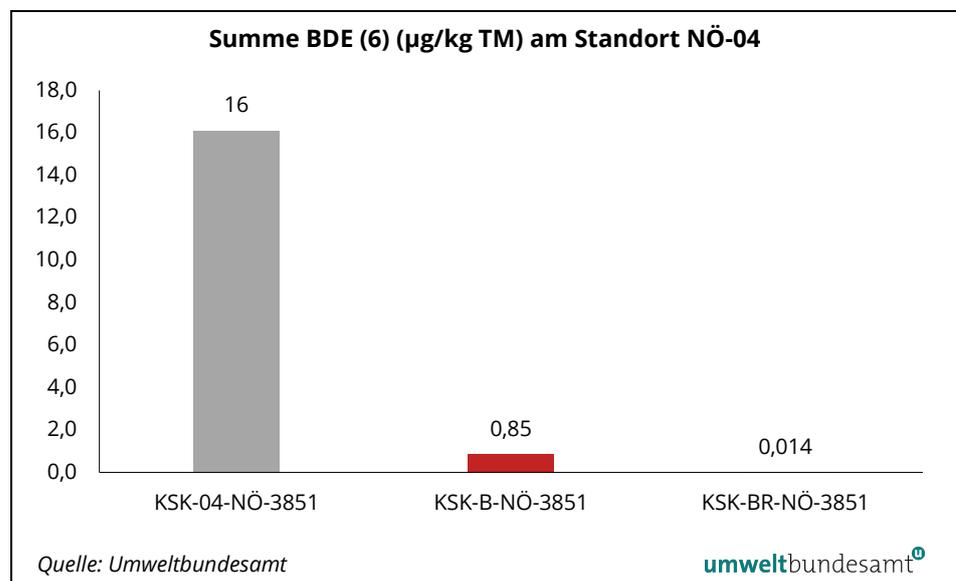
Abbildung 11:
Summe BDE (6) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der Summe der BDE (6)-Gehalte am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 12 dargestellt. Der BDE (6)-Gehalt im Klärschlammkompost lag um ein Vielfaches über dem Gehalt des beaufschlagten Bodens. Im Referenzboden lag der BDE (6)-Gehalt unter 2 % des beaufschlagten Bodens.

Abbildung 12:
Summe BDE (6) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).



Bei der Summe der sechs PBDE konnte festgestellt werden, dass in den mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden verglichen mit den Referenzböden erhöhte Werte vorlagen (siehe Tabelle 16 und Tabelle 17). DecaBDE (BDE-209), welches laut Stockholm-Konvention seit 2017 verboten ist (jedoch mit Ausnahmen), zeigt ähnliche Tendenzen, jedoch lagen in den Referenzböden vom Standort NÖ-12 (KSK-BR-NÖ-3441) die höchsten Bodengehalte vor, die auf andere Eintragsquellen schließen lassen (Tabelle 16 und im Anhang Tabelle 43).

DBDPE (Ersatzprodukt für BDE-209) lag in relativ hohen Gehalten auch in den Referenzböden vor und konnte am Standort NÖ-03 nicht mit der Klärschlammkompostgabe in Verbindung gebracht werden, am Standort NÖ-04, wo der Gesamtgehalt in KSK-04 bei 630 µg/kg TM liegt (Tabelle 17) jedoch schon. Der Klärschlammkompost mit den höchsten Gehalten an DBDPE, von welchem jedoch kein beaufschlagter Boden untersucht wurde, zeigte einen Wert von 1.300 µg/kg TM (KSK-10-V-6830; Tabelle 43).

Dechloran Plus lag am Standort NÖ-03 im Klärschlammkompost mit 2,9 µg/kg TM vor, im beaufschlagten Boden mit 0,045 µg/kg TM und konnte im Referenzboden ebenso nicht nachgewiesen werden wie am Standort NÖ-04, wo der Gesamtgehalt in KSK-04 bei 31 µg/kg TM lag und im beaufschlagten Boden bei 0,35 µg/kg TM (Tabelle 17).

**Vergleich mit der
Literatur**

In einer Vorarlberger Studie (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016) wurden Werte für die Summe der PBDE in Klärschlammkompost zwischen 10 und 25 µg/kg TM angegeben, wobei die 10 µg/kg TM in gegenständlicher Untersuchung von zwei Klärschlammkomposten überschritten wurden, mit einem Maximalwert von 16,1 µg/kg TM. Die PBDE-Gehalte im Boden lagen bei der Vorarlberger Studie zwischen 0,14 und 0,99 µg/kg TM – einem ähnlichen Bereich wie in gegenständlicher Untersuchung. In der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) betreffend Komposte und Digestate wurden PBDE mit keiner besorgniserregenden Eigenschaft bewertet.

**Beurteilung der
Ergebnisse**

Für bromierte Flammschutzmittel (PBDE, DBDPE) gibt es österreichweit aktuell keine Grenz- oder Richtwerte für Boden oder Klärschlammkompost. Ebenso liegen keine Grenz- oder Richtwerte für Dechloran vor.

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigen sich keine Auffälligkeiten.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte deutlich, dass bestimmte PBDE in vergleichsweise hohen Konzentrationen in den Komposten nachzuweisen waren und dies sich auch auf den beaufschlagten Böden widerspiegelte, wenn auch in deutlich geringeren Konzentrationen. In den untersuchten Referenzböden konnten hingegen die betrachteten PBDE nicht oder nur in Spuren detektiert werden. Ebenso konnte DP in den Komposten in relativ hohen Konzentrationen nachgewiesen werden und in geringeren Konzentrationen in den beaufschlagten Böden, nicht jedoch in den Referenzböden.
- Eine Ausnahme stellt das DBDPE dar, wo die höchsten Gehalte in den Referenzböden zu finden waren, was auf andere Eintragsquellen schließen lässt.
- PBDE sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindungen, wobei anzunehmen ist, dass diese in den meisten Klärschlammkomposten nachzuweisen sind, auch in jenen von kleineren, ländlichen Kläranlagen mit gering industriellem Anteil. Außerdem werden in Kompostanlagen in vielen

Fällen Klärschlämme verschiedener Herkunft vermischt, und damit sind die genauen PBDE-Quellen nicht ermittelbar. **Detaillierte Untersuchungen dazu fehlen, die jedoch zur genauen Abklärung notwendig wären.**

- Die Konzentrationen der bromierten Flammschutzmittel sind zwar auf niedrigem Niveau, sie sind jedoch hoch toxisch und aufgrund der akkumulierenden Eigenschaft und der damit verbundenen Anreicherung in der Nahrungskette sollte eine weitere Verbreitung vermieden werden.
- Dechloran Plus zeigte Anreicherungspotenzial bei beaufschlagten Böden.
- Für die Beurteilung von PBDE in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** notwendig.

4.3.7 Zinnorganische Verbindungen (OZV)

Beschreibung	<p>Organozinnverbindungen sind Derivate des vierwertigen Zinns, bei denen kovalente Kohlenstoff-Zinn-Bindungen zu einer oder mehreren organischen Gruppen bestehen. Vor allem Derivate mit Methyl-, Butyl-, Octyl- und Phenylgruppen sind von technischer Bedeutung. Zinnorganische Verbindungen wurden als Stabilisatoren bei der Herstellung von Polyvinylchlorid (PVC), als Katalysatoren im Herstellungsprozess für Polyurethanschäume, Silikondichtungen und bei der Vergütung von Glasoberflächen eingesetzt. Di- und Triorganozinnverbindungen kamen auch in Pflanzenschutzmitteln und Biozidprodukten zum Einsatz. Vor allem Tributylzinnverbindungen wurden aufgrund ihrer stark bioziden Wirkung häufig in Antifouling-Anstrichen für Schiffe eingesetzt (BfR, 2011).</p> <p>Zinnorganische Verbindungen sind meist nur wenig flüchtig, adsorbieren stark an Partikel und sind praktisch unlöslich in Wasser. Diese Verbindungen sind sehr toxisch, die akute Toxizität steigt dabei von den Mono- bis zu den Triorganozinnverbindungen an. Vor allem Triorganozinnverbindungen wirken toxisch auf Säugetiere. Diese Verbindungen sind persistent, weisen ein hohes Bioakkumulationspotenzial sowie eine hohe Toxizität auf und sind endokrin schädigend (UBA, 2021b). Tributylzinnoxid (TBTO) ist als sogenannter PBT-Stoff (persistent, bioakkumulativ und toxisch) gelistet (ECHA, 2021b).</p>
SVHC-Kandidatenliste	<p>Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste gelistet. Zu diesen zählt unter anderen auch das Tributylzinnoxid (TBTO) aufgrund seiner persistenten, bioakkumulativen und toxischen (PBT) Eigenschaften (ECHA, 2021c).</p>
chemische Analyse	<p>In der aktuellen Untersuchung von Klärschlammkompost- und Bodenproben erfolgte die chemische Analyse der OZV mittels Gaschromatographie gekoppelt mit Tandemmassenspektrometrie (GC-MS/MS) in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 23161:2011.</p>
Analysenergebnisse	<p>Von den analysierten sechs zinnorganischen Verbindungen (Monobutyl- (MBT), Dibutyl- (DBT), Diphenyl- (DPT), Tetrabutyl- (TeBT), Tributyl- (TBT) und Triphenylzinn-Kation (TPT)) wurden drei (MBT, DBT und TBT) nachgewiesen. In Tabelle 18 sind die Ergebnisse der OZV in den untersuchten Klärschlammkomposten</p>

sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt (Tabelle 18). Die Ergebnisse der Untersuchung zum Vorkommen der zinnorganischen Verbindungen sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 44 und im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) zusammengefasst oder gelistet, jedoch nicht immer dargestellt.

*Tabelle 18:
Ergebnisse ausgewählter
OZV in 14 Klärschlamm-
komposten und in sechs
Böden (in µg/kg Trocken-
masse).*

Probenart	Monobutylzinn- Kation (MBT)	Dibutylzinn- Kation (DBT)	Tributylzinn- Kation (TBT)
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]			
14 Komposte	n.n.-17 (4,3)	n.n.-11 (1,7)	n.n.-1,3 (0,1)
2 beaufschlagte Böden	n.n. und <1	n.n. und <1	n.n.
Böden	n.n.	n.n.	n.n.

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit unter der analytischen Nachweisgrenze liegt. Die Nachweisgrenzen für die angegebenen Substanzen MBT, DBT und TBT liegen bei 0,5 µg/kg TM (Bestimmungsgrenze BG 1 µg/kg TM). Jene, die mit „<“ angegeben werden, liegen unter der Bestimmungsgrenze (<BG). Die der Tabelle zugrunde liegenden Einzeldaten sind im Anhang in Tabelle 45 angeführt.

Abkürzungen: n.n.: nicht nachweisbar.

Klärschlammkompost

Von den sechs Kongeneren der Organozinnverbindungen wurde Monobutylzinn (MBT) in 13 und Dibutylzinn (DBT) in neun der Klärschlammkompostproben nachgewiesen, Tributylzinn (TBT) hingegen nur in einem Klärschlammkompost. Der Maximalwert für MBT liegt bei 17 µg/kg TM für DBT bei 11 µg/kg TM und für TBT bei 1,3 µg/kg TM (Tabelle 18 und im Anhang Tabelle 44).

Böden

Von den sechs untersuchten OZV konnten keine in den Böden in quantifizierbaren Mengen (>BG) bestimmt werden. Lediglich am beaufschlagten Standort B-NÖ-04 wurden Monobutylzinn und Dibutylzinn in Spuren (<BG) nachgewiesen. Dies sind auch die Substanzen, die im Klärschlammkompost in erhöhten Konzentrationen vorlagen (Tabelle 18 und im Anhang Tabelle 44).

**Vergleich
Kompost – Böden**

An zwei niederösterreichischen Standorten wurde der entsprechende Klärschlammkompost, der beaufschlagte Boden sowie ein Referenzboden, der nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurde, untersucht und miteinander verglichen. Die Ergebnisse für ausgewählte OZV sind in Tabelle 19 angeführt.

Tabelle 19:
Ausgewählte Ergebnisse
zu den OZV in
Klärschlammkompost,
Boden und Referenzbo-
den an zwei niederöster-
reichischen Standorten
(NÖ-03 und NÖ-04)
(in µg/kg Trockenmasse).

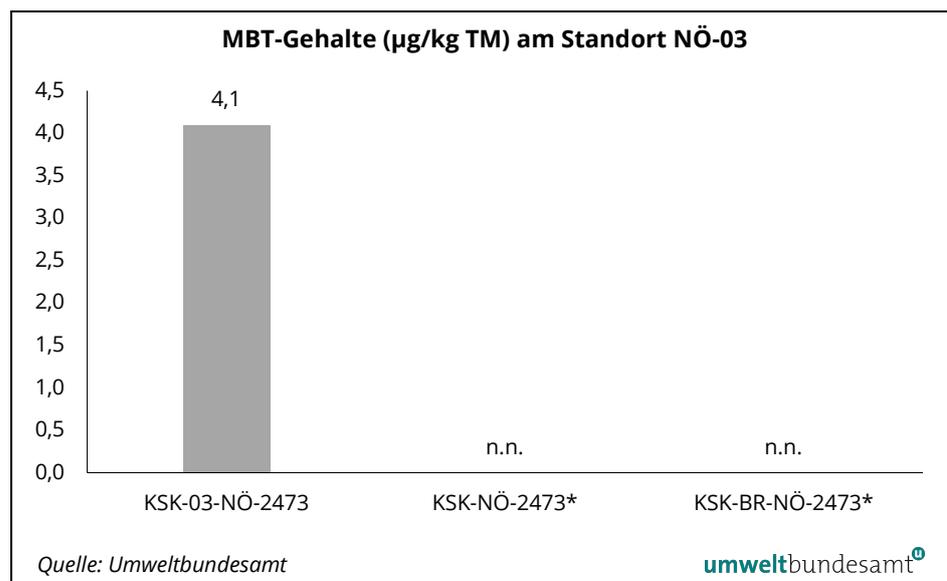
Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Monobutyl- zinn-Kation (MBT)	Dibutyl- zinn-Kation (DBT)	Tributylzinn- Kation (TBT)
Standort NÖ-03				
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	4,1	<1	n.n.
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	n.n.	n.n.	n.n.
Referenzbo- den	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.	n.n.	n.n.
Standort NÖ-04				
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	6,6	2,4	n.n.
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	<1	<1	n.n.
Referenzbo- den	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	<1	<1	n.n.

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit unter der analytischen Nachweisgrenze liegt. Die Nachweisgrenzen für die angegebenen Substanzen MBT, DBT und TBT liegen bei 0,5 µg/kg TM (Bestimmungsgrenze BG 1µg/kg TM). Die Werte, die mit „<“ angegeben werden, liegen unter der Bestimmungsgrenze (<BG).

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der MBT-Gehalte am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 13 dargestellt. Nur im Klärschlammkompost konnte MBT quantifiziert werden. Im beaufschlagten Boden sowie im Referenzboden konnte MBT nicht nachgewiesen werden.

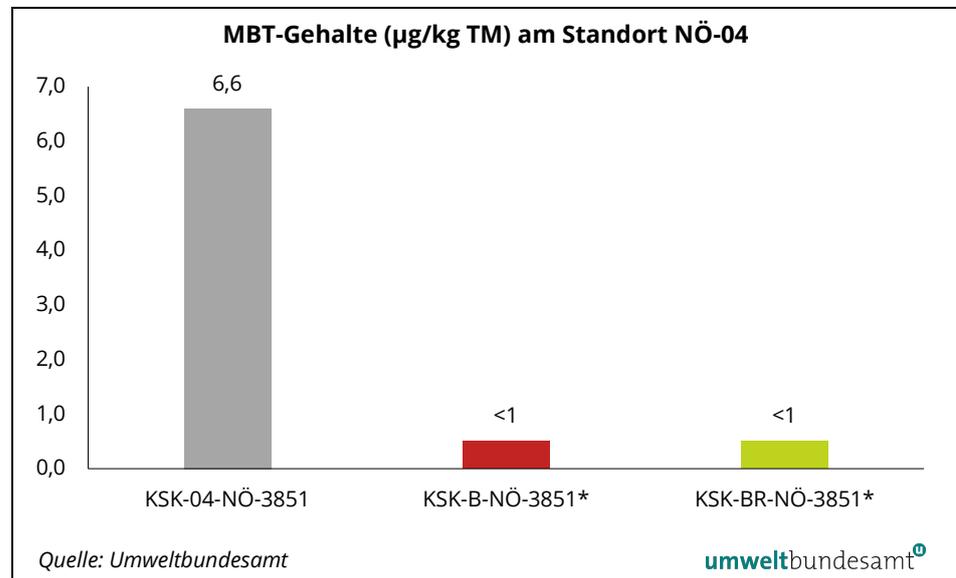
Abbildung 13:
MBT-Gehalte (µg/kg TM)
am Standort NÖ-03 in
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagtem
Boden (rot) und Referenzboden (grün).
*Werte liegen unter der
Nachweisgrenze von
0,5 µg/kg TM.



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der MBT-Gehalte am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 14 dargestellt. Nur im Klärschlammkompost konnte MBT bestimmt werden. Im beaufschlagten Bodens sowie im Referenzboden lagen die MBT-Gehalte unter der Bestimmungsgrenze.

Abbildung 14: MBT-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün). *Werte liegen unter der Bestimmungsgrenze von $1 \mu\text{g}/\text{kg TM}$.



Vergleich mit der Literatur

In einer Untersuchung von Klärschlammkompost in Vorarlberg (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016), wurden durch das Labor des Umweltbundesamtes für DBT 15–22 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$, und für TBT 1,8–2,4 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ festgestellt. Für das MBT liegen keine Vergleichswerte vor. In den beaufschlagten Bodenproben konnte nur DBT mit bis zu 1,2 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ bestimmt werden. Die OZV-Gehalte der gegenständlichen Untersuchung lagen sowohl in Klärschlammkomposten als auch in den Bodenproben unter jenen der Vorarlberger Studie.

Beurteilung der Ergebnisse

Für OZV gibt es aktuell keine Grenz- oder Richtwerte für Boden oder Klärschlammkompost. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnte festgestellt werden, dass nur in den Klärschlammkomposten OZV in höheren Gehalten nachzuweisen waren.
- In den Bodenproben (beaufschlagte und Referenzböden) konnten keine OZV über der Bestimmungsgrenze analysiert werden.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigen sich für die unterschiedlichen OZV, dass die Gehalte etwas niedriger vorlagen. Somit konnten basierend auf der herangezogenen Literatur keine Auffälligkeiten identifiziert werden.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an den untersuchten zwei Standorten zeigten keinen Zusammenhang mit der Beaufschlagung.

4.3.8 Nonylphenol und seine Ethoxylate (4-NP, NP1EO, NP2EO)

Beschreibung	4-Nonylphenol (4-NP) ist Ausgangsprodukt für die Herstellung nichtionischer Tenside, Kunstharze und -lacke sowie für Nonylphenoethoxylate (NPEO). Es wird weiters als Bohr-, Flotations-, Netz- und Verlaufsmittel verwendet und als Additiv zu Schmierölen und Weichmachern eingesetzt. 4-NP ist endokrin schädigend und wurde daher in die erste Beobachtungsliste der Trinkwasserrichtlinie aufgenommen, die am 12. Januar 2022 erlassen wurde (EC 2020/2184). NPEO wurden bei der Herstellung von Textilien eingesetzt und in weiterer Folge bei Waschvorgängen in die Umwelt freigesetzt. Mittlerweile (seit 3. Februar 2021) gibt es ein Verbot für die Anwendung im Textilbereich entsprechend REACH Anhang XVII (ECHA, 2021a). Nonylphenoethoxylate sind endokrin wirksam (siehe Tabelle 31) (ECHA, 2021b). Sie werden letztlich wieder zu 4-NP abgebaut (ECHA, 2014).
SVHC-Kandidatenliste	Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste gelistet. Zu diesen zählen auch 4-Nonylphenol (4-NP) und Nonylphenoethoxylate. Diese Substanzen sind aufgrund ihrer endokrin schädigenden Eigenschaften in der Kandidatenliste angeführt (ECHA, 2021c).
chemische Analyse	Im Rahmen der aktuellen Untersuchung erfolgte die chemische Analyse von 4-NP mittels Non-Target-Analytik (NTA) in 14 Klärschlammkompost- und sechs Bodenproben. Die Nonylphenoethoxylate (NP1EO und NP2EO) wurden mittels Massenspektrometrie (GC-MS) in Anlehnung an ONR CEN/TS 16182:2012 analysiert.
Analysenergebnisse	In Tabelle 20 sind die Ergebnisse von NP1EO und NP2EO in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (siehe Kap. 4.1 und Kap. 4.2) an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten gegenübergestellt. 4-Nonylphenol wurde nicht spezifisch analysiert, konnte jedoch mittels Non-Target-Analytik in keinem Klärschlammkompost und keinem Boden nachgewiesen werden, wofür möglicherweise Matrixeffekte verantwortlich waren. Nähere Erläuterungen siehe Kapitel 12.14.2 im Anhang. Die untersuchten Substanzen sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind zusammen mit den Messergebnissen im Anhang in Tabelle 45 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) gelistet.

Tabelle 20:
Ergebnisse von
Nonylphenoethoxylaten
in 14 Klärschlammkom-
posten und in sechs
Böden (in µg/kg Trocken-
masse).

Probenart	NP1EO	NP2EO
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]		
14 Komposte	n.n.–330 (40)	n.n.–35 (5,8)
2 beaufschlagte Böden	n.n.	n.n.
4 Referenzböden	n.n.–3,3 (1,0)	n.n.–9,8 (4,6)

Erläuterungen: Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen für NP1EO im Klärschlammkompost bei 4 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen bei 8 µg/kg TM; in den Bodenproben lag die NG je nach Probe zwischen 0,8 und 1,1 µg/kg TM und die BG zwischen 1,6 und 2,2 µg/kg TM. Für NP2EO lagen die NG im Klärschlammkompost bei 2 µg/kg TM und die BG bei 4 µg/kg TM; in den Bodenproben lag die NG je nach Probe zwischen 1 und 2,8 µg/kg TM und die BG bei 2 bis 5,5 µg/kg TM.

Abkürzungen: NP1EO: Nonylphenol-1-Ethoxylat, NP2EO: Nonylphenol-2-Ethoxylat; TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost

Nonylphenoethoxylate fanden sich in fünf Klärschlammkompostproben über der Bestimmungsgrenze (auch in den Klärschlammkomposten der beiden näher betrachteten niederösterreichischen Standorte NÖ-03 und NÖ-04). Der höchste Gehalt von NP1EO lag mit 330 µg/kg TM und von NP2EO mit 35 µg/kg TM im KSK-13-K-9131 vor (Anhang Tabelle 45 und (UMWELTBUNDESAMT, 2020d). 4-NP konnte in keinem Klärschlammkompost mittels Non-Target Analytik nachgewiesen werden (siehe Kap. 12.14.2).

Boden

NP1EO wurde in drei Referenzböden, NP2EO in zwei Referenzböden nachgewiesen. Die beaufschlagten Böden zeigten keine NPEO-Gehalte (Anhang Tabelle 45 und (UMWELTBUNDESAMT, 2020d). Der höchste Gehalt von NP1EO lag im Referenzboden KSK-B-NÖ-3441 vor, von NP2EO im Referenzboden KSK-BR-NÖ-3441 (Anhang Tabelle 44). 4-NP wurde in keinem Boden mittels NTA nachgewiesen (siehe Kap. 12.14.2).

Vergleich Kompost – Boden

An zwei niederösterreichischen Standorten wurde der entsprechende Klärschlammkompost, der beaufschlagte Boden sowie ein Referenzboden, der nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurde, untersucht und miteinander verglichen. Die Ergebnisse für NP1EO und NP2EO sind in Tabelle 21 angeführt.

Tabelle 21:
Ergebnisse zu den NPEO
in Klärschlammkompost,
Boden und Referenzböden
an zwei niederöster-
reichischen Standorten
(NÖ-03 und NÖ-04) (in
µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Nonylphenol-1- Ethoxylat (NP1EO)	Nonylphenol-2- Ethoxylat (NP2EO)
Standort NÖ-03			
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	69	16
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	n.n.	n.n.
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.	n.n.

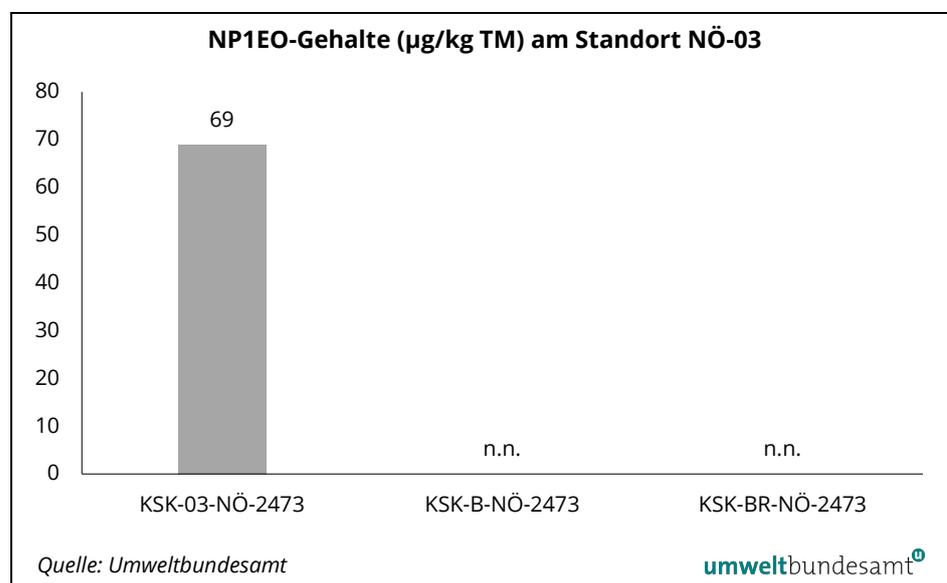
Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Nonylphenol-1- Ethoxylat (NP1EO)	Nonylphenol-2- Ethoxylat (NP2EO)
Standort NÖ-04			
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	35	7,5
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	n.n.	n.n.
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	<1,6	n.n.

Erläuterungen: Mit "n.n." (nicht nachweisbar) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar war und damit unter der analytischen Nachweisgrenze liegen. Die Nachweisgrenzen lagen für NP1EO im Klärschlammkompost bei 4 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen bei 8 µg/kg TM; in den Bodenproben lag die NG je nach Probe zwischen 0,8 und 1,1 µg/kg TM und die BG zwischen 1,6 und 2,2 µg/kg TM. Für NP2EO lagen die NG im Klärschlammkompost bei 2 µg/kg TM und die BG bei 4 µg/kg TM; in den Bodenproben lag die NG je nach Probe zwischen 1 und 2,8 µg/kg TM und die BG bei 2 bis 5,5 µg/kg TM.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der NP1EO-Gehalte am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 15 dargestellt. Nur im Klärschlammkompost konnte NP1EO quantifiziert werden. Im beaufschlagten Boden sowie im Referenzboden konnte NP1EO nicht nachgewiesen werden.

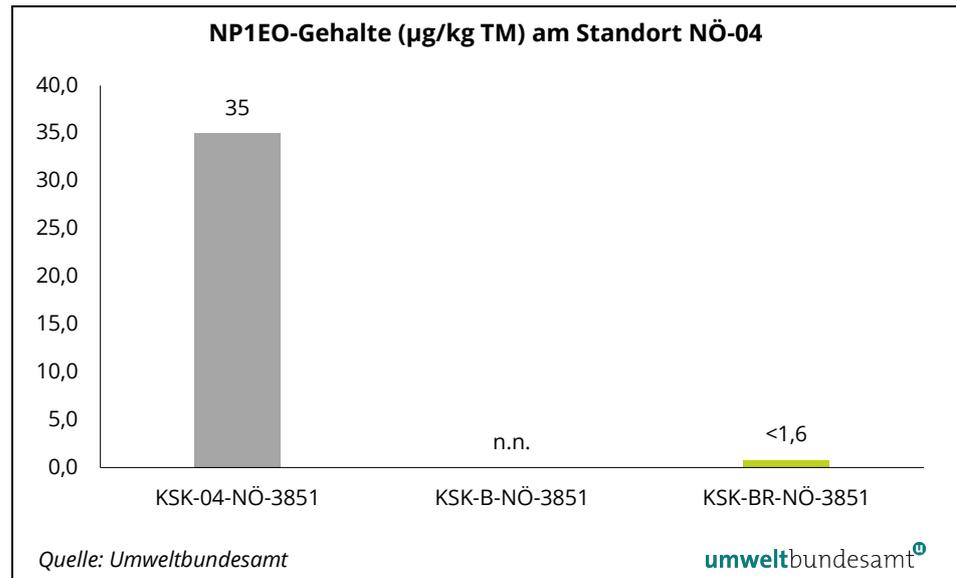
Abbildung 15: NP1EO-Gehalte (µg/kg TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün). *Werte liegen unter der jeweiligen Nachweisgrenze von 0,9 µg/kg TM (KSK-B-NÖ-2473) und 0,8 µg/kg TM (KSK-BR-NÖ-2473).



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der NP1EO-Gehalte am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 16 dargestellt. Im Klärschlammkompost konnte NP1EO quantifiziert werden. Im beaufschlagten Boden konnte NP1EO nicht nachgewiesen werden, sehr wohl jedoch in Spuren im Referenzboden.

Abbildung 16:
NP1EO-Gehalte
($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort
NÖ-04 in Klärschlamm-
kompost (grau), beauf-
schlagtem Boden (rot)
und Referenzboden
(grün). *Werte liegen un-
ter der Nachweisgrenze
von $1,1 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ (KSK-B-
NÖ-3851) und unter der
Bestimmungsgrenze von
 $1,6 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ (KSK-BR-
NÖ3851).



Vergleich mit der Literatur

In einer Vorarlberger Studie (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016) wurden Werte für die NP1EO in Klärschlammkompost zwischen 16 und $86 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ angegeben, wobei das Maximum der gegenständlicher Untersuchung im KSK-13-K-9131 mit $330 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ (Tabelle 45 im Anhang) jenes von Vorarlberg um das ca. Vierfache überschritten hat. Für NP2EO ist die Situation ähnlich, hier wurde das Maximum von Vorarlberg um das ca. Neunfache überschritten. Die NP1EO-Gehalte in den Referenzböden lagen bei der Vorarlberger Studie zwischen $2,1$ und $9,2 \mu\text{g}/\text{kg TM}$, die in gegenständlicher Untersuchung unter der NG bzw. BG. Die beaufschlagten Böden zeigten in Vorarlberg NP1EO-Gehalte zwischen $2,2$ und $7,6 \mu\text{g}/\text{kg TM}$, wogegen in aktueller Studie keine Nachweise möglich waren. In der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) betreffend Komposte und Digestate wurden 4-NP und NPEO aufgrund der kumulativen Eigenschaften als prioritäre Substanzen klassifiziert, wofür eine Grenzwertfestlegung empfohlen wurde.

Beurteilung der Ergebnisse

Für 4-NP und NPEO gibt es aktuell keine Grenzwerte für Boden oder Klärschlammkompost. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- NPEO wurde in Klärschlammkompost und Böden nachgewiesen, jedoch nicht in allen.
- Die Variationsbreite von NPEO in Klärschlammkompost ist sehr hoch. Es gibt bestimmte Klärschlammkomposte, die sehr hohe Gehalte aufweisen, dies läßt spezifische Eintragsquellen vermuten.
- Die Nachweise in Referenzböden lassen darauf schließen, dass andere Eintragsquellen als das Aufbringen von Klärschlammkompost die Ursache waren.
- Bei den untersuchten Böden kann kein Zusammenhang zwischen dem Aufbringen von Klärschlammkompost und den Gehalten in den Böden hergestellt werden.

- Die Maximalgehalte von NPEO in bestimmten Klärschlammkomposten liegen im Vergleich mit ausgewählten Literaturdaten weit darüber.
- NP und NPEO sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindungen, deren Herkunft im Klärschlammkompost aufgrund des Zusammenmischens verschiedener Klärschlämme nicht geklärt ist. Detaillierte Untersuchungen dazu, die zur genauen Abklärung notwendig wären, fehlen.
- Für die Beurteilung von NPEO und auch 4-NP in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** empfehlenswert.

4.3.9 Bisphenol A (BPA)

Beschreibung	Bisphenol A (BPA) ist Bestandteil vieler Gegenstände des täglichen Gebrauchs und Ausgangsprodukt für Polycarbonate und Epoxidharze. Es findet seinen Einsatz beispielsweise bei der Produktion von CDs und DVDs, Zahnmaterial, Kosmetika, Lebensmittelverpackungen und Beschichtungen (UMWELTBUNDESAMT, 2015). Einer Studie des deutschen Umweltbundesamtes zufolge sind die Einträge in die Umwelt am größten bei der Herstellung von BPA, Epoxidharz und von Thermopapier sowie dessen Recycling (UBA, 2014).
SVHC-Kandidatenliste	Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste gelistet. BPA ist aufgrund seiner reproduktionstoxischen, hautreizenden und endokrin schädigenden Eigenschaften als besonders besorgniserregende Substanz (SVHC) gelistet (ECHA, 2021a).
chemische Analyse	Bisphenol A wurde mittels der Multikomponenten-Analytik (vgl. 12.14.1) bzw. GC-Multimethode in Anlehnung an die Vorgaben der EPA 8270 sowohl im Klärschlammkompost als auch im Boden analysiert.
Analysenergebnisse	In Tabelle 22 sind die Ergebnisse von BPA in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt (Tabelle 23). Die BPA-Ergebnisse und die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 46 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) gelistet.

Tabelle 22:
Ergebnisse von BPA in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	BPA
	Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]
14 Komposte	n.n.-600 (98)
2 beaufschlagte Böden	n.n.
4 Referenzböden	n.n.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen für BPA bei 25 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen bei 50 µg/kg TM.
Abkürzungen: BPA: Bisphenol A; TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost

BPA wurde in fünf von 14 Klärschlammkomposten nachgewiesen. In Tabelle 23 sind die nachgewiesenen BPA-Gehalte in den untersuchten Klärschlammkomposten dargestellt und reichen von n.n. bis 600 µg/kg TM, wobei der höchste Gehalt im KSK-04-NÖ-3851 lag (Tabelle 46 im Anhang).

Boden

BPA wurde in keiner der untersuchten Bodenproben mittels der GC-Multi-komponenten-Analytik bei einer Nachweisgrenze von 25 µg/kg TM bzw. Bestimmungsgrenze von 50 µg/kg TM detektiert.

Vergleich Kompost – Boden

Die Untersuchungsergebnisse an den zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorten NÖ-03 und NÖ-04 finden sich in Tabelle 23.

Tabelle 23:
Ergebnisse zu Bisphenol A (BPA) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	BPA (µg/kg TM)
Standort NÖ-03		
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	n.n.
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	n.n.
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.
Standort NÖ-04		
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	600
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	n.n.
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	n.n.

Nachweisgrenzen: Die Nachweisgrenzen lagen für BPA bei 25 µg/kg TM und die Bestimmungsgrenzen bei 50 µg/kg TM.
Abkürzungen: BPA: Bisphenol A; n.n.: nicht nachweisbar; TM: Trockenmasse.

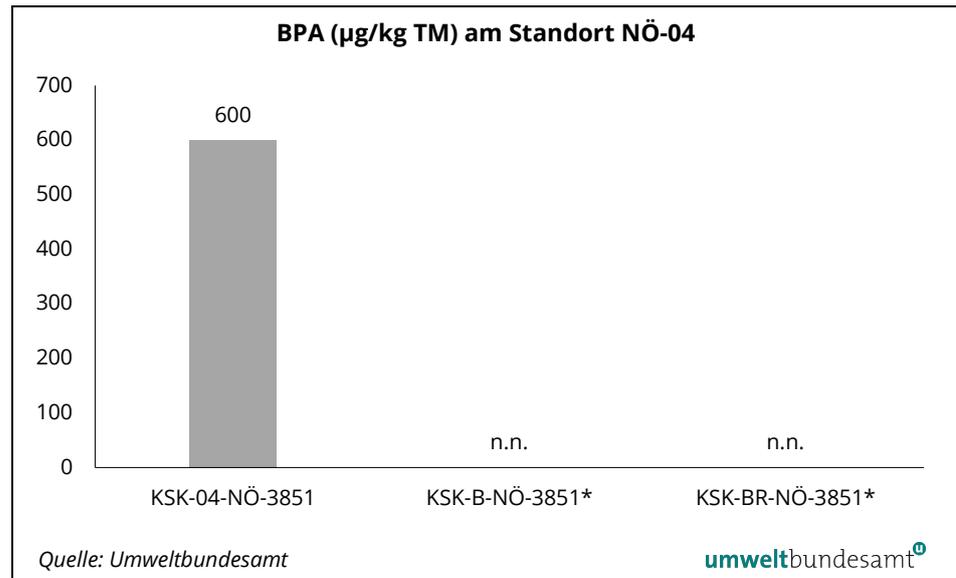
Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der BPA-Gehalte am Standort NÖ-03 wird nicht dargestellt, da keine Nachweise erfolgten.

Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der BPA-Gehalte am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 17 dargestellt. Der BPA-Gehalt im Klärschlammkompost wies den höchsten Wert der untersuchten Klärschlammkomposte auf und lag bei 600 µg/kg TM. Sowohl im beaufschlagten Boden als auch im Referenzboden wurde BPA nicht nachgewiesen (NG: 25 µg/kg TM; BG 50 µg/kg TM).

Abbildung 17:
BPA ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden (* unter der Nachweisgrenze von $25 \mu\text{g}/\text{kg TM}$).



Vergleich mit der Literatur

In einer Vorarlberger Studie (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016), 2016) wurden vom Labor des Umweltbundesamtes Werte für BPA in Klärschlammkompost zwischen 24 und $210 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ angegeben, wobei das Maximum der gegenständlicher Untersuchung im KSK-04-NÖ-3851 mit $600 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ (Abbildung 17; Tabelle 23) jenes von Vorarlberg um das ca. Dreifache überschritt. Die BPA-Gehalte in den Referenzböden und beaufschlagten Böden lagen bei der Vorarlberger Studie zwischen n.n. und $4,0 \mu\text{g}/\text{kg TM}$, die in gegenständlicher Untersuchung unter der NG von $25 \mu\text{g}/\text{kg TM}$. In einer älteren Vorarlberger Studie aus dem Jahr 2005 wurden BPA-Gehalte von bis zu $1.800 \mu\text{g}/\text{kg}$ in den jeweiligen untersuchten Klärschlammkomposten bestimmt (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2005). Die im Rahmen der aktuellen Untersuchung nachgewiesenen BPA-Konzentrationen von max. $600 \mu\text{g}/\text{kg TM}$ lagen hier im Vergleich deutlich darunter. In der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) betreffend Komposte und Digestate wurde BPA als nicht prioritäre Substanz für Risikomanagement klassifiziert.

Beurteilung der Ergebnisse

Bundesweit festgesetzte Grenzwerte für BPA in Böden bzw. in Klärschlammkompost existieren aktuell nicht. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnte identifiziert werden, dass in einzelnen Klärschlammkompostproben der Gehalt von BPA im Vergleich zu anderen Proben sehr hoch sein kann.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigen die Maximalwerte ein heterogenes Bild. Sie liegen im Vergleich zu früheren Untersuchungen etwas niedriger, verglichen mit einer aktuellen Studie etwas höher.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte, dass BPA bei hoher Nachweisgrenze nicht identifiziert werden konnte und dadurch auch keine Unterscheidung dieser Böden möglich war.

- BPA ist eine ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindung, deren Herkunft in den Klärschlammkomposten nicht geklärt ist. Detaillierte Untersuchungen dazu, die zur genauen Abklärung notwendig wären, fehlen.
- Für die Beurteilung von BPA in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** bzw. Richtwerten erforderlich.

4.3.10 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Beschreibung Zur Stoffgruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gehören über 100 Einzelverbindungen unterschiedlicher Flüchtigkeit, die aus zwei oder mehr miteinander verbundenen aromatischen Ringen bestehen. PAK entstehen vor allem bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material (Holz, Kohle, Benzin, Öl, Tabak, Abfälle) und Lebensmitteln sowie während unterschiedlicher industrieller Prozesse (EFSA, 2008). Viele PAK besitzen krebserregende, erbgutverändernde und/oder fortpflanzungsgefährdende Eigenschaften, einige PAKs sind gleichzeitig persistent, bioakkumulierend und toxisch für Menschen und andere Organismen (ECHA, 2021b). In die Umwelt gelangen PAK hauptsächlich durch anthropogene Aktivitäten. In Umweltproben werden meist 16 PAK-Verbindungen, die sogenannten EPA-PAK nach einem Vorschlag der U.S.-amerikanischen Umweltbehörde untersucht, die besonders toxisch, kanzerogen und gentoxisch sind (AGES, 2021). Das wichtigste PAK stellt Benzo[a]pyren B[a]P dar, welches als krebserregend, erbgutverändernd und reproduktionstoxisch eingestuft ist. Etliche weitere PAK sind vom Scientific Committee on Food der Europäischen Kommission und dem Joint Expert Committee on Food Additives als krebserregend und erbgutverändernd bewertet worden (AGES, 2021). Dazu zählen unter anderem Benz[a]anthracen, Benzo[k]fluoranthen, Chrysen und Dibenz(a,h)anthracen (ECHA, 2021e).

SVHC-Kandidatenliste Gemäß Artikel 59 (10) der REACH-Verordnung sind besonders besorgniserregende Stoffe (substances of very high concern, SVHC) auf der sogenannten Kandidatenliste angeführt. Auf dieser Liste finden sich PAK wie z. B. Anthracen aufgrund seiner persistenten, bioakkumulativen und toxischen (PBT) Eigenschaften. Fluoranthen, Pyren, Benzo[ghi]perylene weisen zusätzlich sehr persistente und sehr bioakkumulative (very persistent very bioaccumulative, vPvB) Eigenschaften auf und Benzo[a]anthracen und Chrysen weisen zusätzlich karzinogene Eigenschaften auf. Benz[a]pyren ist aufgrund seiner PBT, vPvB und kanzerogenen, mutagenen und reproduktionstoxischen (CMR) Eigenschaften gelistet (ECHA, 2021c).

chemische Analyse Die PAK16 wurden mittels Multikomponenten-Analytik in zwölf Klärschlammkomposten und zwei Referenzböden (KSK-BR-NÖ-3441 und KSK-B-NÖ-3441) erfasst. Die Proben an den zwei niederösterreichischen Standorten, bei welchen beaufschlagte Böden (KSK-B-NÖ-2473, KSK-B-NÖ-3851), Referenzböden (KSK-BR-NÖ-2473, KSK-BR-NÖ-3851) und die entsprechenden Klärschlammkompostproben (KSK-03-NÖ-2473, KSK-04-NÖ-3851) vorlagen, wurden einer zusätzlichen Analyse mit einer sensitiveren PAK-Messmethode – mittels Gaschromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie entsprechend ÖNORM EN 15527:2008

– unterzogen, da diese gegenüber einer Multimethode niedrigere Bestimmungsgrenzen aufweist.

Analysenergebnisse

In Tabelle 24 sind die Ergebnisse von Benzo[a]pyren (B[a]P) und der Summe der 16 EPA-PAK in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt (Tabelle 25). Die Ergebnisse aller PAK sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 47 bis Tabelle 50 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) gelistet.

*Tabelle 24:
Ergebnisse von B[a]P in
zwölf Klärschlammkom-
posten und in zwei Refe-
renzböden (in µg/kg Tro-
ckenmasse) (Multikom-
ponenten-Analytik).*

Probenart	B[a]P	Summe 16 EPA-PAK
	Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]	
12 Komposte	n.n.–1.000 (114)	470–7.520 (1.700)
2 Referenzböden	n.n.	13–39 (26)

Die Nachweisgrenze für Benzo[a]pyren lag bei 0,06 µg/kg TM und für die Summe der 16 EPA-PAK lag die NG der Einzelsubstanzen zwischen 0,03 und 1,5 µg/kg TM. TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost

Hinsichtlich der PAK konnten in den zwölf auf diese Substanzgruppe mittels der Multikomponenten-Analytik untersuchten Klärschlammkompostproben die Verbindungen Phenanthren (Maximalgehalt: 300 µg/kg TM), Pyren (Maximalgehalt: 650 µg/kg TM), Fluoranthen (Maximalgehalt: 1.100 µg/kg TM), Chrysen (Maximalgehalt: 1.200 µg/kg TM), Benz[b]fluoranthen (Maximalgehalt: 1.400 µg/kg TM) sowie Benz[a]anthracen (Maximalgehalt: 1.000 µg/kg TM) in allen Klärschlammkomposten nachgewiesen werden. Benz[a]pyren fand sich in elf der zwölf untersuchten Kompostproben in Gehalten bis zu 1.000 µg/kg TM und Benz[k]fluoranthen konnte in Gehalten bis zu 500 µg/kg TM in zehn Proben nachgewiesen werden. Die weiteren detektierten PAK umfassten Benz[g,h,i]perylen (in fünf Proben, bis 360 µg/kg TM), Acenaphthen (in vier Proben, bis 54 µg/kg TM) Anthracen (in vier Proben, bis 50 µg/kg TM), Fluoren (in drei Proben, bis 55 µg/kg TM), Indeno[1,2,3-cd]pyren (in drei Proben, 480 µg/kg TM) sowie Dibenz[a,h]anthracen (in zwei Proben, bis 400 µg/kg TM). Im Anhang in der Tabelle 47 und Tabelle 48 sind die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Boden

Die Untersuchung von PAK mittels dieser Multikomponenten-Analytik erfolgte wie oben beschrieben in nur zwei der sechs Böden. Dabei konnte Fluoranthen sowie Pyren in jeweils einer und Benz[b]fluoranthen in beiden Bodenproben detektiert werden. Die nachgewiesenen Konzentrationen lagen in allen Fällen unter der BG (siehe Tabelle 24; und im Anhang in Tabelle 47).

**Vergleich
Kompost – Boden**

Die Untersuchungsergebnisse an den zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorten NÖ-03 und NÖ-04 wurden mittels der sensitiveren Gaschromatographie gekoppelt mit Massenspektrometer-Methode analysiert und finden sich in Tabelle 25.

Tabelle 25:
Ergebnisse zu den Benzo[a]pyren und Summe der 16 EPA-PAK in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

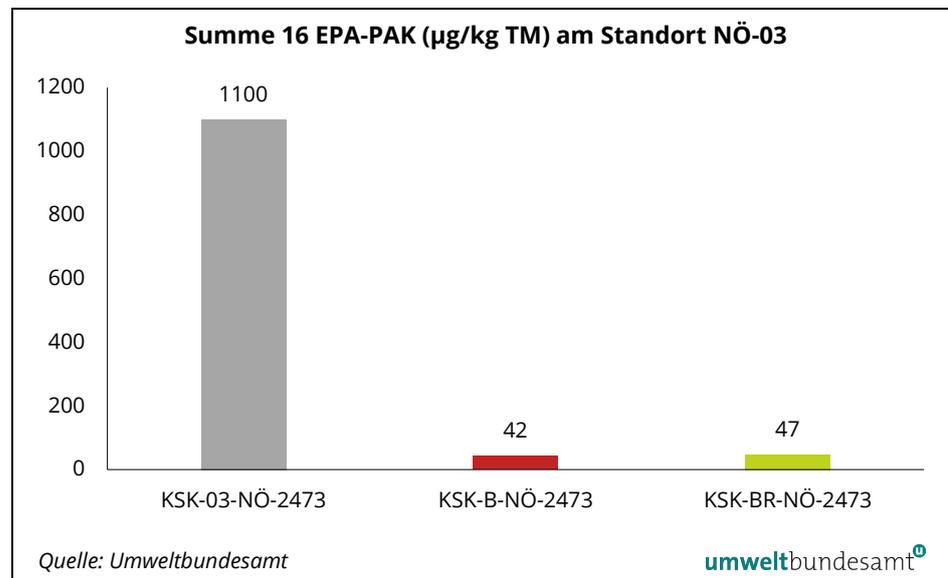
Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	B[a]P	Summe 16 EPA-PAK
Standort NÖ-03			
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	28	1.100
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	3,7	42
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	4,7	47
Standort NÖ-04			
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	38	700
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	4,4	47
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	4,3	46

Erläuterungen: Die Nachweisgrenze für Benzo[a]pyren lag bei 0,06 µg/kg TM und für die Summe der 16 EPA-PAK lag die NG der Einzelsubstanzen zwischen 0,03 und 1,5 µg/kg TM).

Beaufschlagung am Standort NÖ-03

Die Verteilung der Gehalte der Summe 16 PAK am Standort NÖ-03 ist in Abbildung 18 dargestellt. Der PAK-Gehalt im Klärschlammkompost lag um ein Vielfaches über den Gehalten sowohl im beaufschlagten Boden als auch im Referenzboden. Ein Einfluss der Klärschlammkompostbeaufschlagung konnte am Standort NÖ-03 nicht erkannt werden.

Abbildung 18:
Summe 16 EPA-PAK (µg/kg TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden (bei Nachweisgrenzen der Einzelsubstanzen zwischen 0,03 und 1,5 µg/kg TM).

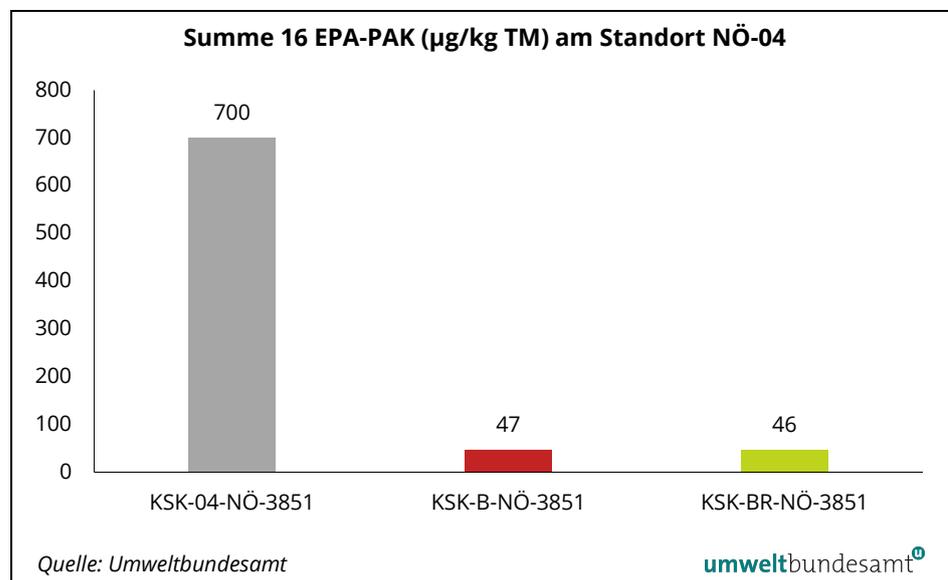


Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Die Verteilung der Gehalte der Summe 16 PAK am Standort NÖ-04 ist in Abbildung 19 dargestellt. Der PAK-Gehalt im Klärschlammkompost lag um ein Vielfaches

ches über den Gehalten sowohl im beaufschlagten Boden als auch im Referenzboden. Ein Einfluss der Klärschlammkompostbeaufschlagung konnte auch am Standort NÖ-04 nicht erkannt werden.

Abbildung 19:
Summe 16 EPA-PAK
($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort
NÖ-04 für Klärschlamm-
kompost, beaufschlagten
Boden und Referenzbo-
den (bei Nachweisgren-
zen der Einzelsubstanzen
zwischen 0,03 und
1,5 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$).



**Vergleich mit der
Literatur**

In einer Studie des Umweltinstituts des Landes Vorarlberg wurden Klärschlammkompostproben auf unterschiedliche PAK untersucht. Es fanden sich für Benz[a]pyren (max. 260 $\mu\text{g}/\text{kg}$) geringere Maximalkonzentrationen als bei der aktuellen Untersuchung. Auch für die anderen untersuchten PAK (Benz[b]fluoranthen: max. 230 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$, Benz[k]fluoranthen: max. 140 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$, Benz[g,h,i]perylen: max. 140 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ und Indeno[1,2,3-cd]pyren: max. 110 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$) zeigten sich in der Vorarlberger Untersuchung (etwas) geringere Belastungen als in der aktuellen Studie (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2005). Hinsichtlich der Summe der 16 EPA-PAK¹¹ lagen diese in den zwölf untersuchten Klärschlammkompostproben der aktuellen Studie zwischen 470 und 2.700 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$, ausgenommen in Probe KSK-05-NÖ, welche einen Gehalt der Summe der 16 EPA-PAK von 7.520 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ aufwies. In der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) betreffend Komposte und Digestate wurden PAK aufgrund der kumulativen Eigenschaften als prioritäre Substanzen klassifiziert, wofür eine Grenzwertfestlegung empfohlen wurde.

**Beurteilung der
Ergebnisse**

Für PAK in Klärschlammkomposten gibt es keine gesetzlichen Grenzwerte, jedoch findet sich in der österreichischen Kompostverordnung für PAK ein Grenzwert von 6 mg/kg TM (entspricht 6.000 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$) für Müllkompost sowie in den Landesgesetzen von Kärnten (Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung, LGBl. 74/2000) und Steiermark (Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007, LGBl. Nr. 89/2007 i.d.g.F. auch von 6 mg/kg TM (entspricht 6.000 $\mu\text{g}/\text{kg TM}$) für

¹¹ Zur Summenbildung wurden Gehalte unter der Nachweisgrenze (n.n.) mit 0 sowie Werte unter der Bestimmungsgrenze mit der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Klärschlamm und Klärschlammkompost. Diesen Grenzwert von 6.000 µg/kg TM würde der KSK-05-NÖ-3500 mit 7.520 µg/kg TM (Tabelle 47 im Anhang) überschreiten.

Die Summen der 16 EPA-PAK liegen sowohl bei klärschlammkompostbeaufschlagten als auch bei den Referenzböden bei einem Maximum von 47 µg/kg TM im unteren Bereich von Hintergrundwerten deutscher Ackerböden (Median bei Ackerböden mit 1 bis 2 % bzw. 2–4 % Humus: 105 µg/kg TM bzw. 147 µg/kg TM (LABO, 2017)). Die PAK-Summen-Gehalte zeigen somit keine Auffälligkeiten (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). Auch beim Vergleich mit der PAK Leitsubstanz Benzo[a]pyren (B[a]P) liegen die Werte dieser Studie mit einem Maximum von 4,7 µg/kg TM im mittleren Bereich jener von Hintergrundwerten deutscher Ackerböden (Median bei Ackerböden mit 1 bis 2 % bzw. 2–4 % Humus: 8,0 µg/kg TM bzw. 9,9 µg/kg TM (LABO, 2017) (siehe Tabelle 25).

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung wurde festgestellt, dass einzelne PAK in allen Proben detektiert werden konnten.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigen sich in gegenständlicher Studie für die PAK gering höhere Gehalte, jedoch unterhalb der vorliegenden Grenzwerte (mit einer Ausnahme: KSK-05-NÖ-3500 mit 7.520 µg/kg TM).
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte keinen Unterschied. Ein Einfluss der Klärschlammkompostbeaufschlagung auf den Boden konnte im Rahmen dieser Pilotstudie nicht festgestellt werden.
- Für die Beurteilung von PAK in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** notwendig.

4.3.11 Phthalate

Beschreibung

Phthalate entstehen durch Verbindungen der Phthalsäure mit verschiedenen Alkoholen. Sie werden hauptsächlich als Weichmacher in der Kunststoffindustrie eingesetzt, z. B. bei dem spröden Kunststoff Polyvinylchlorid, um elastische Eigenschaften zu erlangen. Da die Phthalate nicht stark an die Kunststoffe gebunden werden, können sie leicht in die Umwelt gelangen. Weiters werden Phthalate als Trägersubstanzen in Parfums, Deodorants, Haarsprays, Nagellacken und anderen Körperpflegeprodukten verwendet (UMWELTBUNDESAMT, 2015). Diethylhexylphthalat (DEHP) ist das am häufigsten verwendete Phthalat in Medizinprodukten (EC-SCHEER, 2020). Aufgrund der nachweislich reproduktionstoxischen und fortpflanzungsgefährdenden Eigenschaften sind einige Phthalate verboten oder nur mit spezifischen Zulassungen erlaubt.

SVHC-Kandidatenliste

Insgesamt finden sich zwölf Phthalate aufgrund ihrer reproduktionstoxischen Eigenschaften auf der Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Substanzen (SVHC). Des Weiteren sind fünf der zwölf Phthalate als endokrine Dis-

ruptoren (ED) – bezogen auf die menschliche Gesundheit – eingestuft: Benzylbutylphthalat (BBP, #CAS: 85-68-7), Bis(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP, #CAS: 117-81-7), Diisobutylphthalat (DIBP, #CAS: 84-69-5), Dicyclohexylphthalat (DCHP, #CAS: 84-61-7), und Dibutylphthalate (DnBP, #CAS: 84-74-2) (ECHA, 2021c).

chemische Analyse

Phthalate wurden mittels der Multikomponenten-Analytik (MKA) (GC-MS) in Anlehnung an EPA 8270 als auch mittels Non-Target-Analytik (NTA) (LC-HRMS/MS) entsprechend den Vorgaben der Wasserchemischen Gesellschaft (Wasserchemische Gesellschaft, 2019) erfasst.

Analysenergebnisse

In Tabelle 26 sind die Ergebnisse der mittels MKA detektierten Phthalate in den untersuchten Klärschlammkomposten sowie in den Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert) dargestellt. Weiters sind die Gehalte in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten (siehe Kap. 3.1.1 und 3.1.2) gegenübergestellt (Tabelle 35). Die Ergebnisse der mittels MKA detektierten Phthalate sowie die entsprechenden Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind im Anhang in Tabelle 51 gelistet sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d). Die Ergebnisse der NTA-detektierten Phthalate liegen in Tabelle 31 sowie im Anhang zum Prüfbericht Nr. 2012/0951 vor (UMWELTBUNDESAMT, 2020a).

Tabelle 26:
Ergebnisse von Phthalaten in Klärschlammkomposten und in beaufschlagten Böden und Referenzböden (in µg/kg Trockenmasse) (Multi-komponenten-Analytik).

Probenart	DEHP*	DEP	DnBP*	DMP
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [µg/kg TM]				
14 Komposte	n.n.-4.000 (1.336)	<BG-260 (98)	n.n.-<BG	n.n.
2 beaufschlagte Böden	n.n.	150 und 190	n.n.-<BG	n.n.
4 Referenzböden	n.n.	n.n.-260 (175)	n.n.	n.n.-<BG

* Endokriner Disruptor

Erläuterungen: Die Nachweisgrenze lag für Diethylhexylphthalat (DEHP) bei 330 µg/kg TM (BG 650 µg/kg TM), für Diethylphthalat (DEP) bei 40 µg/kg TM (BG 80 µg/kg TM), für Di-n-butylphthalat (DnBP) bei 750 µg/kg TM (BG 1.500 µg/kg TM) und für Dimethylphthalat (DMP) bei 35 µg/kg TM (BG 70 µg/kg TM). TM: Trockenmasse.

Klärschlammkompost

In allen 14 untersuchten Klärschlammkomposten wurde Diethylphthalat (DEP) in Konzentrationen bis zu 260 µg/kg TM detektiert. Des Weiteren wurde in den Klärschlammkomposten die auf EU-Ebene als endokrine Disruptoren identifizierten Phthalate DnBP und DEHP mittels GC-MS bestimmt. DnBP wurde in einer Klärschlammkompostprobe in Spuren (<BG) sowie DEHP in insgesamt neun Proben in Konzentrationen bis zu 4.000 µg/kg TM detektiert.

Mittels NTA konnte DnBP in insgesamt zwei Klärschlammkompostproben nachgewiesen werden. Die als ED identifizierte Verbindung Benzylbutylphthalat (BBP) wurde in sieben der Klärschlammkompostproben qualitativ erfasst (Anhang zum Prüfbericht Nr. 2012/0951) (UMWELTBUNDESAMT, 2020a).

Boden Aus der Gruppe der Phthalate erfolgte der Nachweis von insgesamt drei Substanzen mittels MKA: Dimethylphthalat (DMP) fand sich in zwei der sechs Bodenproben in Spuren (<BG) und Diethylphthalat (DEP) in fünf Bodenproben in Konzentrationen bis zu 260 µg/kg TM. Das als endokriner Disruptor klassifizierte DnBP wurde in einem Boden detektiert, aber in geringen Mengen (<BG). BBP wurde in allen sechs der untersuchten Bodenproben qualitativ nachgewiesen.

Vergleich Kompost – Boden Die in Tabelle 27 dargestellten Untersuchungsergebnisse der zwei ausgewählten niederösterreichischen Standorte NÖ-03 und NÖ-04 wurden mittels MKA durchgeführt.

Tabelle 27:
Ergebnisse zu den Phthalaten in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

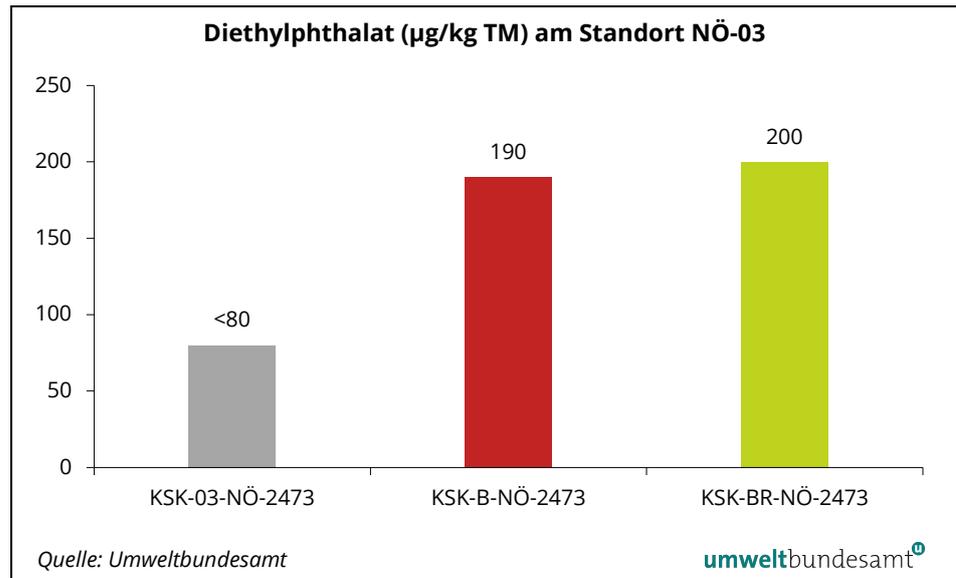
Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	DEHP*	DEP	DnBP*	DMP
Standort NÖ-03					
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	3.600	<80	n.n.	n.n.
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	n.n.	190	<1.500	n.n.
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	n.n.	200	n.n.	<70
Standort NÖ-04					
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	2.400	130	n.n.	n.n.
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	n.n.	150	n.n.	n.n.
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	n.n.	260	n.n.	<70

* Endokriner Disruptor

Erläuterungen: Die Nachweisgrenze lag für Diethylhexylphthalat (DEHP) bei 330 µg/kg TM (BG 650 µg/kg TM), für Diethylphthalat (DEP) bei 40 µg/kg TM (BG 80 µg/kg TM), für Di-n-butylphthalat (DnBP) bei 750 µg/kg TM (BG 1.500 µg/kg TM) und für Dimethylphthalat (DMP) bei 35 µg/kg TM (BG 70 µg/kg TM). TM: Trockenmasse.

Beaufschlagung am Standort NÖ-03 Beim **Standort NÖ-03** wurde das Phthalat DEP sowohl im Boden B-03 als auch im Referenzboden BR-03 in nahezu identen Mengen (190 µg/kg TM und 200 µg/kg TM) festgestellt, während in der entsprechenden Klärschlammkompostprobe der Gehalt unter der Bestimmungsgrenze lag (Abbildung 20). Zudem ist zu erwähnen, dass das Phthalat DnBP ausschließlich in der untersuchten Bodenprobe – wenn auch in geringen Spuren unter der Bestimmungsgrenze – zu finden war.

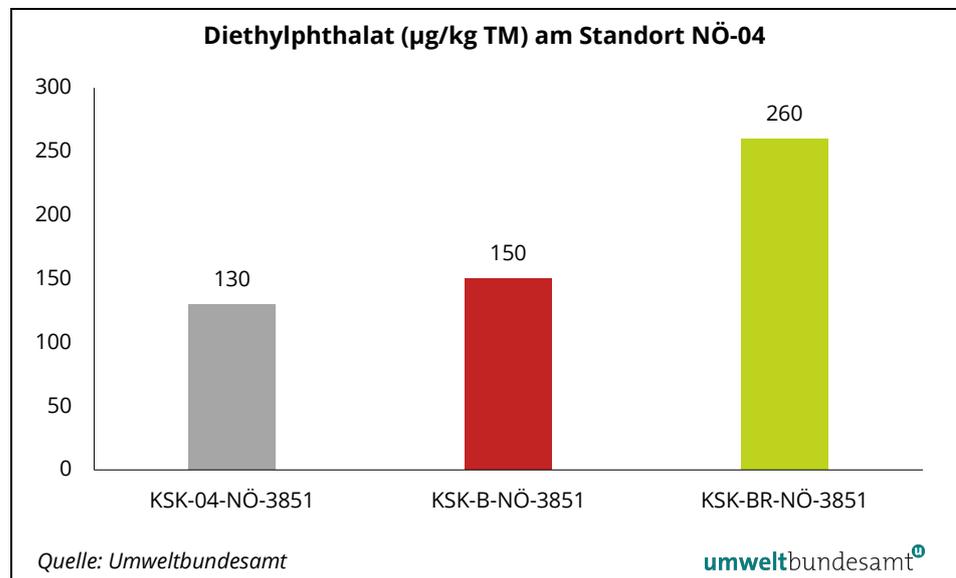
Abbildung 20:
Diethylphthalat ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün) bei einer Nachweisgrenze von $40 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM.



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Beim **Standort NÖ-04** wurde das Phthalat DEP im Klärschlammkompost sowie im entsprechenden Boden mit $130 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM bzw. $150 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM in ähnlichen Konzentrationen gefunden. Im Vergleich dazu lag der DEP-Gehalt im entsprechenden Referenzboden mit $260 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM etwas höher (Abbildung 21). Grundsätzlich sind auch bei Standort NÖ-04 keine Auffälligkeiten basierend auf den Ergebnissen der Multikomponenten-Analytik zu verzeichnen.

Abbildung 21:
Diethylphthalat ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün) bei einer Nachweisgrenze von $40 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM.



Vergleich mit der Literatur

In einer Vorarlberger Studie wurde DEHP vom Labor des Umweltbundesamtes in Klärschlammkompost bis zu $1.700 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM nachgewiesen (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016). Das Maximum gegenständlicher Untersuchung lag deutlich darüber mit $4.000 \mu\text{g}/\text{kg}$ TM (vgl. Tabelle 26). Auch die Standorte NÖ-03 und NÖ-04 wiesen deutlich höhere Gehalte auf (vgl. Tabelle 27). Die DEHP-Gehalte der Bodenproben lagen in Vorarlberg im Bereich

zwischen 29 und 56 µg/kg TM, wohingegen in gegenständlicher Studie DEHP nicht nachgewiesen werden konnte, jedoch bei einer Nachweisgrenze von 330 µg/kg TM. In der Studie für die Europäische Kommission (WOOD, 2019) betreffend Komposte und Digestate wurde DEHP trotz seiner guten Abbaubarkeit im Kompostierungsprozess als prioritäre Substanz für Risikomanagement klassifiziert und weitere Untersuchungen empfohlen.

Beurteilung der Ergebnisse

Für Phthalate gibt es aktuell keine Grenzwerte für Boden oder Klärschlammkompost. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung wurde festgestellt, dass das Vorkommen einzelner Phthalate in den 20 Proben (14 Klärschlammkomposte, sechs Böden) sehr heterogen vorliegt.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten zeigt sich für das häufig auftretende Phthalat DEHP, dass ein sehr breites Auftretensspektrum in den Klärschlammkomposten vorliegt – von keinem Vorkommen bis zum Mehrfachen der Literaturwerte.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte deutlich, dass das Vorkommen der Phthalate sehr heterogen ist und im Rahmen dieser Pilotstudie kein Zusammenhang mit der Klärschlammkompostbeaufschlagung hergestellt werden konnte. Da erhöhte Werte auf Referenzböden zu finden waren, deutet dies auf weitere Herkunftsquellen der Phthalate.
- Phthalate sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindungen, die unterschiedlich gut abgebaut werden können.
- Für die Beurteilung von Phthalaten in Klärschlammkompostproben ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten** notwendig.

4.3.12 Weitere Industriechemikalien

Beschreibung

Zusätzliche Chemikalien, die sich nicht in die vorgestellten Gruppen (siehe Kapitel 4.3.2 bis 4.3.11) einteilen lassen, wurden mittels Multikomponenten-Analytik (MKA) (bzw. GC-MS) wie auch mittels Non-Target-Analytik (NTA) (bzw. LC-HRMS/MS) identifiziert. Hinzu kommt, dass für die vorgestellten Schadstoffe und Schadstoffgruppen (siehe Kapitel 4.3.1 bis 4.3.10) teilweise Doppel- bzw. Dreifachbestimmungen durchgeführt wurden, weil diese Stoffe teilweise in allen drei analytischen Methoden inkludiert waren und somit mehrmals erfasst wurden. Einzelne Ergebnisse für denselben Schadstoff können durch die Anwendung verschiedener analytischer Methoden, wie in Kapitel 12.14.2 beschrieben, streuen.

chemische Analyse

Im Rahmen der aktuellen Untersuchung erfolgte die chemische Analyse von organischen Verbindungen in 14 Klärschlammkompost- und sechs Bodenproben einerseits mittels **Multikomponenten-Analytik (MKA)** (Gaschromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie (GC-MS)) in Anlehnung an die Vorschrift EPA 8270. Die einzelnen untersuchten Substanzen sowie die entsprechenden

Bestimmungs- und Nachweisgrenzen sind mit den Messergebnissen im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) zusammengefasst. Die positiven Nachweise (>NG) sind in Tabelle 28 und Tabelle 29 dargestellt. Zudem wurden mittels **Non-Target-Analytik (NTA)** weitere Substanzen qualitativ bestimmt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Anhang zum Prüfbericht 2012/0951 (UMWELTBUNDESAMT, 2020a) ausgewiesen sowie ausgewählte Ergebnisse in Tabelle 31 dargestellt.

Multikomponenten-Analytik (MKA) – GC-MS

Mittels der MKA wurden 167 organische Verbindungen aus unterschiedlichen Stoffgruppen, wie z. B. Phosphorsäureester (z. B. Flammschutzmittel), Parabene (z. B. Konservierungsmittel) und Kresole (z. B. Desinfektionsmittel) untersucht.

Klärschlammkompost (MKA)

In den untersuchten 14 Klärschlammkompostproben konnten insgesamt 34 Verbindungen in zumindest einer der Proben nachgewiesen werden (>NG), wovon Bisphenol A (4.3.9), 14 polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (4.3.10) sowie vier Phthalate (4.3.11) schon in den jeweiligen Kapiteln beschrieben wurden. In allen 14 untersuchten Klärschlammkomposten wurde zudem Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) in Gehalten bis zu 2.800 µg/kg TM sowie Cypermethrin-1 in Gehalten bis zu 930 µg/kg TM detektiert. Eine Übersicht über die positiven Nachweise in den Klärschlammkomposten ist in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: Ergebnisse MKA (GC-MS) (positive Nachweise >NG) in Klärschlammkomposten (in µg/kg TM) inkl. als endokrin schädigende gelistete Substanzen.

Substanz	Anzahl KSK	Min	Max	NG	BG	ED Liste I/II/III	EC Annex 13	Sonstige Hinweise
Styrol	3	<BG	91	25	50		X	χ ¹²
Phenol	12	<BG	1.800	200	100			
tert-Butylbenzol	1	<BG	<BG	25	50			
p-Isopropyltoluol	5	<BG	170	25	50			
2-Methylphenol (o-Kresol)	6	<BG	110	50	100			
3-/4-Methylphenol (m-/p-Kresol)	12	<BG	2.900	50	100			
Isophoron	12	400	1.500	130	250			
Triethylphosphat (TEP)	7	<BG	940	50	100			
Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	14	180	2.800	38	75			χ ¹³
Triphenylphosphat (TPP)	6	<BG	140	25	50	χ ^{II}		χ ¹³
Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP)	10	<BG	2.300	25	50			
Octylphenol	2	<BG	74	25	50		X	χ ¹⁴
Pentachlorphenol	1	57	57	25	50			

¹² ATSDR's Toxicological Profiles (2002).

¹³ Bajard et al. (2021).

¹⁴ Mlyagawa, Sato und Iguchi (2021).

Substanz	Anzahl KSK	Min	Max	NG	BG	ED Liste I/II/III	EC Annex 13	Sonstige Hinweise
Triclosan	7	<BG	430	50	100	X ¹¹		
Cypermethrin-1	14	<BG	930	130	250			X ¹⁵
Cypermethrin-2	8	<BG	500	130	250			X ¹⁵

¹ Liste I/II/III: Liste I: Auf EU-Ebene als ED identifizierte Substanzen. ¹¹ Liste II: Substanzen, die derzeit unter REACH als potentielle ED evaluiert werden. ¹¹¹ Liste III: von einer nationalen Behörde derzeit als möglicherweise ED evaluiert. Quelle: <https://edlists.org/>
Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze; ED: Endokriner Disruptor; NG: Nachweisgrenze; TM: Trockenmasse.

Hinsichtlich endokrin schädigender Substanzen konnten in den Klärschlammkomposten mittels der MKA weitere Verbindungen quantifiziert werden, welche derzeit unter REACH als potenzielle endokrine Disruptoren evaluiert werden: Triclosan und Triphenylphosphat (TPP). Triclosan wurde dabei in sieben Kompostproben in Gehalten bis zu 430 µg/kg TM sowie TPP in sechs Kompostproben in Gehalten bis zu 140 µg/kg TM bestimmt.

Boden (MKA) Die Untersuchung mittels MKA auf insgesamt 167 unterschiedliche chemische Verbindungen erfolgte in den sechs untersuchten Bodenproben B-03, B-04, B-12, BR-03, BR-04, und BR-12.

Insgesamt wurden mittels der Multikomponenten-Analytik neun verschiedene Verbindungen in den Böden detektiert. In allen sechs untersuchten Bodenproben konnte dabei Isophoron in Konzentrationen zwischen 1.200 und 3.300 µg/kg TM bestimmt werden. Die beiden als Flammschutzmittel eingesetzten Phosphorsäureester Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP) und Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) konnten in je einer Probe in Spuren (<BG) bzw. mit einem Gehalt von 130 µg/kg TM nachgewiesen werden (Tabelle 29).

Tabelle 29: Ergebnisse MKA (GC-MS) (positive Nachweise >NG) in Böden (in µg/kg TM) inkl. als endokrin wirksame Substanzen gelistete.

Substanz	Anzahl im Boden	Min	Max	NG	BG	ED Liste I/II/III	EC Annex 13	Sonstige Hinweise
Isophoron	6	1.200	3.300	130	250			
Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP)	1	<BG	<BG	25	50			
Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	1	130	130	38	75			X ¹⁶

¹ Liste I/II/III: Liste I: Auf EU-Ebene als ED identifizierte Substanzen. Liste II: Substanzen, die derzeit unter REACH als potentielle ED evaluiert werden. Liste III: von einer nationalen Behörde derzeit als möglicherweise ED evaluiert. Quelle: <https://edlists.org/>
Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze; ED: Endokriner Disruptor; NG: Nachweisgrenze; TM: Trockenmasse.

¹⁵ Jin et al. (2011).

¹⁶ Bajard et al. (2021).

**Vergleich
Kompost – Boden**

An zwei niederösterreichischen Standorten wurden der entsprechende Klärschlammkompost, der beaufschlagte Boden sowie ein Referenzboden, der nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurde, untersucht und miteinander verglichen. Die Ergebnisse für ausgewählte Substanzen sind in Tabelle 30 angeführt.

**MKA – Beurteilung der
Ergebnisse**

Beim Vergleich der nachgewiesenen Substanzen in den Klärschlammkomposten, den entsprechenden beaufschlagten Böden und Referenzböden zeigte sich für die beiden untersuchten Standorte NÖ-03 und NÖ-04 großteils ein ähnliches Bild.

Tabelle 30:
Ergebnisse zu ausgewählten Substanzen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzböden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04) (in µg/kg Trockenmasse).

Probenart	Labornummer (Bezeichnung)	Iso- phoron	TEHP	TCPP	TPP*	Tri- closan*
Standort NÖ-03						
Kompost	2004 01264 (KSK-03-NÖ-2473)	n.n.	170	280	n.n.	n.n.
Boden	2004 01258 (KSK-B-NÖ-2473)	1.200	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Referenzboden	2004 01259 (KSK-BR-NÖ-2473)	1.500	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Standort NÖ-04						
Kompost	2004 01288 (KSK-04-NÖ-3851)	1.300	390	1.600	110	270
Boden	2004 01284 (KSK-B-NÖ-3851)	1.200	<50	130	n.n.	n.n.
Referenzboden	2004 01285 (KSK-BR-NÖ-3851)	1.700	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

* Substanzen der Liste II, die derzeit unter REACH als potenzielle ED evaluiert werden. Quelle: <https://edlists.org/>. Die Nachweisgrenze lag für Isophoron bei 130 µg/kg TM (BG 250 µg/kg TM), für Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP) bei 25 µg/kg TM (BG 50 µg/kg TM), für Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) bei 38 µg/kg TM (BG 75 µg/kg TM), für Triphenylphosphat (TPP) bei 25 µg/kg TM (BG 50 µg/kg TM) und für Triclosan bei 50 µg/kg TM (BG 100 µg/kg TM).
TM: Trockenmasse.; ED: endokriner Disruptor

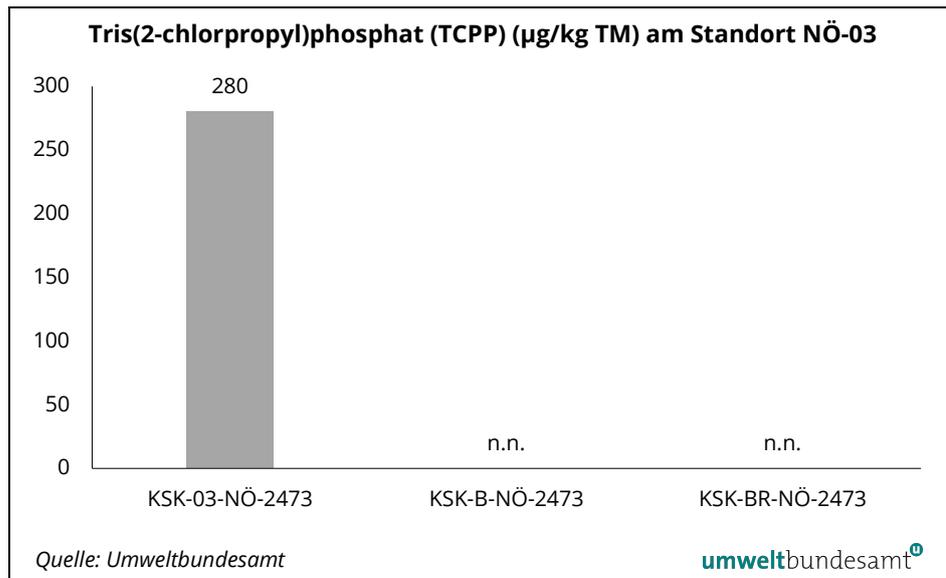
Wie erwartet fanden sich in den beiden Klärschlammkompostproben die meisten nachgewiesenen Verbindungen: In der Probe des Standorts NÖ-03 (KSK-03) wurden weitere sechs verschiedene Substanzen (Phenol, o-Kresol, m-/p-Kresol, Tris(2-chlorpropyl)phosphat, Tris(2-ethylhexyl)phosphat, Cypermethrin-1 und Cypermethrin-2), sowie in der Probe des Standorts NÖ-04 (KSK-04) weitere 14 verschiedene Substanzen (Styrol, p-Isopropyltoluol, Phenol, o-Kresol, m-/p-Kresol, Isophoron, Octylphenol, Triclosan, Triethylphosphat, Triphenylphosphat, Tris(2-chlorpropyl)phosphat, Tris(2ethylhexyl)phosphat sowie Cypermethrin-1 und Cypermethrin-2) detektiert.

**Beaufschlagung am
Standort NÖ-03**

Beim **Standort NÖ-03** wurde die Verbindung Isophoron sowohl in der Boden- als auch in der Referenzbodenprobe mit 1.200 µg/kg TM bzw. 1.500 µg/kg TM in nahezu identen Konzentrationen gefunden. Im entsprechenden Kompost

wurde Isophoron nicht detektiert. Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP) und Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) wurde im Klärschlammkompost mit 170 bzw. 280 µg/kg TM nachgewiesen, jedoch nicht in den Bodenproben. Triclosan konnte in keiner der drei Proben nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Vergleichs der Proben am Standort NÖ-03 sind demnach keine auf den Klärschlammkompost zurückführbaren Belastungen (basierend auf den Ergebnissen der MKA) zu verzeichnen. In Abbildung 22 sind die TCPP-Gehalte für den Standort NÖ-03 dargestellt.

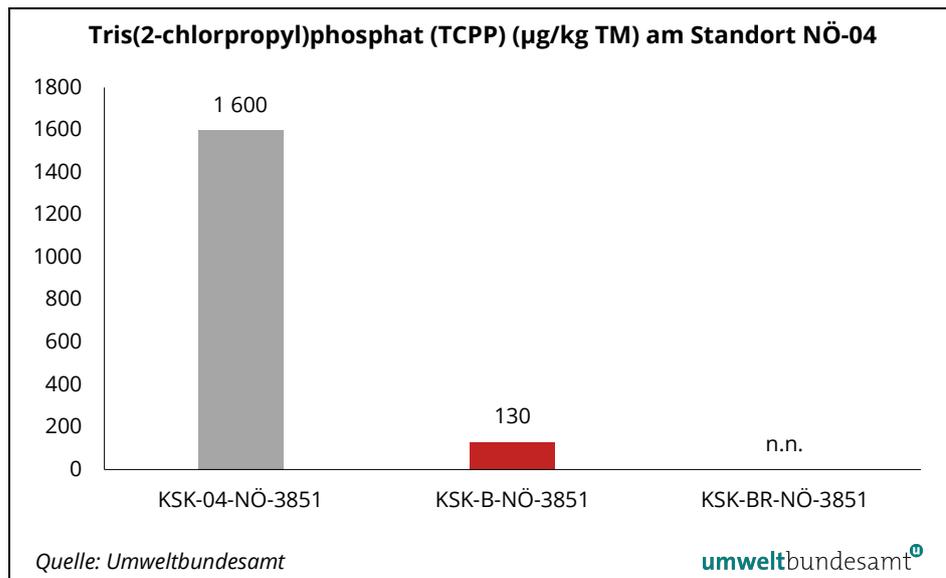
Abbildung 22: Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) (µg/kg TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün) bei einer Nachweisgrenze von 38 µg/kg TM.



Beaufschlagung am Standort NÖ-04

Beim **Standort NÖ-04** wurde die Verbindung Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) in der untersuchten Kompostprobe mit einem Gehalt von 1.600 µg/kg TM sowie in der entsprechenden Bodenprobe mit einem Gehalt von 130 µg/kg TM detektiert. Im entsprechenden Referenzboden erfolgte kein Nachweis (Abbildung 23). Ein ähnliches Bild zeigte sich für Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP), welches im Klärschlammkompost (390 µg/kg TM) und im Boden (<BG von 50 µg/kg TM), aber nicht im Referenzboden gefunden werden konnte. Die Substanz Isophoron fand sich in allen untersuchten Proben des Standorts NÖ-04, wobei im Klärschlammkompost und im Boden die nachgewiesenen Gehalte mit 1.300 µg/kg TM und 1.200 µg/kg TM nahezu gleich hoch lagen. Etwas höher war die Konzentration im entsprechenden Referenzboden, welche bei 1.700 µg/kg TM lag. Beim Standort NÖ-04 sind keine Auffälligkeiten basierend auf den Ergebnissen der MKA zu verzeichnen, ausgenommen den Hinweis auf einen möglichen Eintrag der Substanzen TCPP sowie TEHP aus dem Klärschlammkompost in den Boden (B-04).

Abbildung 23:
Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) (µg/kg TM)
am Standort NÖ-04 für
Klärschlammkompost
(grau), beaufschlagten
Boden (rot) und Refe-
renzboden (grün) bei ei-
ner Nachweisgrenze von
38 µg/kg TM.



**Beurteilung der mittels
MKA erzielten
Ergebnisse**

Für die beschriebenen Substanzen gibt es aktuell keine Grenzwerte für Boden oder Klärschlammkompost. **Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:**

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnten von 167 Substanzen 34 in Klärschlammkompost sowie neun in den Bodenproben identifiziert werden.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte, dass nur für TCPP einen Zusammenhang mit der Klärschlammkompostbeaufschlagung hergestellt werden kann.
- Viele der Industriechemikalien sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindungen, die abgebaut werden können, jedoch sind hierzu noch weitere Untersuchungen notwendig.
- Für die Beurteilung dieser Industriechemikalien in Klärschlammkompost- und Bodenproben sind substanzspezifische Risikoanalysen notwendig.

**Non-Target-Analytik
(NTA) – LC-HRMS/MS**

Die Untersuchung der Klärschlammkompost- und Bodenproben mittels Non-Target-Analytik zeigte, dass **insgesamt 295 verschiedene Substanzen** nachgewiesen werden konnten. In allen 20 untersuchten Proben (Klärschlammkompost und Boden) fanden sich 4-Hydroxybenzaldehyd, Galaxolidon, Harman, Vanillin und die Acetylsalicylsäure („Aspirin“). Weiters wurden in 19 der 20 Proben 2,3-Dihydro-1-benzofuran-2-carbonsäure und Salicylsäure detektiert.

Gefunden wurden dabei je nach Probe zwischen 45 verschiedenen Verbindungen (in Probe BR-12 – Niederösterreichischer Referenzboden) und 102 verschiedenen Verbindungen (in Probe KSK-10-V – Vorarlberger Klärschlammkompost).

Von den insgesamt 295 identifizierten Substanzen konnten zehn Verbindungen identifiziert werden (siehe Tabelle 31), die auf EU-Ebene als endokrine Disruptoren klassifiziert wurden (Liste I), sich in Evaluierung befinden (Liste II) oder von einer nationalen Behörde derzeit als möglicherweise ED evaluiert werden

(Liste III) – siehe <https://edlists.org/>. Von den zehn Verbindungen wurden drei in den jeweiligen Kapiteln diskutiert (Benzylbutylphthalat (BBP) und Di-n-butylphthalat (DnBP) in Kapitel 4.3.11 sowie Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) in Kapitel 4.3.8).

*Tabelle 31:
Mittels NTA identifizierte
Verbindungen mit
endokrin schädigender
Wirksamkeit (qualitative
Bestimmung).*

Substanz	ED-Liste*		
	I	II	III
Benzylbutylphthalat (BBP)	X		
Di-n-butylphthalat (DnBP)	X		
4-Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO)	X		
Butylparaben (=4-Hydroxybenzoesäurebutylester)		X	
Ethylparaben (=4-Hydroxybenzoesäureethylester)		X	
Benzotriazol		X	
Triphenylphosphat (=TPP)		X	
Bisphenol S (=4,4'-Sulfonyldiphenol)		X	
Genistein		X	
Salicylsäure			X

* ED Liste I/II/III: Liste I: Auf EU-Ebene als ED identifizierte Substanzen.
Liste II: Substanzen, die derzeit unter REACH als potenzielle ED evaluiert werden.
Liste III: von einer nationalen Behörde derzeit als möglicherweise ED evaluiert.
Quelle: <https://edlists.org/>

**NTA – Beurteilung der
Ergebnisse**

Sechs Substanzen wurden in der durchgeführten Untersuchung identifiziert, die sich derzeit auf EU-Ebene unter Evaluierung als mögliche ED finden. Die als Konservierungsstoffe eingesetzten Substanzen Butylparaben und Ethylparaben wurden dabei in in allen Klärschlammkomposten mit Ausnahme des KSK-03-NÖ-2473 gefunden.

Hinsichtlich der Untersuchung der zwei niederösterreichischen Standorte (NÖ-03 und NÖ-04), die einer näheren Betrachtung der möglichen Auswirkungen einer Klärschlammaufbringung auf Böden unterzogen wurden, zeigten sich für den **Standort NÖ-03** in einer ersten Bewertung keine Auffälligkeiten. Lediglich vier Verbindungen fanden sich im Klärschlammkompost sowie dem entsprechenden beaufschlagten Boden, aber nicht im Referenzboden: Linolsäure, Phenylalanin, Xanthurensäure und Azelainsäure. Hierbei handelt es sich um natürlich vorkommende Substanzen.

Ein anderes Bild zeigte sich für den **Standort NÖ-04**. Hier fanden sich insgesamt sieben Verbindungen sowohl im Klärschlammkompost als auch im Boden, aber nicht im Referenzboden: Die natürlich vorkommenden Verbindungen 3-Hydroxymyristinsäure, Xanthurensäure (Xanthurenat), Hexadecandicarbonsäure, das Monoterpen-Alkaloid Oxindol – ein Tryptophanderivat, welches u. a. auch in der Pharmazie verwendet wird –, das Fungizid Epoxiconazol sowie die Arzneimittelwirkstoffe Acetaminophen (Paracetamol) und Trospium. In Tabelle

32 sind die vom Menschen erzeugten Substanzen gelistet. Der Eintrag der genannten Substanzen in den untersuchten Proben dürfte demnach durch die Beaufschlagung des Klärschlammkompostes erfolgen. Besonderes Augenmerk ist hierbei auf das Fungizid und die Arzneimittelwirkstoffe zu legen.

Epoxiconazol ist ein, in der EU nach Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 nicht zugelassenes Fungizid, welches als möglicherweise kanzerogen (Carc. 2 – H351: kann vermutlich Krebs erzeugen), reproduktionstoxisch (Repr. 1B – H260Df: kann das Kind im Mutterleib schädigen, kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen) und chronisch toxisch für Wasserorganismen (Aquatic Chronic 2 – H411: giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.) eingestuft ist (ECHA, 2021b). Des Weiteren ist Epoxiconazol persistent (BVL, 2017).

Bei Acetaminophen, auch bekannt als das Arzneimittel Paracetamol, handelt es sich um ein Analgetikum, das in der Medizin weit verbreiteten Einsatz findet. Trospium wird als Urologikum eingesetzt. Der Nachweis in der untersuchten Klärschlammkompost- sowie der Probe des Bodens, auf welchen dieser Klärschlammkompost aufgebracht wurde, zeigt, dass es zu einem Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Böden kommen kann.

*Tabelle 32:
Mittels NTA identifizierte
Verbindungen (qualitative
Bestimmung) am
Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost und
beaufschlagtem Boden.*

Substanz	in KSK	in beaufschlagtem Boden
Oxindol	X	X
Epoxiconazol	X	X
Acetaminophen (Paracetamol)	X	X
Trospium	X	X

4.3.13 Mikroplastik

Beschreibung

Als Mikroplastik bezeichnet man winzige Kunststoffteilchen, die kleiner als 5 mm sind und aus unterschiedlichen Kunststoffarten bestehen können, beispielsweise Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyethylenterephthalat (PET), Polystyrol (PS), Polyamid (PA), Polyurethan (PU), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyoxymethylen (POM) oder Ethylen-Vinylacetat-Copolymer (EVAC) und viele weitere feste synthetische Polymere. Mikroplastik kann ein Risiko für Lebewesen und Umwelt darstellen. Einerseits sind meist potenziell schädliche Zusatzstoffe (z. B. Weichmacher, Flammschutzmittel) im Kunststoff enthalten, die in die Umwelt freigesetzt werden können. Andererseits spielen bereits in der Umwelt vorhandene Schadstoffe eine Rolle, da sie sich am Mikroplastik anhaften und anreichern können (Bläsing und Amelung, 2018). Eine Vorstufe für Mikroplastik sind meist größere Kunststoffteile, die schon in früheren Studien mit Bezug zur Österreichischen Kompostverordnung (Kunststoff > 2mm sowie > 20 mm) untersucht wurden (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2017).

Im Boden können Mikroplastikpartikel Bodeneigenschaften und -prozesse bzw. Bodenorganismen beeinflussen. Obwohl derartige Effekte noch weitgehend unerforscht sind, legen erste Daten nahe, dass es zu Auswirkungen kommen kann (Boots, Russell und Green, 2019, Rillig et al., 2019, Lehmann, Fitschen und Rillig, 2019).

Die Eintragsquellen für Mikroplastik in Böden sind vielfältig. Neben der Verwendung von Mulchfolien, Littering, Reifenabrieb, Verunreinigung von organischen Abfällen wie Gärrückständen und atmosphärischer Deposition wird vor allem Klärschlamm (inkl. Komposte aus Klärschlamm) als wichtiger Eintragspfad von Mikroplastik in den Boden genannt (Büks und Kaupenjohann, 2020). Aufgrund der Mikroplastik-Belastung von Abwasser und der relativ hohen Abscheidung von Mikroplastik in Kläranlagen findet sich ein Großteil des Mikroplastiks schlussendlich im Klärschlamm wieder (Corradini et al., 2019).

Ergebnisse der Studie Mikroplastik in Klärschlämmen (UMWELTBUNDESAMT, 2021) zeigen bei der Mikroplastik-Verteilung in Klärschlämmen hohe Anteile für PU (36 %), PET (25 %) und PP (21 %). Geringere Anteile wurden für PS (8 %), PE (7 %), PA (1 %), PVC (1 %) und POM (0,6 %) in Klärschlämmen angegeben.

chemische Analyse

Die Mikroplastik-Analytik wurde bei den zwei KSK-beaufschlagten Böden sowie den vier Referenzböden durchgeführt. Die Bestimmung der Teilchenanzahl von Mikroplastik im Größenbereich 0,05–1 mm erfolgte mittels Fourier-Transformation-Infrarot-(FTIR)-Spektroskopie und Imaging. (Das Imaging-Verfahren liefert neben der chemischen Information über das Mikroplastikmaterial auch die optische Information über die Mikroplastik-Teilchengröße.)

Es wurde auf zehn Kunststoffarten getestet, die häufig in Gebrauch sind: PE, PP, PVC, PS, PET, PA, PU, PC, PMMA und POM.

Die Quantifizierung von Mikroplastik im Größenbereich von 1–5 mm erfolgte mittels ATR-FTIR-Spektroskopie anhand von Einzelpartikeln. In diesem Größenbereich wurde neben der Partikelanzahl (Stk/kg TM) auch das Gewicht der Mikroplastikteilchen (mg/kg TM) ermittelt.

Ergebnisse

In Tabelle 33 und Tabelle 34 sind die Ergebnisse von sieben Kunststoffen in den untersuchten Böden (Minimum-Maximum, arithmetischer Mittelwert; Stk/kg TM) dargestellt (PE, PP, PS, PET, PA, PU, POM). Die Kunststoffarten PVC, PC und PMMA wurden nicht detektiert. Weiters sind die Gehalte in Boden und Referenzboden (siehe Kap. 4.1 und Kap. 4.2) an zwei genauer untersuchten niederösterreichischen Standorten gegenübergestellt (Abbildung 25 bis Abbildung 31).

Tabelle 33 Ergebnisse sieben ausgewählter Plastiksorten in sechs Böden (in Stk/kg Trockenmasse (50 µm–1 mm)).

Probenart	PE	PP	PS	PET	PA	PU	POM
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert) [Stk/kg TM]							
2 beaufschlagte Böden	110 u. 160	130 u. 660	62 u. 110	21 u. 950	<BG	82 u. 85	<BG
4 Referenz-böden	18–69 (29)	18–94 (52)	19–36 (25)	<BG–19 (5)	<BG–19 (5)	<BG–19 (5)	<BG–39 (23)

Erläuterungen: Mit "<BG" (unter Bestimmungsgrenze) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar (zählbar) war. Die Bestimmungsgrenzen für die angegebenen Substanzen PE, PP, PS, PET, PA, PU und POM liegen zwischen 18 und 21 Stk/kg TM. Die der Tabelle zugrunde liegenden Einzeldaten sind im Anhang in Tabelle 54 und Tabelle 55 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) angeführt.

Abkürzungen: PE: Polyethylen, PP: Polypropylen, PS: Polystyrol, PET: Polyethylenterephthalat, PA: Polyamid, PU: Polyurethan, POM: Polyoxymethylen; TM: Trockenmasse.

Tabelle 34:
Ergebnisse sieben ausgewählter Plastiksorten in sechs Böden (in mg/kg Trockenmasse).

Probenart	Summe 1–5 mm (Stk/kg TM)	Summe 1–5 mm (mg/kg TM)
Minimum-Maximum (arithmetischer Mittelwert)		
2 beaufsch-lagte Böden	21 und 171	27 und 110
4 Referenz-böden	<BG–94 (24)	<BG–29 (7,3)

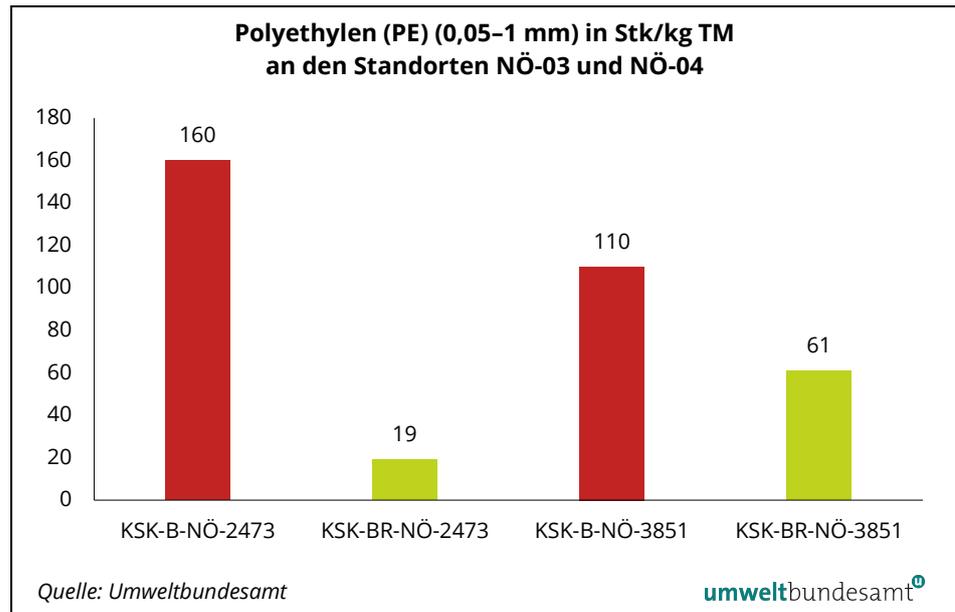
Erläuterungen: Mit "<BG" (unter Bestimmungsgrenze) angegebene Ergebnisse zeigen, dass die entsprechende Substanz in der betreffenden Probe nicht nachweisbar (zählbar) war. Die Bestimmungsgrenzen für die angegebenen Substanzen PE, PP, PS, PET, PA, PU und POM liegen zwischen 18 und 21 Stk/kg TM. Die der Tabelle zugrunde liegenden Einzeldaten sind im Anhang in Tabelle 54 und Tabelle 55 sowie im Prüfbericht Nr. 2102/0073 (UMWELTBUNDESAMT, 2020d) angeführt.

Abkürzungen: PE: Polyethylen, PP: Polypropylen, PS: Polystyrol, PET: Polyethylenterephthalat, PA: Polyamid, PU: Polyurethan, POM: Polyoxymethylen; TM: Trockenmasse.

Boden In den sechs analysierten Bodenproben wurden insgesamt sieben unterschiedliche Kunststoffarten (PE, PP, PET, PS, PA, PU und POM) bestimmt, die auch in der Folge kurz beschrieben werden. Aus analysenmethodischen Gründen werden die Fraktionen 0,05–1 mm sowie 1–5 mm getrennt dargestellt.

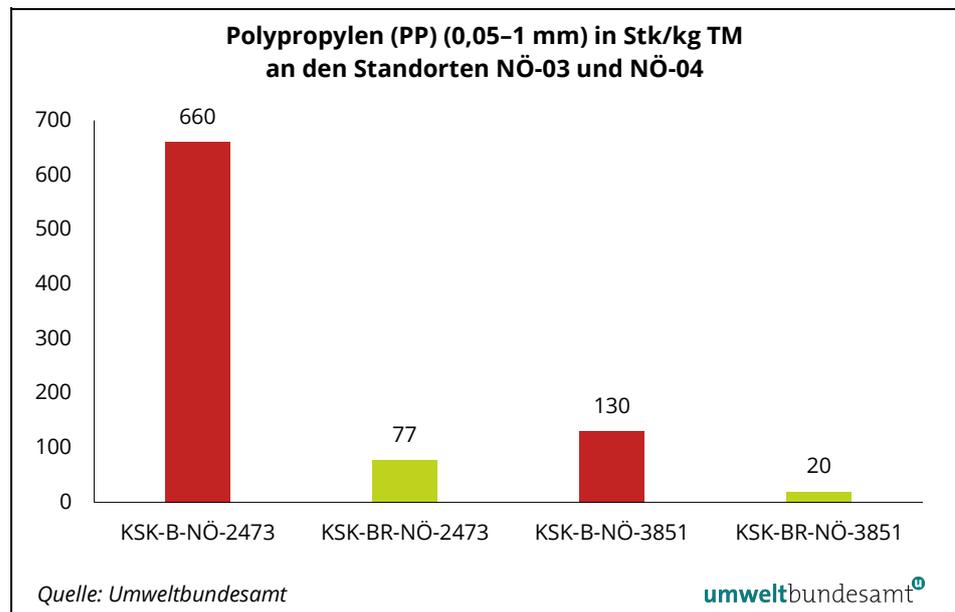
In Abbildung 24 ist die Anzahl der PE-Stücke/kg Boden dargestellt. In den Böden mit der Klärschlammkompost-Beaufschlagung sind die höchsten Werte zu finden.

Abbildung 24:
Polyethylen (PE)
(0,05–1 mm) in Stk/kg
TM in beaufschlagten
Böden (B, rot) sowie Re-
ferenzböden (BR, grün)
an den Standorten NÖ-
03 (KSK-BR-NÖ-2473,
BG = 19) und NÖ-04
(KSK-BR-NÖ-3851,
BG = 20).



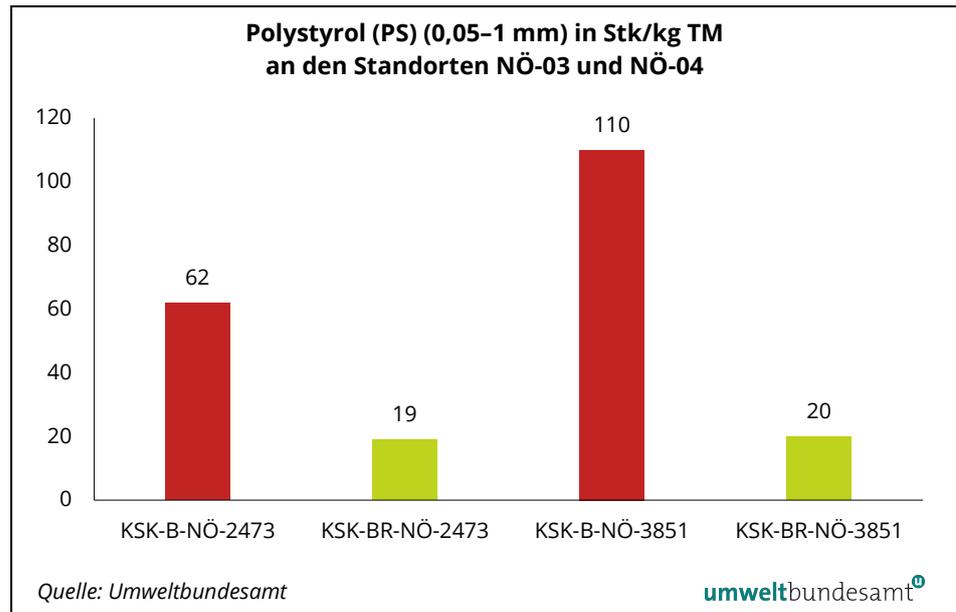
Ebenso sind die höchsten Werte für PP in Abbildung 25 bei den klärschlammkompostbeaufschlagten Böden zu finden, wobei der Standort B-03 mit der ca. sechsfachen Stückzahl im Vergleich zum zweiten Standort (B-04) hervorsticht.

Abbildung 25:
Polypropylen (PP)
(0,05–1 mm) in
Stk/kg TM in beauf-
schlagten Böden (B, rot)
sowie Referenzböden
(BR, grün) an den Stand-
orten NÖ-03 (KSK-BR-
NÖ-2473, BG = 19) und
NÖ-04 (KSK-BR-NÖ-3851,
BG = 20).



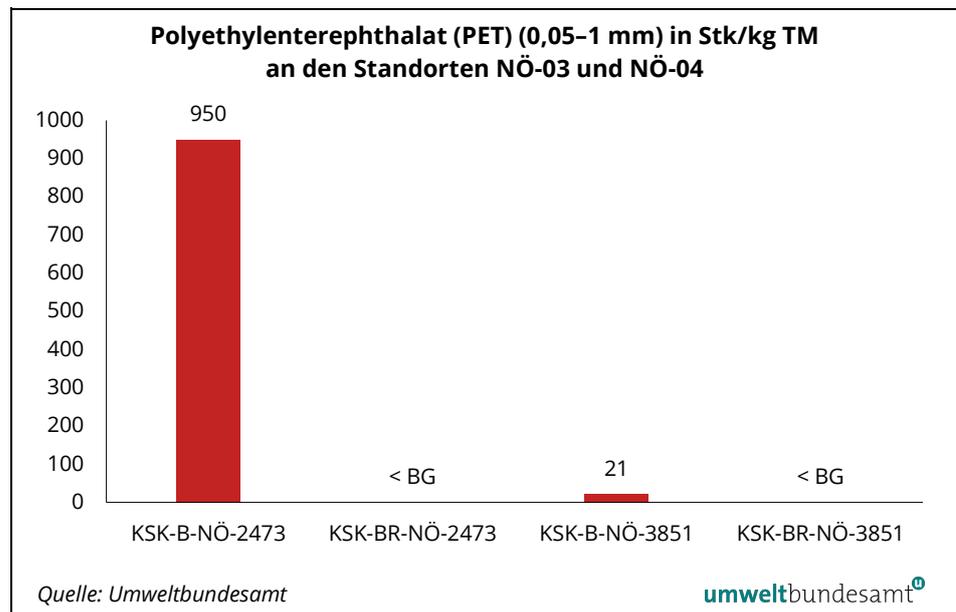
In Abbildung 26 ist die Anzahl von Polystyrolpartikeln (PS) dargestellt. Auch hier zeigen die Standorte mit der Klärschlammkompostbeaufschlagung das Drei- bzw. Fünffache der Referenzböden.

Abbildung 26:
Polystyrol (PS) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-BR-NÖ-2473, BG = 19) und NÖ-04 (KSK-BR-NÖ-3851, BG = 20).



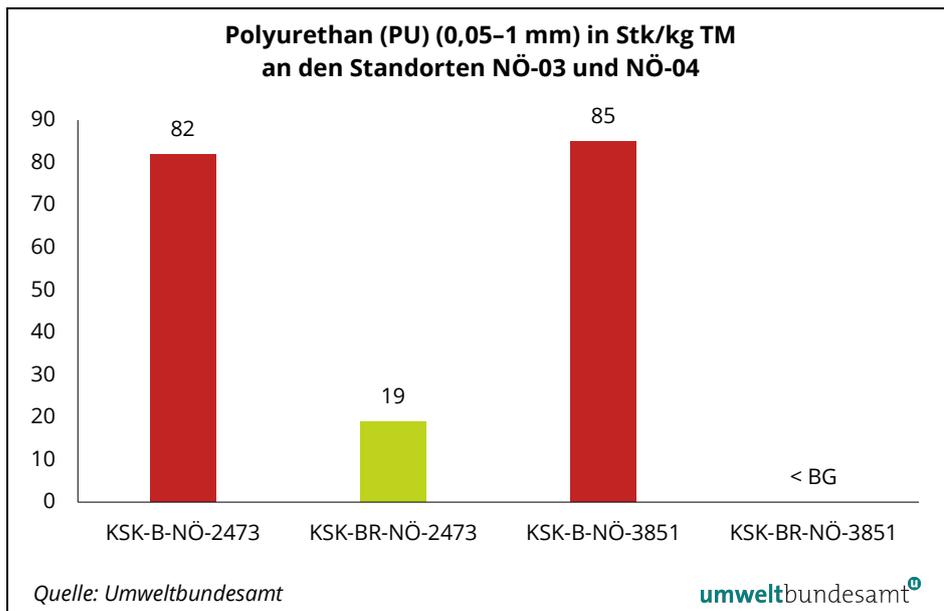
Eine auffällig große Anzahl an Polyethylenterephthalat-Partikeln (PET) wird auf einem klärschlammkompostbeaufschlagten Standort B-03 festgestellt und in Abbildung 27 dargestellt.

Abbildung 27:
Polyethylenterephthalat (PET) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-BR-NÖ-2473, BG = 19) und NÖ-04 (KSK-B-NÖ-3851, BG = 21)(KSK-BR-NÖ-3851, BG = 20).



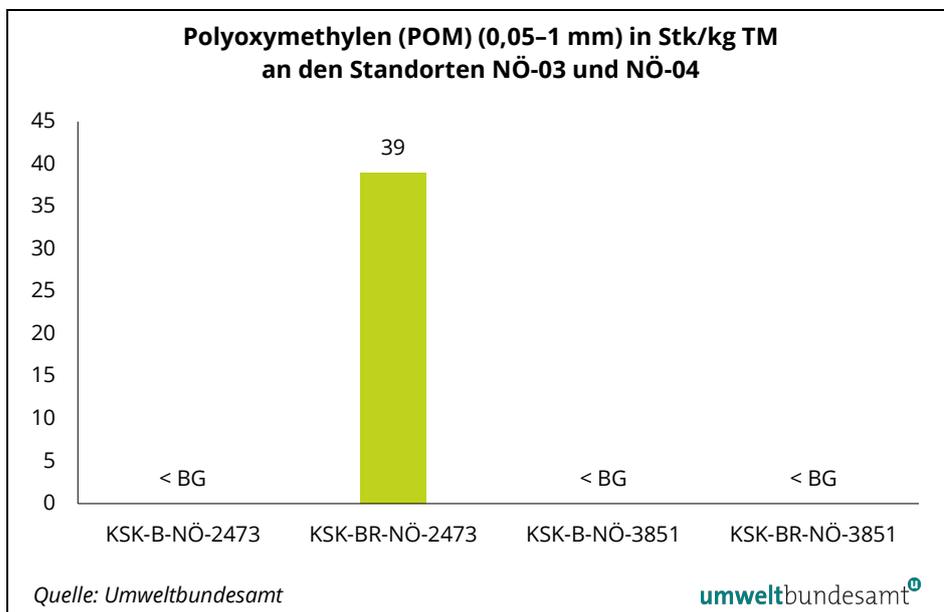
In Abbildung 28 ist die Anzahl von Polyurethan (PU) dargestellt. Hier zeigt der Standort (NÖ-03) mit der Klärschlammkompostbeaufschlagung das Vierfache des Referenzbodens. Am Standort NÖ-04 erfolgte am Referenzboden kein PU-Nachweis.

Abbildung 28:
Polyurethan (PU)
(0,05–1 mm) in
Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-BR-NÖ-2473, BG = 19) und NÖ-04 (KSK-BR-NÖ-3851) (BG = 20).



Polyoxymethylen, das hauptsächlich in Spritzgussverfahren zur Anwendung kommt, konnte nur am Referenzboden des Standortes NÖ-03 nachgewiesen werden (Abbildung 29). Die Herkunft von POM am Standort KSK-BR-NÖ-2473 ist unbekannt.

Abbildung 29:
Polyoxymethylen (POM)
(0,05–1 mm) in
Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-B-NÖ-2473, BG = 21) und NÖ-04 (KSK-B-NÖ-3851, BG = 21) (KSK-BR-NÖ-3851, BG = 20).



Bei den größeren Kunststoffpartikeln (1–5 mm) zeigt sich ein etwas anders Bild (Abbildung 30 und Abbildung 31). Hier überwiegt der klärschlammkompostbeaufschlagte Standort (B-04) sowohl in der Stückzahl/kg als auch in der Masse (mg/kg). Jedoch zeigt auch ein Referenzstandort (BR-12), der mit anderen Wirtschaftsdüngern (z. B. Rindergülle) beaufschlagt wurde, bei der Stückzahl einen höheren Wert als der klärschlammkompostbeaufschlagte Standort (B-03).

Betrachtet man die Masse, weist BR-12 (Referenzboden) etwa den gleichen Wert wie B-03 (beaufschlagter Standort) auf.

Abbildung 30:
Summe der Kunststoffpartikel (1–5 mm) in mg/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-BR-NÖ-2473, BG = 1,9 mg/kg TM) und NÖ-04 (KSK-BR-NÖ-3851, BG = 2,0 mg/kg TM).

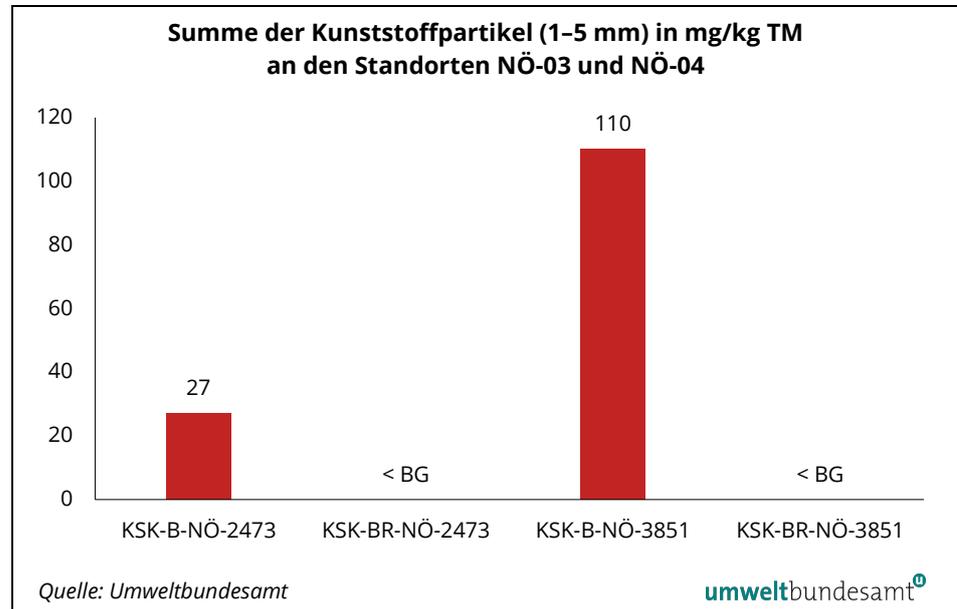
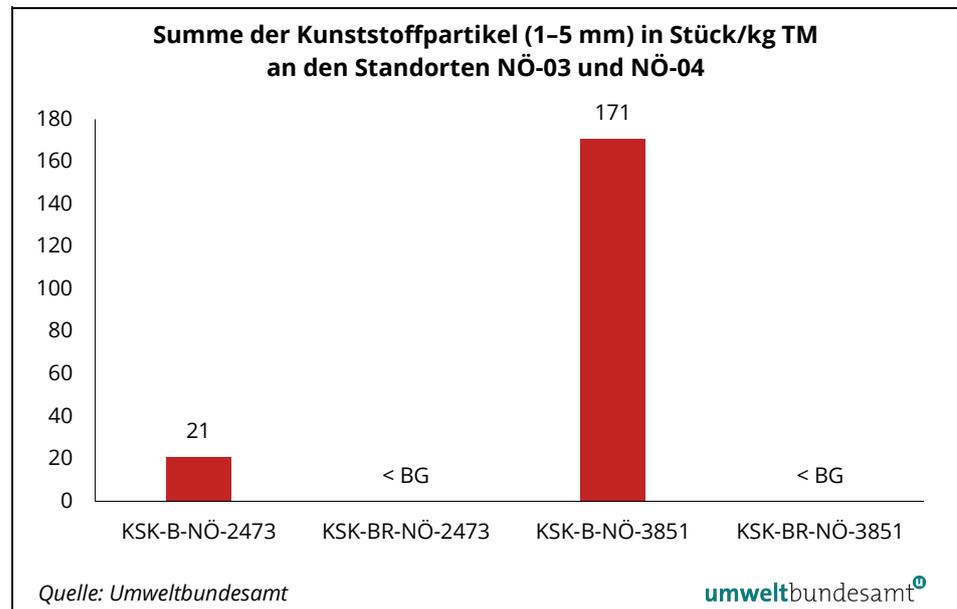


Abbildung 31:
Summe der Kunststoffpartikel (1–5 mm) in Stück/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 (KSK-B-NÖ-2473, BG = 21) (KSK-BR-NÖ-2473, BG = 19) und NÖ-04 (KSK-B-NÖ-3851, BG = 21) (KSK-BR-NÖ-3851, BG = 20).



Vergleich mit der Literatur

Eine Auswertung von 23 bisher durchgeführten Studien zu Mikroplastik in Böden ergab für Standorte mit unterschiedlicher Bewirtschaftung einen Medianwert an Mikroplastik von 1.167 Stück/kg Boden. Werden diese Daten gebündelt nach Eintragspfaden betrachtet, zeigt sich für Standorte, welche mit Klärschlamm beaufschlagt wurden, eine durchschnittliche Belastung von 1.998 Stück/kg (n = 24; 25 % – 999 Stk/kg; 75 % – 3.616 Stk/kg) (Büks und Kauenjohann, 2020).

Die Vergleichbarkeit von Mikroplastikwerten aus verschiedenen Studien ist aktuell aufgrund methodischer Unterschiede nur eingeschränkt möglich. In der vorliegenden Untersuchung konnte jedoch zwischen den Standorten mit einer Beaufschlagung durch Klärschlammkompost und den Referenzstandorten ein deutlicher Unterschied festgestellt werden (B-04 = 627 versus BR-04 = 101 Stk/kg bzw. B-03 = 1.935 versus BR-03 = 173 Stk/kg). Dies stimmt mit Literaturdaten überein und deutet auf einen Eintrag von Mikroplastik durch Klärschlammkompost hin. Die Mikroplastik-Konzentrationen auf dem Standort B-03 sind vergleichbar mit dem oben genannten Durchschnittswert aus anderen Untersuchungen.

Daten speziell zum Mikroplastikeintrag in den Boden mittels Klärschlammkompost sind nicht vorhanden. Einzig eine Untersuchung aus Vorarlberg zeigte in einem Vergleich mit fünf Flächen, dass jene Fläche, die über mehrere Jahre regelmäßig mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurde, die höchsten Mikroplastik-Gehalte aufwies (4.635 Stk/kg) (AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2019b).

In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Mikroplastik-Konzentrationen mit der Anzahl an Klärschlammaufbringungen ansteigen und es somit zu einer Akkumulation im Boden kommen kann. Jedoch ist auch ein Austrag in aquatische Ökosysteme möglich. Witterungsbedingungen, Bodeneigenschaften und die Vegetationsdecke zur Zeit der Aufbringung können dabei die Retention von Mikroplastik im Boden beeinflussen (Corradini et al., 2019, Crossman et al., 2020). Zu den häufigsten Kunststoffarten, welche in Böden gefunden werden, zählen je nach Eintragsquelle vor allem PE und PP, aber auch PS, Polyester und PET. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen dieser Untersuchung (UMWELTBUNDESAMT, 2020c).

Beurteilung der Ergebnisse

Bundesweit festgesetzte Grenzwerte für Mikroplastik (0,05–1 mm) in Böden bzw. in Klärschlammkompost existieren aktuell nicht.

Die österreichische Kompostverordnung weist Grenzwerte für Kunststoffe >2 mm auf. Die Grenzwerte liegen für Kunststoffe >2mm bei 0,2 % TM (entspricht 2.000 mg/kg TM) bei landwirtschaftlicher Ausbringung bzw. bei 0,4 % TM (entspricht 4.000 mg/kg TM) im Bereich Landschaftsbau und für Kunststoffe >20 mm bei 0,02 % TM (200 mg/kg TM) bzw. 0,04 % TM (400 mg/kg TM). Diese Grenzwerte gelten jedoch nur für Komposte, die gemäß Kompostverordnung in Verkehr gebracht werden. Bislang gibt es in Österreich nur eine rechtliche Regelung, welche die Menge von Kunststoffen im Boden betrifft. In der Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung wurden Grenz- und Vorsorgewerte für Fremdstoffe aus Kunststoff und Gummi sowie Verbundstoffen mit Anteilen davon (>1 mm) festgelegt (200 bzw. 100 mg/kg TM). Bewertet man die Massenergebnisse (1–5 mm) der vorliegenden Untersuchung mit diesen Grenz- und Vorsorgewerten, wäre beim Standort B-04 der Vorsorgewert überschritten (Abbildung 30).

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Im Rahmen der aktuellen Untersuchung konnten sieben Kunststoffsorten in der Fraktion 0,05–1 mm identifiziert werden.
- Verglichen mit ausgewählten Literaturdaten liegen die gemessenen Werte in einem ähnlichen Bereich.
- Die Betrachtung von mit Klärschlammkompost beaufschlagten Böden und unbeaufschlagten Referenzböden an zwei Standorten zeigte, dass viele Mikroplastiksorten der beaufschlagten Böden über jenen der Referenzböden lagen.
- Die Summenwerte (sowohl Stk/kg TM als auch mg/kg TM) der beaufschlagten Böden lagen immer über jenen der Referenzböden.
- Diverse Kunststoffsorten sind ausschließlich vom Menschen erzeugte Verbindung, deren Herkunft in den Klärschlammkomposten nicht geklärt ist. **Detaillierte Untersuchungen dazu fehlen**, die jedoch zur genauen Abklärung notwendig wären.
- Für die Beurteilung von Mikroplastik in Klärschlammkompost ist die **Festlegung von bundesweit geltenden Grenzwerten bzw. Richtwerten erforderlich**.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Österreich hat derzeit ein Klärschlammaufkommen von ca. 235.000 Tonnen pro Jahr (t/a) in der Trockenmasse (TM). Mehr als die Hälfte des Klärschlammes wird verbrannt, ca. ein Fünftel findet in der Landwirtschaft Anwendung. Das restliche Viertel wird in mechanisch-biologischen Anlagen, Vererdungsanlagen und Kompostanlagen verwertet. Die erzeugte Menge an Kompost mit Klärschlamm als Ausgangsmaterial ist nicht genau bekannt.

Sowohl im „Green Deal“ als auch im EU-Aktionsplan zur Kreislaufwirtschaft der Europäischen Union wird das Recycling von Materialien bzw. die Wiederverwertung als Priorität hervorgehoben. Eine weitere Priorität der Europäischen Kommission ist der EU-Aktionsplan zur Schadstofffreiheit von Luft, Wasser und Boden. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass das Aufbringen von Klärschlamm als Dünger zu keiner Belastung von Böden, Luft und Wasser führt.

In der Umweltbundesamt-Analyse wurden 14 Klärschlammkomposte und sechs Bodenstandorte auf Schadstoffe untersucht. Auf zwei der Bodenstandorte wurde mehrere Jahre lang Klärschlammkompost eingesetzt, die vier anderen wurden als Referenzstandorte beprobt.

über 500 Parameter analysiert

Insgesamt wurden 570 Parameter analysiert, darunter auch Mikroplastik. 108 dieser Parameter wurden mit spezifischen Analysemethoden untersucht, darunter polychlorierte Biphenyle, polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane, per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen, polybromierte Diphenylether, Organozinnverbindungen und Hexachlorbenzol. 167 Parameter wurden mittels GC-Multikomponentenanalytik geprüft. Bei weiteren 295 Parametern kam Non-Target-Analytik zum Einsatz. Diese neue Screening-Methode dient dem Nachweis von organischen Schadstoffen und natürlich vorkommenden organischen Substanzen.

Insgesamt konnten über 200 Parameter über der Nachweisgrenze bestimmt werden. In den 14 Klärschlammkompostproben wurden fast alle der 108 spezifisch gesuchten Parameter nachgewiesen. Mittels GC-Multimethode wurden 34 der 167 untersuchten Parameter detektiert. Die Non-Target-Analytik ergab zwischen 47 und 102 Substanzen in Klärschlammkomposten. 19–42 % dieser Substanzen kommen natürlich vor und wurden miterfasst.

Auch in den Böden konnte ein Großteil der 108 spezifischen Parameter zumindest in einer Probe nachgewiesen werden, jedoch auf einem viel niedrigeren Niveau als in Klärschlammkompost. Von den polybromierten Diphenylethern (Summe PBDE) etwa wurden maximal 5 % des Schadstoffgehalts im Kompost auch im Boden nachgewiesen, bei Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) bis zu 19 % des Gehalts im Klärschlammkompost. Mittels GC-Multimethode wurden neun Substanzen in den untersuchten Böden detektiert, verglichen mit 34 in Klärschlammkomposten. Die Non-Target-Analyse der Bodenproben ergab positive Befunde für 35–49 Substanzen. 13–34 % dieser Substanzen kommen natürlich vor und wurden miterfasst.

An zwei Standorten in Niederösterreich (NÖ-03 und NÖ-04) wurde eine Reihe von Substanzen nachgewiesen, sowohl im Klärschlammkompost als auch im mit Klärschlammkompost beaufschlagten Boden. Im jeweiligen Referenzboden wurden die Substanzen nicht oder in deutlich geringeren Konzentrationen nachgewiesen. Die Herkunft dieser Substanzen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Klärschlammkompostgaben auf den Boden zurückzuführen (siehe Tabelle A).

***in den Böden
nachgewiesene
Schadstoffe***

An beiden niederösterreichischen Standorten wurden Flammschutzmittel (Summe PBDE, Dechloran), polychlorierte Biphenyle (Indikator-PCB, dl-PCB), per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) und Mikroplastik (PP, PE, PS) in den klärschlammkompostbeaufschlagten Böden detektiert. Zusätzlich wurden am Standort NÖ-04 weitere per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFDoDA, PFHpA, PFOS), polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und Dibenzo-Furane (TEQ-PCDD/F), Arzneimittelwirkstoffe (Paracetamol, Trospium), das Fungizid Epoxiconazol, das Alkaloid Oxindol sowie organische Flammschutzmittel (Trisphosphate) nachgewiesen. Die Vielzahl der Substanzen und Substanzgruppen lässt auf unterschiedliche Eintragspfade schließen. Der Einsatz und die Verwendung der Stoffe ist zwar in den meisten Fällen bekannt, die genaue Herkunft in den jeweiligen Klärschlammkomposten ist jedoch schwer zu erfassen.

***gefährliche
Eigenschaften***

Die Substanzen wurden in Tabelle A mit bestehenden Listen von Stoffen mit endokrin schädigender Wirkung der europäischen Mitgliedsstaaten abgeglichen. Das betrifft Stoffe, die in die Regelungsbereiche der Chemikalienverordnung REACH und der Pflanzenschutzmittelverordnung fallen (Spalte 3). Darüber hinaus wurden Stoffe, die bereits verboten sind und nicht in jene Regelungsbereiche fallen, von Expert:innen geprüft und von der Europäischen Kommission als endokrin schädigende Stoffe identifiziert (Spalte 4). Weiters wurden sonstige Befunde oder Referenzen zu endokriner Schädigung oder Wirksamkeit angeführt (Spalte 5), jedoch ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Diese Stoffe können aufgrund ihrer endokrin schädigenden Eigenschaften negative Auswirkungen auf Mikroorganismen, Pflanzen (Futtermittel bzw. Lebensmittel), auf Tiere sowie auf den Menschen haben. Unter den analysierten Schadstoffen befinden sich auch etliche, die nach der internationalen Stockholm-Konvention als **POPs (persistente organische Schadstoffe)** (Spalte 1) gelistet sind. POPs sind langlebig in der Umwelt, reichern sich in Lebewesen und in der Nahrungskette an und sind darüber hinaus toxisch. Das Ziel der Stockholm-Konvention besteht darin, den Eintrag dieser Stoffe in die Umwelt aufgrund ihrer langfristig umwelt- und gesundheitsschädigenden Wirkung zu minimieren. Zahlreiche dieser Stoffe sind gemäß Richtlinie 1272/2008 als unterschiedlich gefährlich eingestuft. Sie gelten beispielsweise als (möglicherweise) krebserregend, reproduktions- und/oder entwicklungstoxisch sowie toxisch für Wasserorganismen und umweltschädigend (Spalte 2; besonders besorgniserregende Substanzen, SVHC). Zusätzlich zu dieser unmittelbaren Gefahr für Mensch und Umwelt können sie auch in Grund- sowie in Oberflächengewässer ausgewaschen werden und haben das Potenzial, die Organismen im Gewässer zu schädigen oder die Gesundheit zu gefährden.

Tabelle A:
Substanzen, die aufgrund der Beaufschlagung mit Klärschlammkompost in die Böden am Standort NÖ-03 oder NÖ-04 gelangt sind.

	NÖ-03	NÖ-04	Stockholm-Konvention	SVHC Kandidatenliste	ED-Listen I/II/III	EC-Annex 13	Sonstige Hinweise
Perfluordecansäure (PFDA)	X	X		X			
Perfluordodecansäure (PFDoDA)		X		X			
Perfluorhexansäure (PFHxA)	X	X		X			
Perfluorpentansäure (PFPeA)	X	X					
Perfluorheptansäure (PFHpA)		X					
Perfluoroctansäure (PFOA)	X	X	X	X			X ¹⁷
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)		X	X				X ¹⁷
Perfluorononansäure (PFNA)	X	X		X			
TEQ-PCDD/F		X	X			X	X ¹⁸
Polychlorierte Biphenyle (PCB ₆)	X	X	X			X	X ¹⁸
TEQ-PCB	X	X	X			X	
Summe PBDE (BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154)	X	X	X				X ¹⁹ X ²⁰
BDE-209		X	X	X		X	
Decabromdiphenylethan (DBDPE)		X					X ²¹
Dechloran	X	X		X			
Mikroplastik	X	X					
Acetaminophen (Paracetamol)		X					X ¹⁷
Epoxiconazol		X					X ²²
Oxindol		X					
Trospium		X					
Tris(2-chlorpropyl)phosphat		X					X ²³
Tris(2-ethylhexyl)phosphat		X					

Abkürzungen: PBDE: Polybromierte Diphenylether, TEQ: Toxizitätsäquivalent, PCDD/F: Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -Furane; SVHC: Substances of very high concern; ED: Endokrine Disruptoren; Liste I/II/III: Liste I: auf EU-Ebene als ED identifizierte Substanzen. Liste II: Substanzen, die derzeit unter REACH als potenzielle ED evaluiert werden. Liste III: von einer nationalen Behörde derzeit als möglicherweise ED evaluiert. Quelle: <https://edlists.org/>; EC-Annex 13: List of 146 substances with endocrine disruption classifications prepared in the expert meeting (https://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh_annex_13.pdf).

¹⁷ Gore et al. (2015).

¹⁸ EC (2002).

¹⁹ EFSA (2011).

²⁰ Kronborg et al. (2017).

²¹ UMWELTBUNDESAMT (2016).

²² Taxvig et al. (2007).

²³ Bajard et al. (2021).

Bewertung Für die untersuchten Substanzen liegen nur sehr wenige Grenzwerte bzw. Richtwerte vor. Bundesweite Grenzwerte sind in der Kompostverordnung enthalten und umfassen die polychlorierten Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane (PCDD/F, als TEQ), die polychlorierten Biphenyle (PCB) sowie die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK). Die Grenzwerte letzterer gelten jedoch nur für Müllkompost. In einzelnen Bundesländern gelten **Grenzwerte für ausgewählte Stoffe im Klärschlamm** (Kärnten: PAK(6), PCB(6), Dioxin; Steiermark: PAK(16)), **Klärschlammkompost** (Vorarlberg: PCB(7), I-TEQ; Steiermark PAK(16)) bzw. **Vorsorgewerte für Boden** (Vorarlberg: PAK(16), PCB(7), I-TEQ, HCB)).

Die Schadstoffgehalte in den untersuchten Klärschlammkomposten und in den analysierten Böden liegen alle unter den vorliegenden Grenzwerten. Die einzige Ausnahme bildet eine Klärschlammkompostprobe, deren Gehalt an PAK(16) über dem Grenzwert der Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (LGBl. 74/2000) und der Steiermärkischen Klärschlammverordnung 2007 (LGBl. Nr. 89/2007 i.d.g.F.) lag.

Gesundheitlich abgeleitete Werte für Lebensmittel oder tolerierbare Aufnahmemengen für bestimmte Stoffe wurden in den letzten Jahren aufgrund neuer Befunde um mehrere Größenordnungen herabgesetzt. Die Grenzwerte für Klärschlamm, Klärschlammkompost und Böden wurden allerdings noch nicht dahingehend angepasst. Hier besteht dringender Handlungsbedarf, die Schadstoffgehalte im Boden so zu begrenzen, dass die Aufnahme von Schadstoffen aus den Böden in die Lebensmittel gesundheitlich tolerierbar ist.

Dies gilt für folgende Schadstoffgruppen.

- PFAS
- PCDD/F
- PCB
- HCB
- PBDE
- OZV
- NP/NPEO
- BPA
- PAK
- Ausgewählte Phthalate
- Ausgewählte Triphosphate, Kresole, Phenole, Parabene

Vergleich mit Studien zu Klärschlammkompost

Vergleicht man die PFAS-Gehalte (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) in den Klärschlammkomposten mit Literaturwerten, liegen die Maximalwerte für PFHxA, PFNA, PFDA, PFOA und PFOS um das Zwei- bis Zehnfache über jenen einer Studie aus Vorarlberg (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2016). Ein ähnliches Bild liegt auch bei den Nonylphenoethoxylaten vor, wo Nonylphenolmonoethoxylat die vierfachen und Nonylphenoldiethoxylat die neunfachen Gehalte der Vorarlberger Studie aufweist. Die Maximalgehalte der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK(16)) sind doppelt so hoch wie in Vorarlberg, ebenso die Gehalte von Diethylhexylphthalat (DEHP).

Die Untersuchung von 14 Klärschlammkomposten, die wiederum meist ein Gemisch aus mehreren Klärschlämmen aus ganz Österreich darstellen, gibt Hinweise auf derzeitige Konzentrationen. Sie kann jedoch nicht als repräsentative Darstellung der Klärschlammkompostbelastungen gelten. Kapitel 12.13 bietet

eine Zusammenschau, wie häufig der Maximum-Schadstoffgehalt in den unterschiedlichen Klärschlammkomposten vorkommt. Sie zeigt, dass acht von 14 Klärschlammkomposten (>50 %) zumindest einen Schadstoff als Maximum aufweisen, womit man nicht nur von einzelnen belasteten Klärschlammkomposten ausgehen kann.

Beim **Vergleich der Schadstoffgehalte im Boden fällt auf, dass alle Gehalte in etwa gleich hoch oder niedriger sind als bei der Vorarlberger Studie**. Das kann daran liegen, dass die höchsten Schadstoffgehalte im Klärschlammkompost bei Standorten vorlagen, von denen keine Bodenproben untersucht wurden. Es kann aber auch an der Bewirtschaftungsdauer der einzelnen Flächen liegen, die dadurch unterschiedliche Vorbelastungen aufweisen.

Allerdings wurden in der vorliegenden Studie nur zwei Böden untersucht, die mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurden.

**mögliche
Auswirkungen**

Die Auswirkungen der untersuchten Schadstoffe sowie jene von Mikroplastik können nur qualitativ abgeschätzt werden. In den analysierten Proben wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Schadstoffen nachgewiesen, darunter auch persistente organische Schadstoffe (POPs), die hohes Akkumulationsvermögen und hohe Toxizität aufweisen (Tabelle A). Die Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen kann zu einer Anreicherung in der Nahrungskette bzw. Verlagerung in Gewässer führen.

Wie in Kapitel 4.3.2 erläutert, liegt die tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (TWI) für Menschen von per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFHxS, PFOA, PFOS, PFNA) bei 4,4 Nanogramm pro Kilogramm Körpergewicht²⁴. Studien zeigen, dass die TWI in großen Teilen der Bevölkerung überschritten wird und damit bereits ein Risiko für die Gesundheit besteht. Auch der TWI für Dioxine und dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle in Lebensmitteln wurde herabgesetzt und ist mit zwei Pikogramm pro Kilogramm Körpergewicht besonders niedrig. Die Exposition der Bevölkerung liegt fünf- bis fünfzehnmal so hoch und ist somit gesundheitlich bedenklich.

**Schlussfolgerung und
Empfehlungen**

Die vorliegende Studie bestätigt, dass durch das Aufbringen von Klärschlammkompost ein signifikanter Eintrag von Schadstoffen, darunter POPs, in den Boden erfolgt.

POPs sind langlebig in der Umwelt, reichern sich in Lebewesen an und sind darüber hinaus toxisch. Zahlreiche Stoffe sind nach ihrer Gefährlichkeit gemäß Richtlinie 1272/2008 eingestuft. In der vorliegenden Studie lag der **Fokus auf POPs und auf endokrin bzw. das Hormonsystem schädigenden Substanzen**, die ein Risiko für die menschliche Gesundheit und die Umwelt bergen, auch in geringsten Konzentrationen. Im Sinne der Gesundheit und der Lebensmittelsicherheit künftiger Generationen ist daher das Vorsorgeprinzip anzuwenden und jeder vermeidbare Eintrag dieser Stoffe in die Nahrungskette **zu unterlassen**.

²⁴ TWI: tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake).t

Die „EU Soil Strategy 2030“ sieht vor, den Nährstoffverlust des Bodens künftig um mindestens 50 % zu verringern. Dadurch sollen auch um mindestens 20 % weniger Düngemittel verwendet werden (vgl. S 10, Punkt 3.2.3 Closing the nutrient and carbon circle) (EU, 2021).

Daher gilt es, **gegenüberzustellen** und **abzuwägen**: Überwiegt der **Nutzen des Aufbringens von Klärschlammkompost** oder das **Risiko**, das durch den Eintrag von gefährlichen Schadstoffen in landwirtschaftlich genutzte Böden erfolgt?

Um diese Frage zu beantworten, braucht es weitergehende Untersuchungen. Das gilt vor allem vor dem Hintergrund, dass **der Fragestellung im Hinblick auf die Vorgaben der Politik zur Kreislaufwirtschaft und zur Schadstofffreiheit** große Bedeutung zukommt und angesichts der derzeit jährlich anfallenden Klärschlammengen, die einer weiteren Verwertung bzw. Behandlung zugeführt werden müssen.

Damit sich weniger Schadstoffe in den Klärschlämmen bzw. Klärschlammkomposten anreichern, gilt es, **Einträge in das Abwassersystem zu verhindern**. Mögliche Maßnahmen dafür sind **Verbote**, bestimmte Substanzen (z. B. Stockholm-Konvention, REACH) zu erzeugen bzw. zu verwenden, **Vorgaben im Bereich der Abwasserbehandlung** und der Kläranlagen (z. B. forcierter Abbau, Filtern) und **Verhaltensänderungen**, z. B. beim Chemikalien- und Reinigungsmittelgebrauch.

Weiters sind gezielte **Behandlungsmethoden** zu entwickeln, um persistente organische und endokrin schädigende Schadstoffe sowie Mikroplastik in Abwässern, Klärschlämmen und Klärschlammkomposten zu reduzieren. Zudem ist die Wirkung dieser Behandlungsmethoden auf den Eintrag von Schadstoffen in die Umwelt, vor allem in landwirtschaftlich genutzte Flächen, zu überprüfen. Dazu wäre es sinnvoll, weitere Untersuchungen **auf einer größeren Anzahl an Standorten mit gut dokumentierter Bewirtschaftungshistorie** durchzuführen, mit Fokus auf identifizierte, potenziell über den Klärschlammkompost eingetragene gefährliche Schadstoffe.

**mögliche
Handlungsfelder und
Forschungsfragen**

Wie oben dargestellt, sind bei diesem wichtigen Zukunftsthema Zielkonflikte zu adressieren. Handlungs- und Forschungsbedarf besteht unter anderem in folgenden Bereichen:

Untersuchungen von Klärschlamm, Klärschlammkompost und Boden

- Untersuchung auf Nährstoffe und ausgewählte Schadstoffe: Erhebung und Untersuchung von Bodenstandorten mit mehrjähriger Beaufschlagung von Klärschlamm bzw. Klärschlammkompost an gut und durchgängig dokumentierten Standorten, an denen bekannt ist, welche Mengen wann beaufschlagt wurden
- Untersuchung der Schadstoffgehalte und deren Abbauverhalten in Klärschlamm und Klärschlammkompost nach unterschiedlichen Behandlungsverfahren (z. B. Kompostierungsvergleiche in einer Kompostieranlage), in Kooperation mit weiteren Forschungseinrichtungen

Bewertung und Relevanz von Inhaltsstoffen

- Beschreibung und Quantifizierung der Nährstoffe in Klärschlämmen und Klärschlammkomposten
- Zusammenstellung der Daten zu (Öko-)Toxikologie und Risiko der Substanzen sowie der Schadstofffrachten bei der landwirtschaftlichen Verwendung von Klärschlämmen und Klärschlammkompost
- Übersicht über relevante aktuelle Forschungsergebnisse (HBM4EU²⁵, EU-ToxRisk²⁶, WOOD-Studie (WOOD, 2019), inkl. aktuelle Studie) in Bezug auf Risiko durch prioritäre Substanzen
- Literaturrecherche zu Kompostbehandlungsverfahren bzw. Verfahren in verwandten Bereichen (z. B. Abfall, Altlasten) und deren Auswirkung auf die Schadstoffreduktion

Anwendung und Minimierungsmaßnahmen

- Erarbeiten von Vorschlägen zur Reduktion von Schadstoffen und Mikroplastik in Klärschlämmen und Klärschlammkompost, z. B. durch das Verfahren der hydrothermalen Karbonisierung (unter Druck, erhöhte Temperatur), um Schadstoffe zu zerstören; Einfluss der Faulturmbehandlung
- Erhebung bzw. Ausarbeitung von nutzungsspezifischen möglichen Verwendungen von Klärschlammkompost (z. B. Kooperation mit dem Kompost- und Biogas-Verband)
- Organisation und Durchführung von Workshops mit Stakeholder:innen (z. B. Betreiber:innen von Kläranlagen und Kompostieranlagen, Landwirt:innen, Verbände, Kompost- und Biogasverband, Anlagenbetreiber:innen (Pyrolyse, Verbrennung, hydrothermale Karbonisierung etc.).

²⁵ <https://www.hbm4eu.eu/>

²⁶ www.eu-toxrisk.eu

6 SUMMARY

Austria currently produces about 235,000 tonnes of sewage sludge per year (t/a) in dry weight (DW). More than half of the sewage sludge is incinerated, and about one fifth is used in agriculture. The remaining quarter is utilised in mechanical-biological treatment facilities, humification plants and composting plants. The exact amount of compost produced from sewage sludge as a feedstock is not known though.

Both the European Green Deal and the EU's Circular Economy Action Plan emphasise the priority of recycling or reusing materials. The European Commission also gives priority to the EU Action Plan 'Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil'. Against this backdrop, it is important that the application of sewage sludge as fertiliser does not lead to any pollution of soil, air and water.

In the analysis carried out by the Environment Agency Austria, 14 sewage sludge composts and six soil sites were tested for pollutants. At two of these soil sites sewage sludge compost had been applied for several years. The other four sites were sampled as reference sites.

More than 500 parameters analysed

The analysis covered a total of 570 parameters, among them also microplastics. 108 of these parameters, including polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans, per- and polyfluoroalkyl substances, polybrominated diphenyl ethers, organotin compounds and hexachlorobenzene, were examined with specific analysis methods. 167 parameters were examined using gas chromatography multicomponent analysis. For another 295 parameters, non-targeted analysis was employed. This new screening method was used for detecting organic pollutants and naturally occurring organic substances.

In total, more than 200 parameters above the determination limit were detected. Almost all of the 108 parameters that were specifically searched for were detected in the 14 sewage sludge compost samples. Using the GC multicomponent analysis, 34 of the 167 parameters were found. Employing the non-targeted analysis, between 47 and 102 substances were identified in the sewage sludge composts. 19-42 % of these substances occur naturally and were included in the analysis.

Most of the 108 specific parameters were also detected in the soils in at least one sample, however, at a much lower level than in the sewage sludge compost. In the case of polybrominated diphenyl ethers (total PBDEs), for example, the pollutant content in the soil did not exceed 5 % of that detected in the compost, and for perfluorooctane sulfonic acid (PFOS), the content in the soil was up to 19 % of that in the sewage sludge compost. Using the GC multicomponent analysis, nine substances were detected in the examined soils, compared to 34 substances in the sewage sludge composts. The non-targeted analysis of the soil samples yielded positive findings for 35 to 49 substances. 13-34 % of these substances occur naturally and were included in the analysis.

At two sites in Lower Austria (NÖ-03 and NÖ-04), a number of substances were detected, both in the sewage sludge compost and in the soil to which sewage sludge compost had been applied. In the respective reference soil, these substances were not detected at all or in significantly smaller concentrations. These substances originate most likely from the applications of sewage sludge compost on the soil (see Table A).

Pollutants detected in the soil

At both Lower Austrian sites, flame retardants (total PBDEs, Dechlorane), polychlorinated biphenyls (indicator-PCB, DL-PCB), per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and microplastics (PP, PE, PS) were detected in the soil to which sewage sludge compost had been applied. In addition, at the NÖ-04 site, other per- and polyfluoroalkyl substances (PFDoDA, PFHpA, PFOS), polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F TEQ), drug substances (Paracetamol, Trospium), the fungicide Epoxiconazole, the Oxindole alkaloid as well as organic flame retardants (trisphosphates) were detected. The large number of substances and substance groups suggests that there were different entry paths. While the use and application of the substances is known in most cases, the exact origin in the respective sewage sludge composts is difficult to determine.

Hazardous properties

The substances were checked against existing lists of endocrine disrupting substances of the European member states. This involves substances that are regulated under the European Chemicals Regulation (REACH) and the Plant Protection Products Regulation (Column 3). Furthermore, substances that are already prohibited and do not fall in those regulatory areas were examined by experts and identified by the European Commission as endocrine disruptors (Column 4). Moreover, other findings or references for endocrine disrupting properties were listed (Column 5), however, without any claim of being exhaustive. These substances may have adverse effects on microorganisms, plants (feed or food), animals and humans due to their endocrine disrupting properties. Among the pollutants analysed are also some that are listed as **POPs (persistent organic pollutants)** (Column 1) in the international Stockholm Convention. POPs persist in the environment, accumulate in living organisms and in the food chain and are also toxic. The objective of the Stockholm Convention is to minimise the release of these substances into the environment as they have long-term adverse effects on human health and the environment. Many of these substances are classified in different hazard classes according to Regulation No. 1272/2008. For example, they are considered (possibly) carcinogenic, toxic for reproduction and/or development and toxic to aquatic organisms and damaging to the environment (Column 2; Substances of very high concern, SVHC). Apart from posing these imminent threats to human health and the environment, these substances may be leached into ground or surface water and can harm aquatic organisms or endanger health.

Table A:
Substances that were introduced into the soil at the NÖ-03 or NÖ-04 sites because sewage sludge compost had been applied.

	NÖ-03	NÖ-04	1 Stockholm Convention	2 Candidate List of SVHC	3 ED Lists I/II/III	4 EC Annex 13	5 Other references
Perfluorodecanoic acid (PFDA)	X	X		X			
Perfluorododecanoic acid (PFDoDA)		X		X			
Perfluorohexanoic acid (PFHxA)	X	X		X			
Perfluoropentanoic acid (PFPeA)	X	X					
Perfluoroheptanoic acid (PFHpA)		X					
Perfluorooctanoic acid (PFOA)	X	X	X	X			X ²⁷
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)		X	X				X ¹⁷
Perfluorononanoic acid (PFNA)	X	X		X			
PCDD/F TEQ		X	X			X	X ²⁸
Polychlorinated biphenyls (PCB(6))	X	X	X			X	X ¹⁸
PCB TEQ	X	X	X			X	
Total PBDEs (BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154)	X	X	X				X ²⁹ X ³⁰
BDE-209		X	X	X		X	
Decabromodiphenyl ethane (DBDPE)		X					X ³¹
Dechlorane	X	X		X			
Microplastics	X	X					
Acetaminophen (Paracetamol)		X					X ¹⁷
Epoxiconazole		X					X ³²
Oxindole		X					
Trospium		X					
Tris(2-chloropropyl) phosphate		X					X ³³
Tris(2-ethylhexyl) phosphate		X					

Abbreviations: PBDEs: polybrominated diphenyl ethers, TEQ: toxic equivalent, PCDD/F: polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans; SVHC: Substances of very high concern; ED: Endocrine disruptors; Lists I/II/III: List I: substances identified as endocrine disruptors at EU level. List II: substances under evaluation for endocrine disruption under REACH. List III: substances considered, by the evaluating National Authority, to have endocrine disrupting properties. Source: <https://edlists.org/>; EC Annex 13: List of 146 substances with endocrine disruption classifications prepared in the expert meeting (https://ec.europa.eu/environment/archives/docum/pdf/bkh_annex_13.pdf).

²⁷ Gore et al. (2015).

²⁸ EC (2002).

²⁹ EFSA (2011).

³⁰ Kronborg et al. (2017).

³¹ Environment Agency Austria (2016).

³² Taxvig et al. (2007).

³³ Bajard et al. (2021).

Assessment Only very few limit values or reference values are available for the analysed substances. The Austrian Compost Ordinance (*Kompostverordnung*) defines nationwide limit values, including those for polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F TEQ), polychlorinated biphenyls (PCB) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The latter, however, only apply to composts from wastes. **Limit values for selected substances in sewage sludge** apply in individual federal provinces (Carinthia: PAH(6), PCB(6), dioxin; Styria: PAH(16)), **sewage sludge compost** (Vorarlberg: PCB(7), I-TEQ; Styria: PAH(16)) or **precautionary values for soil** (Vorarlberg: PAH(16), PCB(7), I-TEQ, HCB)).

All levels of pollutants in the examined sewage sludge composts and in the analysed soils are below the given limit values. The only exception is a sewage sludge compost sample with a PAH(16) content exceeding the limit value of the Carinthian Sewage Sludge and Compost Ordinance (*Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung*; State Law Gazette no. 74/2000) and the Styrian Sewage Sludge Ordinance 2007 (*Steiermärkische Klärschlammverordnung*; State Law Gazette no. 89/2007 as amended).

Health-based guidance values for food or tolerable intake levels for certain substances have been lowered in the past few years by several orders of magnitude due to new findings. The limit values for sewage sludge, sewage sludge compost and soil, however, have not been adapted in this respect. Urgent action is therefore required to limit the pollutant concentrations in the soil so that the entry of soil pollutants into the food chain is tolerable from a health perspective.

This applies to the following groups of pollutants:

- PFAS
- PCDD/F
- PCB
- HCB
- PBDE
- Organotin compounds
- NP/NPEO
- BPA
- PAH
- Selected phthalates
- Selected triphosphates, cresols, phenols, parabens

Comparison with studies on sewage sludge compost

When comparing the levels of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in the sewage sludge composts with literature values, the maximum values for PFHxA, PFNA, PFDA, PFOA and PFOS are two to ten times higher than those from a study from the federal province of Vorarlberg (*Amt der Vorarlberger Landesregierung*, 2016). A similar picture emerges when looking at nonylphenol ethoxylates: nonylphenol monoethoxylate has four times the content and nonylphenol diethoxylate has nine times the levels of the Vorarlberg study. The maximum levels of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH16) are twice as high as those in Vorarlberg, as is the level of diethylhexyl phthalate (DEHP).

The analysis of 14 sewage sludge composts, most of which are mixtures of several sewage sludges from across Austria, gives indications of current concentra-

tions. However, it cannot be considered a representative depiction of the contamination of sewage sludge compost. Chapter 12.13 provides an overview of how frequently pollutants are found at maximum concentrations in the various sewage sludge composts. It shows that in eight out of 14 sewage sludge composts (>50%) at least one pollutant occurs at maximum concentration, suggesting that probably not only individual sewage sludge composts are polluted.

When **comparing the pollutant levels in the soil, it is striking that all levels are about equal to or lower than the values of the Vorarlberg study**. This may be due to the fact that the highest pollutant levels in sewage sludge composts were detected at sites where no corresponding soil samples were analysed. However, this may also be due to the different cultivation periods of the individual areas, which have resulted in different levels of previous soil contamination.

The analysis of the present study, however, covers only two soils to which sewage sludge compost had been applied.

Possible effects

The effects of the pollutants examined and the microplastics can only be estimated qualitatively. A variety of different pollutants were detected in the analysed samples, among them persistent organic pollutants (POPs), which show a high ability to accumulate and are highly toxic (Table A). The application of these substances to agricultural land may lead to an accumulation in the food chain and/or the transfer to water bodies.

As explained in Chapter 4.3.2 the tolerable weekly intake (TWI) for per- and polyfluoroalkyl substances (PFHxS, PFOA, PFOS, PFNA) is set at 4.4 nanograms per kilogram of human body weight³⁴. Studies have shown that the TWI values are exceeded by large parts of the population, which already poses a risk to health. Likewise, the TWI for dioxins and dioxin-like polychlorinated biphenyls in food was reduced to 2 picograms per kilogram of body weight, which is a particularly low value. Exposures in the population are five to 15 times the new TWI and therefore constitute a health concern.

Conclusion and recommendations

This study confirms that the application of sewage sludge compost leads to a significant transfer of pollutants, including POPs, to soils.

POPs persist in the environment, accumulate in living organisms and are also toxic. Several substances are classified according to their level of hazard pursuant to Regulation No. 1272/2008. This study **focused on POPs and endocrine disruptors**, which constitute a risk to human health and the environment, even at extremely low concentrations. To safeguard the health and food safety of future generations, it is necessary to apply the precautionary principle and **prevent** any avoidable input of these substances into the food chain.

The objective of the EU Soil Strategy for 2030 is to reduce nutrient losses of the soil by at least 50% in the future. This is expected to lead to a reduction in fertiliser use of at least 20% (cf. chapter 3.2.3 Closing the nutrient and carbon circle).

³⁴ TWI: tolerable weekly intake; BW: body weight

Therefore, the following needs to be **compared** and **evaluated**: Does the **benefit of applying sewage sludge compost** outweigh the **risk** caused by the entry of hazardous pollutants into agricultural soil?

Additional investigations are needed to answer this question. This is especially due to the great **importance of the issue in view of the policy guidelines on circular economy and zero pollution**, and considering the quantities of sewage sludge produced every year that need to be recycled or undergo further treatment.

In order to reduce the accumulation of pollutants in sewage sludge and in sewage sludge composts, it is essential to **prevent the release into the sewage system**. Measures to reach this aim may include **bans** on the production or use of certain substances (e.g. Stockholm Convention, REACH), **guidelines in the field of waste water treatment** and sewage plants (e.g. forced degradation, filtering) and **changes in behaviour**, for example regarding the use of chemicals and detergents.

Furthermore, targeted **treatment methods** need to be developed to reduce persistent organic pollutants and endocrine disruptors as well as microplastics in waste water, sewage sludge and sewage sludge composts. In addition, the impact of these treatment methods on the introduction of pollutants to the environment, especially agricultural land, needs to be investigated. To this end, it would be advisable to carry out further investigations **at a greater number of sites with a well-documented management history**, with a focus on identified hazardous pollutants that were possibly introduced via sewage sludge compost.

Possible fields of action and research questions

As stated above, conflicting goals have to be addressed in this key issue for the future. There is a need for action and research in the following areas, among others:

Analyses of sewage sludge, sewage sludge compost and soil

- Testing for nutrients and selected pollutants: Survey and analysis of soil sites on which sewage sludge and sewage sludge composts have been applied for many years, selecting well and consistently documented sites where the quantities and times of application are known
- Examination of the concentration of pollutants and their degradation behaviour in the sewage sludge and sewage sludge compost after different treatment processes (e.g. composting comparisons in a composting plant), in cooperation with other research facilities

Assessment and relevance of constituents

- Description and quantification of nutrients in sewage sludge and sewage sludge composts
- Collection of data on the (eco)toxicology and risk of the substances as well as the pollutant loads when using sewage sludge and sewage sludge compost in agriculture

- Overview of relevant recent research findings (HBM4EU³⁵, EU-ToxRisk³⁶, WOOD-Studie (WOOD, 2019), including the current study) with regard to the risk posed by priority substances
- Literature research on compost treatment processes or processes in related fields (e.g. waste, contaminated sites) and their impact on pollutant reduction

Application and mitigation measures

- Development of proposals for reducing pollutants and microplastics in sewage sludge and sewage sludge compost, e.g. by employing the process of hydrothermal carbonisation (at elevated temperature and pressure) to destroy pollutants; influence of digestion tank treatment
- Survey/development of specific possible uses of sewage sludge compost (e.g. cooperation with the Austrian compost and biogas association)
- Organisation and implementation of workshops with stakeholders (e.g. operators of sewage plants and composting plants, farmers, associations, Austrian compost and biogas association, plant operators (pyrolysis, incineration, hydrothermal carbonisation, etc.)

³⁵ <https://www.hbm4eu.eu/>

³⁶ www.eu-toxrisk.eu

7 ABKÜRZUNGEN

4-NP.....	4-Nonylphenol
a.....	Jahr
AGES.....	Österreichische Agentur für Ernährungssicherheit
ATR.....	Aus dem Englischen: attenuated total reflection (abgeschwächte Totalreflexion)
B.....	Burgenland
B[a]P.....	Benzo[a]pyren
BBP.....	Benzylbutylphthalat = Butylbenzylphthalat
BfR.....	Bundesinstitut für Risikoforschung
BG.....	Bestimmungsgrenze
BGBL.....	Bundesgesetzblatt
BMK.....	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
BMLFUW.....	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft
BMNT.....	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
BPA.....	Bisphenol A
CAL.....	Calcium-Acetat-Lactat-Extraktion (pflanzenverfügbarer Anteil)
CLP.....	Classification, Labelling, Packaging (Einstufung, Kenn- zeichnung und Verpackung) (CLP-Verordnung)
CPH.....	Chlorphenole
DBDPE.....	Decabromdiphenylethan
DBT.....	Dibutylzinnkation
DBP.....	Dibutylphthalat
DCHP.....	Dicyclohexylphthalat
DDcP.....	Didecylphthalat
DDT.....	Dichlordiphenyltrichlorethan
DEP.....	Diethylphthalat
DEHP.....	Di-(2-ethylhexyl)-phthalat

DiBP.....	Di-(2-methylpropyl)-phthalat
dl-PCB	dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dioxin like)
DnBP	Di-n-butyl-phthalat
DMP.....	Dimethylphthalat
DOT	Diocetylzinnkation
DOP	Diocetylphthalat
DP	Dechloran Plus
DPP.....	Dipropylphthalat
DPT	Diphenylzinnkation
DUP	Diundecylphthalat
EC.....	European Commission
ECHA	European Chemical Agency
ED	Endokrine Disruptoren
EFSA.....	European Food Safety Authority
EPA	US Environmental Protection Agency
EU	Europäische Union
EVAC.....	Ethylen-Vinylacetat-Copolymer
EW	Einwohner
EWG.....	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FM.....	Frischmasse
FTIR.....	Fourier-Transformation-Infrarot-Spektroskopie
GC-HRMS	hochauflösende Massenspektrometrie
GC-MS/MS	Tandemmassenspektrometrie
HCB	Hexachlorbenzol
HCH.....	Hexachlorcyclohexan
i.d.g.F.....	in der geltenden Fassung
IKB	Innsbrucker Kommunalbetriebe
I-TEQ der NATO	Internationales Toxizitätsäquivalent der NATO (North Atlantic Treaty Organisation)
K.....	Kärnten

KAK _{eff}	Effektive Kationenaustauschkapazität
KG	Körpergewicht
KS.....	Klärschlamm
KSK	Klärschlammkompost
KSK-B.....	Klärschlammkompostbeaufschlagter Boden
KSK-BR	Referenzboden, ohne Klärschlammbeaufschlagung
NÖ	Niederösterreich
NÖ-03.....	Standort Niederösterreich 2473
NÖ-04.....	Standort Niederösterreich 3851
NÖ-12.....	Standort Niederösterreich 3441
LB.....	Lower Bound
LC-MS/MS	Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit Tandem-Massenspektrometrie
LF	Leitfähigkeit
LfL.....	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
LGBI.....	Landesgesetzblatt
LM.....	Lösemittel, Lösungsmittel
IS.....	Lehmiger Sand
MB	Medium Bound
MBA.....	Mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MBT	Monobutylzinnkation
MKA.....	Multikomponenten-Analytik
MOT.....	Monooctylzinnkation
n.a.....	nicht analysiert
N-Et-FOSA	N-Ethyl-Perfluorsulfonamid
NG	Nachweisgrenze
n.n.	nicht nachweisbar
NPEO.....	Nonylphenoethoxylate
NP1EO.....	Nonylphenol-mono-ethoxylat
NP2EO.....	Nonylphenol-di-ethoxylat

NTA.....	Non-Target-Analytik
OECD.....	Organisation for Economic Co-operation and Development
OZV.....	Organozinnverbindungen
ÖPUL.....	Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft
P.....	Phosphor
PA.....	Polyamid
PAK.....	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBDE.....	Polybromierte Diphenylether
PBT.....	persistent, bioakkumulativ und toxisch
PCB.....	Polychlorierte Biphenyle
PCBT.....	Polychlorierte Benzyltoluol
PCDD/F.....	Polychlorierte Dibenzo- <i>p</i> -Dioxine und -Furane
PE.....	Polyethylen
PET.....	Polyethylenterephthalat
PFAS.....	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen
PFBA.....	Perfluorbutansäure
PFBS.....	Perfluorbutansulfonsäure
PFC.....	Polyfluorierte Verbindungen (Polyfluorierte Chemikalien) (veraltete Abk.)
PFDA.....	Perfluordecansäure
PFDoDA.....	Perfluordodecansäure
PFHpA.....	Perfluorheptansäure
PFHxA.....	Perfluorhexansäure
PFHxS.....	Perfluorhexansulfonsäure
PFNA.....	Perfluornonansäure
PFNS.....	Perfluornonansulfonsäure
PFOA.....	Perfluorooctansäure
PFOS.....	Perfluorooctansulfonsäure
PFOSA.....	Perfluorooctansulfonamid

PFTeDA	Perfluortetradecansäure
PFUnDA.....	Perfluorundecansäure
PMMA.....	Polymethylmethacrylat
POM	Polyoxymethylen
POP.....	persistent organic pollutant
PP	Polypropylen
PS.....	Polystyrol
PU	Polyurethan
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien) (REACH-Verordnung)
S.....	Salzburg
sL	Sandiger Lehm
St.....	Steiermark
sU	Sandiger Schluff
SVHC.....	Besonders besorgniserregende Substanzen (substances of very high concern)
T.....	Tirol
TA.....	Target-Analytik
TBT	Tributylzinnkation
TBTO	Tributylzinnoxid
TCDD	Tetrachlor-Dibenzo- <i>p</i> -dioxin
TCPP	Tris(2-chlorpropyl)phosphat
TDI	tolerierbare tägliche Aufnahmemenge
TEF.....	Toxizitätsäquivalentfaktoren
TEHP.....	Tris(2-ethylhexyl)phosphat
TEQ.....	Toxizitätsäquivalent (toxic equivalent)
TM.....	Trockenmasse
TOC.....	Total organic carbon (organischer Kohlenstoff)
TPT.....	Triphenylzinnkation

TeBT	Tetraäthylzinnkation
TWI	tolerierbare wöchentliche Aufnahmemenge (tolerable weekly intake)
UB.....	Upper Bound
V.....	Vorarlberg
vPvB.....	very persistent very bioaccumulative
WHO.....	World Health Organisation

8 LITERATUR

- ABRIL, C., J.L. SANTOS, J.L. MALVAR, J. MARTÍN, I. APARICIO und E. ALONSO, 2018. Determination of perfluorinated compounds, bisphenol A, anionic surfactants and personal care products in digested sludge, compost and soil by liquid-chromatography-tandem mass spectrometry [online]. *Journal of Chromatography A*, **1576**, 34-41. ISSN 00219673. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.chroma.2018.09.028
- AGES, 2015. Risikobewertung zur Hexachlorbenzol-Belastung in Lebensmitteln aus dem Görtschitztal - Datenlage 27. März 2014 bis 20. März 2015. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://wissenaktuell.ages.at/risikobewertung-zum-auftreten-von-hexachlorbenzol-im-goertschitztal-2014-und-2015/>
- AGES, 2020a. AGES_20087877-001_Prüfbericht_KSK-B-NÖ-2473 (03).
- AGES, 2020b. AGES_20087877-002_Prüfbericht_KSK-BR-NÖ-2473(03).
- AGES, 2020c. AGES_20087877-003_Prüfbericht_KSK-B-NÖ-3851(04).
- AGES, 2020d. AGES_20087877-004_Prüfbericht_KSK-BR-NÖ-3851(04).
- AGES, 2020e. AGES_20087877-005_Prüfbericht_KSK-B-NÖ-3441(12).
- AGES, 2020f. AGES_20087877-006_Prüfbericht_KSK-BR-NÖ-3441(12).
- AGES, 2020g. Information zu HCB. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.ages.at/mensch/ernaehrung-lebensmittel/rueckstaende-kontaminanten-von-a-bis-z/hexachlorbenzol>
- AGES, 2021. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.ages.at/themen/rueckstaende-kontaminanten/polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak/>
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2005. SCHEFFKNECHT CH.: Klärschlammkompost – Abbauverhalten von Schadstoffe während der Kompostierung. Bericht UI-1/2005 des Umweltinstituts, Bregenz [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472546/KI%C3%A4rschlammkompost.pdf/7e09662a-071d-602b-c672-cf8040f5cc87>

- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2016. CLARA M., HARTMANN CH., SCHEFFKNECHT CH.: Klärschlamm und Boden - Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genutzte Böden. Bericht UI-05/2016 des Umweltinstituts, Bregenz [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472528/Eintrag+von+Spurenstoffen+auf+landwirtschaftlich+gen%C3%BCtzt+B%C3%B6den.pdf/9517b6c0-c879-adeb-d234-67ef1b906b59?t=1616153404947>
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2017. HUMER M.: Wie kommt Plastik in den Boden? Störstoffe in Komposten, Gärrückständen und Böden Vorarlbergs. Bericht UI-10/2019 des Umweltinstituts, Bregenz [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472221/St%C3%B6rstoffe.pdf/a3399d1e-899d-42f3-f2f0-c1134160e8d2?t=1616164955596>
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2019a. HUMER M.: Klärschlammkompost. Düngung in der Landwirtschaft. Bericht 2018 - Auswertung der zentralen Klärschlammbuchhaltung. Bericht UI-10/2019 des Umweltinstituts, Bregenz [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472458/Kl%C3%A4rschlammkompost+-+Kontrollbericht+2018.pdf/fe361271-8bc5-d43a-cec0-50f75f56d2d5>
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2019b. SEXLINGER K., HUMER M., SCHEFFKNECHT CH.: Kunststoffe im Boden – Untersuchung zu Kunststoffverunreinigungen in landwirtschaftlichen Böden Vorarlbergs. Bericht UI-04/2019 des Umweltinstituts, Bregenz [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://vorarlberg.at/documents/302033/472824/Kunststoffe+im+Boden.pdf/94e510ee-974e-c8db-0f0b-0b784d9f43ba>
- AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG, 2021. Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Vorarlbergs Umwelt.
- ARGE KOMPOST & BIOGAS, 2012. Handzettel für Kompostanlagenbetreiber - Mindeststandards einer ordnungsgemäßen Kompostierung.
- ATSDR, 2015. Toxicological Profile for Hexachlorobenzene.
- ATSDR's *Toxicological Profiles*, 2002: CRC Press. ISBN 978-1-4200-6188-8.
- BAJARD, L., C.K. NEGI, V. MUSTIELES, L. MELYMUK, S. JOMINI, J. BARTHELEMY-BERNERON, M.F. FERNANDEZ und L. BLAHA, 2021. Endocrine disrupting potential of replacement flame retardants - Review of current knowledge for nuclear receptors associated with reproductive outcomes [online]. *Environment International*, **153**, 106550. ISSN 0160-4120. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.envint.2021.106550

- BARČAUSKAITĖ, K., R. ŽYDELIS und R. MAŽEIKA, 2020. Screening of chemical composition and risk index of different origin composts produced in Lithuania [online]. *Environmental Science and Pollution Research International*, **27**(19), 24480-24494. ISSN 0944-1344. Verfügbar unter: doi:10.1007/s11356-020-08605-7
- BFR, 2007. BfR rät von einer Übernahme der neuen Toxizitätsäquivalentfaktoren (WHO-TEF) in die gesetzlichen EU-Regelungen für Lebens- und Futtermittel ab - Stellungnahme Nr. 003/2007 des BfR vom 4. September 2006. Bundesinstitut für Risikobewertung [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/bfr_raet_von_einer_uebernahme_der_neuen_toxizitaetsaequivalentfaktoren_ab.pdf
- BFR, 2011. Organozinnverbindungen in verbrauchernahen Produkten - Aktualisierte Stellungnahme Nr.034/2011 des BfR vom 2. August 2011. Bundesinstitut für Risikobewertung [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
https://www.bfr.bund.de/cm/343/organozinnverbindungen_in_verbrauchernahen_produkten.pdf
- BLÄSING, M. und W. AMELUNG, 2018. Plastics in soil: Analytical methods and possible sources [online]. *The Science of the Total Environment*, **612**, 422-435. The Science of the Total Environment. Verfügbar unter:
 doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.086
- BLUM, W., H. SPIEGEL und W.W. WENZEL, 1996. Bodenzustandsinventur – Konzeption, Durchführung und Bewertung. 2. Überarbeitete Auflage.
- BMK, 2019. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2019.
- BMK, 2020a. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2020.
- BMK, 2020b. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich, Statusbericht 2020 (Referenzjahr 2018). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.
- BMK, 2021. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021.
- BMLFUW, 2017a. Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, Teil 1.
- BMLFUW, 2017b. Richtlinie für die sachgerechte Düngung im Ackerbau und Grünland. Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 7. Auflage.
- BMNT, 2018a. Kommunales Abwasser: Österreichischer Bericht 2018.
- BMNT, 2018b. Statusbericht 2018.

- BOOTS, B., C.W. RUSSELL und D.S. GREEN, 2019. Effects of Microplastics in Soil Ecosystems: Above and Below Ground [online]. *Environmental Science and Technology*, **53**(19), 11496-11506. ISSN 0013-936X. Verfügbar unter: doi:10.1021/acs.est.9b03304
- BÜKS, F. und M. KAUPENJOHANN, 2020. Global concentrations of microplastics in soils – a review [online]. *SOIL*, **6**(2), 649-662. SOIL. Verfügbar unter: doi:10.5194/soil-6-649-2020
- BVL, 2017. Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland; Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2015.
- CORRADINI, F., P. MEZA, R. EGUILUZ, F. CASADO, E. HUERTA-LWANGA und V. GEISSEN, 2019. Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from sewage sludge disposal [online]. *The Science of the Total Environment*, **671**, 411-420. The Science of the Total Environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.03.368
- CROSSMAN, J., R.R. HURLEY, M. FUTTER und L. NIZZETTO, 2020. Transfer and transport of microplastics from biosolids to agricultural soils and the wider environment [online]. *The Science of the Total Environment*, **724**, 138334. The Science of the Total Environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138334
- EC, 2001. Organic contaminants in sewage sludge for agricultural use. European Commission [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/presentations/11_pruess.pdf
- EC, 2002. Endocrine disruptors: Study on gathering information 435 substances with insufficient data.
- EC, 2011. Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs), polychlorinated dibenzofurans (PCDFs), and dioxin-like polychlorinated biphenyls (DL-PCBs). Dioxin and Dioxin-Like PCBs EQS dossier 2011. European Commission [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://circabc.europa.eu/sd/a/f0d90906-c361-4af1-82b1-d2e52f826c14/Dioxins%20%26%20PCB-DL%20EQS%20dossier%202011.pdf>
- EC, 2012. Occurrence and levels of selected compounds in European Sewage Sludge Samples - Results of a Pan-European Screening Exercise (FATE SEES). European commission - Joint Research Centre - SPSR/EC.
- EC, 2018. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat und den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Für einen umfassenden Rahmen der Europäischen Union für endokrine Disruptoren. European Commission [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2018/0501-0600/582-18.pdf?__blob=publicationFile&v=1

- EC, 2020. Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft – Bewertung. European Commission [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12328-Verwendung-von-Klaerschlamm-in-der-Landwirtschaft-Bewertung_de
- ECHA, 2014. Background document Background document to the Opinion on the Annex XV dossier proposing restrictions on NONYLPHENOL and NONYLPHENOL ETHOXYLATES. European Chemicals Agency [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/documents/10162/8bdb40dc-1367-480e-8d81-b5d308bc5f81>
- ECHA, 2020. Dechlorane Plus_draft risk profile_17 Feb 2020_19144_en.
- ECHA, 2021a. ANNEX XVII TO REACH – Conditions of restriction. Restrictions on the manufacture, placing on the market and use of certain dangerous substances, mixtures and articles - Entry 46a. European Chemicals Agency [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://iuclid6.echa.europa.eu/documents/10162/7dcd73a4-e80d-47c5-ba0a-a5f4361bf4b1>
- ECHA, 2021b. Datenbank des C&L-Verzeichnisses. European Chemicals Agency [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database>
- ECHA, 2021c. Liste der für eine Zulassung in Frage kommenden besonders besorgniserregenden Stoffe. European Chemicals Agency [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/candidate-list-table>
- ECHA, 2021d. Perfluoroalkyl chemicals (PFAS). European Chemicals Agency [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- ECHA, 2021e. *Substance Information - Polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH)* [online]. 22. November 2021 [Zugriff am: 22. November 2021]. Verfügbar unter: <https://echa.europa.eu/de/substance-information/-/substanceinfo/100.239.209>
- EC-SCHEER, 2020. Guidelines on the benefit-risk assessment of the presence of phthalates in certain medical devices covering phthalates which are carcinogenic, mutagenic, toxic to reproduction (CMR) or have endocrine-disrupting (ED) properties [online]. *Regulatory toxicology and pharmacology : RTP*, **111**, 104546. Regulatory toxicology and pharmacology : RTP. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.yrtph.2019.104546

- EFSA CONTAM PANEL, 2018. Risk for animal and human health related to the presence of dioxins and dioxin-like PCBs in feed and food [online]. *EFSA Journal. European Food Safety Authority*, **16**(11: 5333), 1-331. EFSA journal. European Food Safety Authority. Verfügbar unter: doi:10.2903/j.efsa.2018.5333
- EFSA, 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food - Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. European Food Safety Authority [online]. *EFSA Journal*, **6**(8), 724. ISSN 18314732. Verfügbar unter: doi:10.2903/j.efsa.2008.724
- EFSA, 2011. Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. European Food Safety Authority [online]. *EFSA Journal*, **9**(5), 2156. ISSN 18314732. Verfügbar unter: doi:10.2903/j.efsa.2011.2156
- EFSA, 2020. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. European Food Safety Authority [online]. *EFSA Journal*, **18**(9), e06223. ISSN 18314732. Verfügbar unter: doi:10.2903/j.efsa.2020.6223
- EU, 2021. EU Bodenstrategie 2030 COM(2021)699.
- FIJALKOWSKI, K., A. RORAT, A. GROBELAK und M.J. KACPRZAK, 2017. The presence of contaminations in sewage sludge - The current situation [online]. *Journal of Environmental Management*, **203**(Pt 3), 1126-1136. ISSN 03014797. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.jenvman.2017.05.068
- GORE, A.C., V.A. CHAPPELL, S.E. FENTON, J.A. FLAWS, A. NADAL, G.S. PRINS, J. TOPPARI und R.T. ZOELLER, 2015. Executive Summary to EDC-2: The Endocrine Society's Second Scientific Statement on Endocrine-Disrupting Chemicals [online]. *Endocrine Reviews*, **36**(6), 593-602. ISSN 0163-769X. Verfügbar unter: doi:10.1210/er.2015-1093
- JIN, Y., L. WANG, M. RUAN, J. LIU, Y. YANG, C. ZHOU, B. XU und Z. FU, 2011. Cypermethrin exposure during puberty induces oxidative stress and endocrine disruption in male mice [online]. *Chemosphere*, **84**(1), 124-130. Chemosphere. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.chemosphere.2011.02.034
- KRONBORG, T.M., J.F. HANSEN, Å.K. RASMUSSEN, K. VORKAMP, C.H. NIELSEN, M. FREDERIKSEN, J. HOFMAN-BANG, C.H. HAHN, L. RAMHØJ und U. FELDT-RASMUSSEN, 2017. The flame retardant DE-71 (a mixture of polybrominated diphenyl ethers) inhibits human differentiated thyroid cell function in vitro [online]. *PLoS ONE*, **12**(6), e0179858. PLoS ONE. Verfügbar unter: doi:10.1371/journal.pone.0179858
- LABO, 2017. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. 4. überarbeitete und ergänzte Auflage, 2017. Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden.
- LEHMANN, A., K. FITSCHEN und M. RILLIG, 2019. Abiotic and Biotic Factors Influencing the Effect of Microplastic on Soil Aggregation [online]. *Soil Systems*, **3**(1), 21. Soil Systems. Verfügbar unter: doi:10.3390/soilsystems3010021

- LFL, 2006. PFT-Gehalte in Bodenproben von mit Klärschlamm (KS) und Bioabfallkomposten (BAK) beaufschlagten landwirtschaftlichen Nutzflächen (Beprobung September 2006). Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/pft_gehalte_kl_rschlamm.pdf
- MIYAGAWA, S., T. SATO und T. IGUCHI, 2021. Octylphenol. In: *Handbook of Hormones*: Elsevier, S. 1001-1002. ISBN 9780128206492.
- MUÑOZ, M., M.A. GARRIDO, M.F. GOMEZ-RICO und R. FONT, 2018. PCDD/F determination in sewage sludge composting. Influence of aeration and the presence of PCP [online]. *The Science of the Total Environment*, **616-617**, 763-773. The Science of the Total Environment. Verfügbar unter: doi:10.1016/j.scitotenv.2017.10.249
- OECD, 2021. Portal on Per and Poly Fluorinated Chemicals. Organisation for Economic Co-operation and Development [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>
- RILLIG, M.C., A.A. de SOUZA MACHADO, A. LEHMANN und U. KLÜMPER, 2019. Evolutionary implications of microplastics for soil biota [online]. *Environmental Chemistry*, **16**(1), 3-7. ISSN 1448-2517. Verfügbar unter: doi:10.1071/EN18118
- STATISTIK AUSTRIA, 2020. Vorausberechnete Bevölkerungsstruktur für Österreich 2019-2100 laut Hauptszenario [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: http://www.statistik-austria.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/027308.html
- STOCKHOLM CONVENTION, 2021a. All POPs listed in the Stockholm Convention [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <http://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>
- STOCKHOLM CONVENTION, 2021b. Chemicals proposed for listing under the Convention [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <http://www.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ChemicalsProposedforListing/tabid/2510/Default.aspx>
- TAXVIG, C., U. HASS, M. AXELSTAD, M. DALGAARD, J. BOBERG, H.R. ANDEASEN und A.M. VINGGAARD, 2007. Endocrine-disrupting activities in vivo of the fungicides tebuconazole and epoxiconazole [online]. *Toxicological Sciences*, **100**(2), 464-473. ISSN 1096-6080. Verfügbar unter: doi:10.1093/toxsci/kfm227

- UBA, 2014. Identification of relevant emission pathways to the environment and quantification of environmental exposure for Bisphenol A. Umweltbundesamt Deutschland [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_41_2014_identification_of_relevant_emission_pathways_of_bisphenol_a_0.pdf
- UBA, 2018a. Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten. Umweltbundesamt Deutschland [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018_10_uba_hg_dioxine_bf_neu.pdf
- UBA, 2018b. Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt Deutschland [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2018_10_08_uba_fb_klaerschamm_bf_low.pdf
- UBA, 2021a. Polybromierte Diphenylether. Umweltbundesamt Deutschland [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/26591>
- UBA, 2021b. Tributylzinn. Umweltbundesamt Deutschland [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/15214>
- UMWELTBUNDESAMT, 2014. Lampert, CH.; REISINGER, H.; ZETHNER, G.: Bioabfallstrategie. Report REP-0483. [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0483.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT, 2015. HARTMANN, CH.: Phthalat- und Bisphenol A-Blastung in Österreich - Ergebnisse einer Human-Biomonitoring-Studie. Report REP-0532 [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0532.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT, 2016. HARTMANN, CH.: Bromierte Flammschutzmittel in der Umwelt. Report REP-0577 [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0577.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT, 2020a. Anhang PB_Non-Target-Liste der sicher identifizierten Substanzen_final.
- UMWELTBUNDESAMT, 2020b. Emissionstrends 1990-2018 - Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich (Datenstand 2020). Report REP-0736 [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0736.pdf>

- UMWELTBUNDESAMT, 2020c. LIEBMANN, B.; Sexlinger, K.: Mikroplastik in der Umwelt - Statusbericht 2019. Report REP-0727 [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
<https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0727.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT, 2020d. PB2102_0073.
- UMWELTBUNDESAMT, 2021. Mikroplastik in Klärschlämmen.
- VAN DEN BERG, M., L.S. BIRNBAUM, M. DENISON, M. de VITO, W. FARLAND, M. FEELEY, H. FIEDLER, H. HAKANSSON, A. HANBERG, L. HAWS, M. ROSE, S. SAFE, D. SCHRENK, C. TOHYAMA, A. TRITSCHER, J. TUOMISTO, M. TYSKLIND, N. WALKER und R.E. PETERSON, 2006. The 2005 World Health Organization reevaluation of human and Mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds [online]. *Toxicological Sciences*, **93**(2), 223-241. ISSN 1096-6080. Verfügbar unter: doi:10.1093/toxsci/kfl055
- VO (EU) 2019/1021. Verordnung EU 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe. Amtsblatt der Europäischen Union L 169/45.
- WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT, 2019. Anwendung des Non-Target-Screenings mittels Anwendung des Non-Target-Screenings mittels LC-ESI-HRMS in der Wasseranalytik [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
https://www.gdch.de/fileadmin/downloads/Netzwerk_und_Strukturen/Fachgruppen/Wasserchemische_Gesellschaft/NTS-Leitfaden_DE_s.pdf
- WHO, 2019. Preventing disease through healthy environment - Exposure to dioxins and dioxin-like substances: a major public health concern. World Health Organisation [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/329485/WHO-CED-PHE-EPE-19.4.4-eng.pdf?ua=1>
- WOOD, 2019. Digestate and compost as fertilisers: Risk assessment and risk management options - Final Report. Wood Environment and Infrastructure Solutions UK Limited [online] [Zugriff am: 24. August 2021]. Verfügbar unter:
https://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/40039%20Digestate%20and%20Compost%20RMOA%20-%20Final%20report%20i2_20190208.pdf

9 RECHTSNORMEN UND LEITLINIEN

DIN CEN/TS 15968:2010-11: 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; Deutsche Fassung CEN/TS 15968:2010.

Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II Nr. 100/2004) Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden.

European Commission, Directorate-General for Environment, (2021) EU-Bodenstrategie für 2030: gesunde Böden für die Menschen und den Planeten. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/622093> EU Bodenstrategie 2030 COM(2021)699.

Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (K-KKV, LGBl. Nr. 74/2000 i.d.g.F.): Verordnung der Landesregierung vom 3. Oktober 2000 über die Aufbringung von behandeltem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzte Böden

Kompostverordnung (BGBl. II Nr. 292/2001): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen.

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 ON L 1055:2004: Probenahme von ackerbaulich genutzten Böden.

Richtlinie 86/278/EWG über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.

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

Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz, LGBl. 66/1987 i.d.g.F. LGBl. Nr. 8/2004.

Steiermärkische Klärschlammverordnung 2007: Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung vom 8. Oktober 2007 über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden, LGBl. Nr. 89/2007 i.d.g.F.

VERORDNUNG (EU) 1021/2019: Verordnung (EU) 2019/1021 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 über persistente organische Schadstoffe (Neufassung).

VERORDNUNG (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln und zur Aufhebung der Richtlinien 79/117/EWG und 91/414/EWG des Rates.

VERORDNUNG (EU) 2018/848 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates.

VERORDNUNG (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006

Vorarlberger Bodenqualitätsverordnung (LGBl. Nr. 77/2018 i.d.g.F.): Verordnung der Landesregierung zur Durchführung des Gesetzes zum Schutz der Bodenqualität.

Vorarlberger Bodenschutzgesetz: Gesetz zum Schutz der Bodenqualität (BSchG) LGBl.Nr. 26/2018.

Wasserrechtsgesetz 1959 – WRG. 1959. BGBl. Nr. 215/1959 (WV).

10 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Anfall an kommunalem Klärschlamm und Entsorgungspfade.....	9
Tabelle 2:	Ergebnisse Klärschlammkompostverwendung	10
Tabelle 3:	Klärschlammkompostieranlagen, Bundesland und Klärschlammkompostklasse.	13
Tabelle 4:	Standorte der Bodenuntersuchungen.....	14
Tabelle 5:	Grundcharakterisierung der sechs Bodenproben	16
Tabelle 6:	Nährstoffgehalte der sechs Bodenproben.....	16
Tabelle 7:	Einstufung entsprechend den Richtlinien für die sachgerechte Düngung	17
Tabelle 8:	Ergebnisse sechs ausgewählter PFAS in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	20
Tabelle 9:	Ergebnisse sechs ausgewählter PFAS in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	21
Tabelle 10:	Ausgewählte Ergebnisse zu Dioxinen und Furanen in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	27
Tabelle 11:	Ergebnisse zu ausgewählten Dioxinen und Furanen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	28
Tabelle 12:	Ergebnisse zu polychlorierten Biphenylen (PCB) in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	32
Tabelle 13:	Ergebnisse zu polychlorierten Biphenylen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	33
Tabelle 14:	Ergebnisse von HCB in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	37
Tabelle 15:	Ergebnisse zu Hexachlorbenzol (HCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	38
Tabelle 16:	Ergebnisse der Summe der BDE (6), BDE-209 und DBDPE in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden.....	41
Tabelle 17:	Ausgewählte Ergebnisse zu bromierten Flammschutzmitteln in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	42

Tabelle 18	Ergebnisse ausgewählter OZV in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	46
Tabelle 19:	Ausgewählte Ergebnisse zu den OZV in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	47
Tabelle 20:	Ergebnisse von Nonylphenoethoxylaten in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	50
Tabelle 21:	Ergebnisse zu den NPEO in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04)	50
Tabelle 22:	Ergebnisse von BPA in 14 Klärschlammkomposten und in sechs Böden	54
Tabelle 23:	Ergebnisse zu Bisphenol A (BPA) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04)	54
Tabelle 24:	Ergebnisse von B[a]P in zwölf Klärschlammkomposten und in zwei Referenzböden.....	57
Tabelle 25:	Ergebnisse zu den Benzo[a]pyren und Summe der 16 EPA-PAK in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04)	58
Tabelle 26:	Ergebnisse von Phthalaten in Klärschlammkomposten und in beaufschlagten Böden und Referenzböden.....	61
Tabelle 27:	Ergebnisse zu den Phthalaten in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04)	62
Tabelle 28:	Ergebnisse MKA (GC-MS) (positive Nachweise >NG) in Klärschlammkomposten (in µg/kg TM) inkl. als endokrin schädigende gelistete Substanzen.	65
Tabelle 29:	Ergebnisse MKA (GC-MS) (positive Nachweise >NG) in Böden (in µg/kg TM) inkl. als endokrin wirksame Substanzen gelistete.	66
Tabelle 30:	Ergebnisse zu ausgewählten Substanzen in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden an zwei niederösterreichischen Standorten (NÖ-03 und NÖ-04).....	67
Tabelle 31:	Mittels NTA identifizierte Verbindungen mit endokrin schädigender Wirksamkeit (qualitative Bestimmung).	70

Tabelle 32:	Mittels NTA identifizierte Verbindungen (qualitative Bestimmung) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost und beaufschlagtem Boden.....	71
Tabelle 33	Ergebnisse sieben ausgewählter Plastiksorten in sechs Böden	73
Tabelle 34:	Ergebnisse sieben ausgewählter Plastiksorten in sechs Böden	73
Tabelle 35:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	119
Tabelle 36:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	120
Tabelle 37:	Auswahl der Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und -furanen (PCDD/F) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	122
Tabelle 38:	Auswahl der Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und -furanen (PCDD/F) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	123
Tabelle 39:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	125
Tabelle 40:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	126
Tabelle 41:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Hexachlorbenzol (HCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	128
Tabelle 42:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von bromierten Flammschutzmitteln (BDPE, DBDPE) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	129

Tabelle 43:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von bromierten Flammschutzmitteln (BDPE, DBDPE) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	130
Tabelle 44:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von zinnorganischen Verbindungen (MBT, DBT, DPT, TeBT, TBT, TPT) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073)	131
Tabelle 45:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Nonylphenoethoxylaten (NP1EO, NP2EO) und 4-Nonylphenol (4-NP) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073)	133
Tabelle 46:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Bisphenol A (BPA) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	135
Tabelle 47:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in 12 Klärschlammkomposten und zwei Referenzböden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	136
Tabelle 48:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in 12 Klärschlammkomposten und zwei Referenzböden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	137
Tabelle 49:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in zwei Klärschlammkomposten, zwei Böden und zwei Referenzböden (TA: GC-MS-Analytik) – Teil 3 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	138
Tabelle 50:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in zwei Klärschlammkomposten, zwei Böden und zwei Referenzböden (TA: GC-MS-Analytik) – Teil 4 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	140
Tabelle 51:	Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Phthalaten in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (Multikomponenten-Analytik: GC-MS-Analytik) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	141

Tabelle 52:	Ausgewählte Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Industriechemikalien in 14 Klärschlammkomposten und sechs Böden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	142
Tabelle 53:	Ausgewählte Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Industriechemikalien in 14 Klärschlammkomposten und sechs Böden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	143
Tabelle 54:	Einzelergebnisse der Untersuchung von Mikroplastik (50 µm–1 mm) in Boden und Referenzboden (in Stk/kg Trockenmasse) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).....	145
Tabelle 55:	Einzelergebnisse der Untersuchung von Mikroplastik (1–5 mm) in Boden und Referenzboden (in mg/kg TM sowie Stk/kg Trockenmasse) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).	146
Tabelle 56:	Häufigkeit der höchsten Schadstoffkonzentration in Klärschlammkompost.	147
Tabelle 57:	Zusammenfassung der angewendeten analytischen Methoden und Normen.....	150
Tabelle 58:	Herkunft der Klärschlämme für die Kompostierung (NÖ-03)..	153
Tabelle 59:	Charakterisierung der Kompostierung.	153
Tabelle 60:	Charakterisierung des Bodenprobenahme standorts.....	154
Tabelle 61:	Herkunft der Klärschlämme für die Kompostierung (NÖ-04)..	156
Tabelle 62:	Charakterisierung Kompostierung.	157
Tabelle 63:	Charakterisierung Bodenprobenahmefläche.	158
Tabelle A:	Substanzen, die aufgrund der Beaufschlagung mit Klärschlammkompost in die Böden am Standort NÖ-03 oder NÖ-04 gelangt sind.....	82
Table A:	Substances that were introduced into the soil at the NÖ-03 or NÖ-04 sites because sewage sludge compost had been applied.....	89

11 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: PFOS-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	22
Abbildung 2: PFOA-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	22
Abbildung 3: PFOS-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	23
Abbildung 4: PFOA-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	23
Abbildung 5: TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB)($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	29
Abbildung 6: TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün).	29
Abbildung 7: TEQ – PCB WHO 05 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.....	34
Abbildung 8: TEQ – PCB WHO 05 (UB) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.....	34
Abbildung 9: HCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden	38
Abbildung 10: HCB ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden	39
Abbildung 11: Summe BDE (6) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	43
Abbildung 12: Summe BDE (6) ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	43
Abbildung 13: MBT-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg}$ TM) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	47

Abbildung 14: MBT-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	48
Abbildung 15: NP1EO-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-03 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	51
Abbildung 16: NP1EO-Gehalte ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 in Klärschlammkompost (grau), beaufschlagtem Boden (rot) und Referenzboden (grün)	52
Abbildung 17: BPA ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden	55
Abbildung 18: Summe 16 EPA-PAK ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.....	58
Abbildung 19: Summe 16 EPA-PAK ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost, beaufschlagten Boden und Referenzboden.....	59
Abbildung 20: Diethylphthalat ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün)	63
Abbildung 21: Diethylphthalat ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün)	63
Abbildung 22: Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-03 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün).....	68
Abbildung 23: Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP) ($\mu\text{g}/\text{kg TM}$) am Standort NÖ-04 für Klärschlammkompost (grau), beaufschlagten Boden (rot) und Referenzboden (grün).....	69
Abbildung 24: Polyethylen (PE) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	74
Abbildung 25: Polypropylen (PP) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	74
Abbildung 26: Polystyrol (PS) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	75

Abbildung 27: Polyethylenterephthalat (PET) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	75
Abbildung 28: Polyurethan (PU) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	76
Abbildung 29: Polyoxymethylen (POM) (0,05–1 mm) in Stk/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	76
Abbildung 30: Summe der Kunststoffpartikel (1–5 mm) in mg/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	77
Abbildung 31: Summe der Kunststoffpartikel (1–5 mm) in Stück/kg TM in beaufschlagten Böden (B, rot) sowie Referenzböden (BR, grün) an den Standorten NÖ-03 und NÖ-04	77
Abbildung 32 (links): Beprobter Komposthaufen	154
Abbildung 33 (rechts): Massive Schimmelbildung; ausgetrocknet und verdichtet bis 1,5 m Tiefe.....	154
Abbildung 34: Probenahme: Fläche 2135 (BR – Vergleichsfläche): 2x Diagonal mit je 45 Einstichen für Standardparameter und je 25 Einstichen für MP Fläche 2136 (B – KSK-Fläche): 2x Diagonal mit je 36 Einstichen für Standardparameter und je 18 Einstichen für MP.....	155
Abbildung 35: Beprobte Schläge (links: Blick von Süd-West KSK03_BR+B; rechts: Probenteiler).....	156
Abbildung 36 (links): Beprobter Komposthaufen	157
Abbildung 37 (rechts): Teilweise Schimmelbildung und inhomogener Rottgrad	157
Abbildung 38 (links): Hauptrottemieten.....	158
Abbildung 39 (rechts): Klärschlamm-Lager	158
Abbildung 40: Probenahme: Fläche GStNr. 1064/1 (B – KSK-Fläche): 2x Diagonal mit je 25 Einstichen für Standardparameter und je 12 Einstichen für MP auf einer Teilfläche von 100 x 100 m	159
Abbildung 41: Probenahme Ablauf NÖ-04	160

12 ANHANG

12.1 Detailergebnisse – Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

Tabelle 35: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	PFBA	PFBS	PFPeA	PFPeS	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	PFOS
	BG ¹	0,20–0,25	0,1–0,3	0,28–1	0,14–0,30	0,10–0,15	0,1–0,2	0,10–0,14	0,12–0,40	0,10–0,4	0,13–0,50
	NG ¹	0,10–0,13	0,05–0,15	0,14–0,50	0,07–0,15	0,05–0,075	0,05–0,1	0,05–0,07	0,06–0,20	0,05–0,20	0,06–0,25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	<0,20	n.n.	<0,28	n.n.	0,18	n.n.	0,11	n.n.	0,19	0,16
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	<0,20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	<0,12
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,22	n.n.	0,5	n.n.	0,3	n.n.	0,51	n.n.	0,83	1
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	<0,20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<0,11	<0,13
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	<0,20	n.n.	n.n.	n.n.	<0,10	n.n.	<0,10	n.n.	0,23	<0,12
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	<0,20	n.n.	n.n.	n.n.	<0,10	n.n.	<0,10	n.n.	0,17	<0,14
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.a.	7,4	2	n.n.	2,7	<0,20	0,6	n.n.	2,5	1,9
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	n.a.	5	4,5	n.n.	5	0,35	0,47	n.n.	1,5	9,4
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.a.	n.n.	1,8	n.n.	21	n.n.	n.n.	n.n.	1	4,6
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	n.a.	24	11	0,4	56	2,5	2	0,43	12	50
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.a.	8,6	3,5	n.n.	9,4	0,25	0,55	n.n.	3,2	2,5
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.a.	3,6	2,2	n.n.	2,5	<0,20	<0,14	n.n.	0,59	0,69
2004 01526	KSK-07-B-7422	1,2	4,5	4,7	n.n.	9,6	<0,20	0,52	n.n.	2,3	4,2
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.a.	15	2,5	n.n.	8	<0,20	0,69	n.n.	2,8	2,4
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.a.	8	3,5	n.n.	5,9	<0,20	0,41	n.n.	1,3	1,2
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.a.	13	19	n.n.	120	0,64	1,8	n.n.	4,5	35

Labor-Nr.	Bezeichnung	PFBA	PFBS	PFPeA	PFPeS	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	PFOS
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	n.a.	8,4	8,1	n.n.	98	0,24	0,53	n.n.	1,8	11
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.a.	5,5	1,7	n.n.	4,6	<0,20	0,31	n.n.	1,5	3,4
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.a.	1,7	3	n.n.	1,1	n.n.	<0,14	n.n.	1,1	2,8
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,54	1,7	4,6	n.n.	2,5	n.n.	0,61	n.n.	1,3	3,1

¹ variiert je nach Probe.

Substanzen: PFBA: Perfluorbutansäure; PFBS: Perfluorbutansulfonsäure; PFPeA: Perfluorpentansäure; PFPeS: Perfluorpentansulfonsäure; PFHxA: Perfluorcapronsäure (Perfluorhexansäure); PFHxS: Perfluorhexansulfonsäure; PFHpA: Perfluorheptansäure; PFHpS: Perfluorheptansulfonsäure; PFOA: Perfluoroctansäure; PFOS: Perfluoroctansulfonsäure.

Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze; n.a.: nicht abgegeben; NG: Nachweisgrenze; n.n.: nicht nachweisbar.

Tabelle 36: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	N-Et-FOSA	PFNA	PFNS	PFOSA	PFDA	PFDS	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA	PFTeDA
	BG ¹	0,14–0,64	0,10–0,22	0,10–0,32	0,10–0,58	0,10–0,12	0,10–0,32	0,10–0,15	0,10–0,11	0,10–0,25	0,10–0,30
	NG ¹	0,07–0,32	0,05–0,11	0,05–0,16	0,05–0,29	0,05–0,06	0,05–0,16	0,050–0,075	0,050–0,055	0,05–0,13	0,05–0,15
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.						
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	0,36	n.n.	n.n.	0,46	n.n.	<0,10	0,1	n.n.	n.n.
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	<0,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.	0,56	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	0,18	0,32	n.n.	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	n.n.	0,37	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	0,21	0,34	n.n.	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.n.	0,38	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	0,63	n.n.	n.n.
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	6,9	0,34	1,2	1,7	0,37	n.n.

Labor-Nr.	Bezeichnung	N-Et-FOSA	PFNA	PFNS	PFOSA	PFDA	PFDS	PFUnDA	PFDoDA	PFTTrDA	PFTeDA
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.	0,48	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	0,31	0,53	n.n.	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	<0,22	n.n.	n.n.	0,45	n.n.	n.n.	0,19	n.n.	n.n.
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.	0,37	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	0,15	0,27	n.n.	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	1,5	n.n.	0,36	0,56	n.n.	n.n.
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	0,35	n.n.	n.n.	1	n.n.	0,26	0,71	n.n.	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.n.	0,56	n.n.	n.n.	1,8	n.n.	0,63	0,8	n.n.	n.n.
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	n.n.	0,53	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	0,27	0,41	n.n.	n.n.
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.n.	0,32	n.n.	n.n.	1	n.n.	0,17	0,38	n.n.	n.n.
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.	<0,22	n.n.	n.n.	0,87	n.n.	n.n.	<0,11	n.n.	n.n.
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.	0,54	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	<0,10	0,24	n.n.	n.n.

¹ variiert je nach Probe.

Substanzen: N-Et-FOSA: N-Ethyl-Perfluorooctansulfonamid; PFNA: Perfluornonansäure; PFNS: Perfluornonansulfonsäure; PFOSA: Perfluorooctansulfonamid; PFDA: Perfluordecansäure; PFDS: Perfluordecansulfonsäure; PFUnDA: Perfluorundecansäure; PFDoDA: Perfluordodecansäure; PFTTrDA: Perfluortridecansäure; PFTeDA: Perfluortetradecansäure.

Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze; NG: Nachweisgrenze; n.n.: nicht nachweisbar.

12.2 Detailergebnisse – Polychlorierte Dibenzo-*p*-Dioxine und -Furane (PCDD/F)

Nachfolgend sind ausgewählte Einzelergebnisse der PCDD/F dargestellt. Alle Einzelergebnisse finden sich im entsprechenden Prüfbericht.

*Tabelle 37: Auswahl der Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Dibenzo-*p*-Dioxinen und -furanen (PCDD/F) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).*

Labor-Nr.	Bezeichnung	2,3,7,8-TCDD	Summe PCDD	Summe PCDF	Summe PCDD/F	TEQ - PCDD/F WHO 05 (UB) ²
	BG ¹	0,000017–0,000027	-	-	-	0,000083–0,00012
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	0,043	0,023	0,066	0,00044
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	0,015	0,019	0,034	0,00039
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	0,076	0,025	0,10	0,00048
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	0,032	0,014	0,046	0,00028
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	0,021	0,016	0,037	0,00023
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	0,076	0,018	0,095	0,00039
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.	0,38	0,074	0,45	0,0015
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,0002	1,9	0,085	2,0	0,0033
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.n.	0,64	0,087	0,73	0,0024
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	n.n.	0,92	0,23	1,1	0,0034
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,00019	1	0,095	1,1	0,0033
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,00026	0,68	0,077	0,76	0,0028
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,00014	0,25	0,05	0,3	0,0015
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,00021	1,3	0,092	1,4	0,0044
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,00013	0,54	0,07	0,61	0,0022
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,00043	1	0,16	1,2	0,0036
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,00035	0,95	0,16	1,1	0,0041

Labor-Nr.	Bezeichnung	2,3,7,8-TCDD	Summe PCDD	Summe PCDF	Summe PCDD/F	TEQ - PCDD/F WHO 05 (UB) ²
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,00021	0,7	0,096	0,8	0,002
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.	0,54	0,21	0,75	0,0019
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,00011	0,37	0,076	0,45	0,0015

¹ Variiert je nach Probe. Bei PCDD/F wird im Unterschied zu anderen Substanzen/Substanzgruppen nur die Bestimmungsgrenze und damit nicht auch die Nachweisgrenze angegeben. Diese hat aufgrund der Berechnung der TEQ keine Relevanz.

² Upper Bound (UB): Konzentrationen, welche unter der entsprechenden Bestimmungsgrenze lagen, wurden zur TEQ – PCDD/F WHO 05 (UB)-Berechnung gleich der Bestimmungsgrenze gesetzt. Substanzen: 2,3,7,8-Tetrachlordibenzo-p-dioxin; PCDD: polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine; PCDF: polychlorierte Dibenzo-p-Furane; PCDD/F: polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und -Furane. Abkürzungen: BG: Bestimmungsgrenze; n.n.: nicht nachweisbar; TEQ – PCDD/F WHO 05: Toxizitätsäquivalente für PCDD/F nach Weltgesundheitsorganisation 2005; UB: Upper Bound.

Tabelle 38: Auswahl der Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und -furanen (PCDD/F) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Summe TCDD	Summe PeCDD	Summe HxCDD	Summe HpCDD	OCDD	Summe TCDF	Summe PeCDF	Summe HxCDF	Summe HpCDF	OCDF
	BG ¹					0,00081					0,00028
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,0033	0,0013	0,0034	0,0076	0,027	0,0083	0,0055	0,0036	0,003	0,0025
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	0,001	0,00075	0,0025	0,0036	0,0066	0,005	0,0042	0,0048	0,0033	0,0018
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,0013	0,00055	0,0049	0,012	0,057	0,005	0,0068	0,0049	0,0045	0,0034
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	0,0016	0,00042	0,0024	0,0055	0,022	0,0038	0,0027	0,0024	0,0023	0,0022
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	0,00082	0,00034	0,0019	0,004	0,013	0,0043	0,0037	0,0033	0,0026	0,0018
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	0,00075	0,00019	0,0028	0,015	0,058	0,005	0,0039	0,0035	0,0031	0,0028
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,0043	0,0051	0,013	0,069	0,29	0,018	0,023	0,016	0,0098	0,0069
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,0064	0,0059	0,018	0,23	1,6	0,022	0,022	0,014	0,014	0,013
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,0069	0,0048	0,018	0,12	0,49	0,025	0,02	0,015	0,016	0,011
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	0,012	0,012	0,028	0,17	0,7	0,039	0,09	0,061	0,021	0,016

Labor-Nr.	Bezeichnung	Summe TCDD	Summe PeCDD	Summe HxCDD	Summe HpCDD	OCDD	Summe TCDF	Summe PeCDF	Summe HxCDF	Summe HpCDF	OCDF
	BG ¹					0,00081					0,00028
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,0071	0,0065	0,029	0,2	0,78	0,022	0,021	0,016	0,02	0,016
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,0057	0,006	0,019	0,17	0,48	0,017	0,02	0,015	0,016	0,0097
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,0064	0,0041	0,01	0,46	0,18	0,015	0,013	0,011	0,0067	0,0037
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,012	0,0086	0,03	0,29	1	0,022	0,02	0,02	0,019	0,01
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,0065	0,0047	0,013	0,11	0,41	0,02	0,015	0,011	0,012	0,011
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,0093	0,008	0,027	0,17	0,83	0,029	0,049	0,037	0,023	0,023
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,0095	0,0083	0,027	0,17	0,73	0,041	0,04	0,022	0,027	0,028
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,0048	0,0043	0,016	0,11	0,57	0,015	0,026	0,016	0,018	0,021
2006 02247	KSK-13-K-9131	0,0028	0,0038	0,018	0,079	0,44	0,022	0,069	0,069	0,023	0,023
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,0051	0,0044	0,014	0,054	0,29	0,018	0,018	0,0091	0,013	0,017

¹ Variiert je nach Probe. Bei PCDD/F wird im Unterschied zu anderen Substanzen/Substanzgruppen nur die Bestimmungsgrenze und damit nicht auch die Nachweisgrenze angegeben.

Substanzen: TCDD: Tetrachlordibenzo-p-dioxine; PeCDD: Pentachlordibenzo-p-dioxine; HxCDD: Hexachlordibenzo-p-dioxine; HpCDD: Heptachlordibenzo-p-dioxine; OCDD: Octachlordibenzo-p-dioxin; TCDF: Tetrachlordibenzofuran; PeCDF: Pentachlordibenzofuran; HxCDF: Hexachlordibenzofuran; HpCDF: Heptachlordibenzofuran; OCDF: Octachlordibenzo-p-furan.

12.3 Detailergebnisse – Polychlorierte Biphenyle (PCB, dl-PCB)

Tabelle 39: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	TEQ - PCB WHO 05 (UB)	PCB 77	PCB 81	PCB 126	PCB 169	PCB 105	PCB 114	PCB 118	PCB 123	PCB 156
	BG1	0,000013–0,000014	0,0044	0,00045	0,00011	0,000012–0,000034	0,01	0,0011–0,0017	0,017	0,0017	0,0049
	NG1	0,000013–0,000014	0,0044	0,00045	0,00011	0,000012–0,000034	0,01	0,0011–0,0017	0,017	0,0017	0,0049
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,000096	n.n.	n.n.	0,00083	0,00035	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,01
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	0,000043	n.n.	n.n.	0,00034	0,00025	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,00011	n.n.	n.n.	0,00091	0,00043	0,019	n.n.	0,04	n.n.	0,023
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	0,000044	n.n.	n.n.	0,00033	0,00033	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0082
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	0,000061	n.n.	n.n.	0,00054	0,00018	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,011
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	0,000058	n.n.	n.n.	0,0005	0,0002	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,0088
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,00078	0,042	0,0014	0,007	0,0014	0,18	0,0069	0,44	n.n.	0,29
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,00069	0,052	0,0018	0,006	0,0011	0,48	0,019	0,9	0,009	0,27
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,00067	0,069	0,0028	0,0058	0,001	0,34	0,015	0,79	0,0049	0,31
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	0,0013	0,12	0,0048	0,012	0,0024	0,42	0,021	1,2	0,0058	0,46
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,00065	0,054	0,0016	0,0058	0,0011	0,16	0,0067	0,41	n.n.	0,23
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,00072	0,036	0,0015	0,0065	0,0012	0,19	0,0074	0,47	0,002	0,22
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,00026	0,024	0,00098	0,0022	0,00052	0,087	0,0058	0,26	n.n.	0,11
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,00068	0,042	0,0014	0,0061	0,0011	0,18	0,0064	0,45	0,0038	0,22
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,0004	0,022	0,00095	0,0036	0,00084	0,076	0,0035	0,21	n.n.	0,11
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,0014	0,23	0,004	0,011	0,0062	0,37	0,019	1,5	n.n.	0,48

Labor-Nr.	Bezeichnung	TEQ - PCB WHO 05 (UB)	PCB 77	PCB 81	PCB 126	PCB 169	PCB 105	PCB 114	PCB 118	PCB 123	PCB 156
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,00095	0,088	0,0043	0,0082	0,0015	0,43	0,017	1,1	0,0081	0,46
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,00053	0,032	0,0012	0,0047	0,0011	0,14	0,0077	0,43	n.n.	0,21
2006 02247	KSK-13-K-9131	0,00079	0,052	0,002	0,0068	0,0016	0,18	0,011	0,75	n.n.	0,47
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,00047	0,033	0,0012	0,0042	0,00084	0,12	0,0039	0,3	0,026	0,14

Tabelle 40: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polychlorierten Biphenylen (PCB) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	PCB 157	PCB 167	PCB 189	Summe NDL PCB	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 138	PCB 153	PCB 180
	BG1	0,0018	0,0038	0,0016	0,33	0,1	0,044	0,0039	0,053	0,058	0,031
	NG1	0,0018	0,0038	0,0016	0,33	0,1	0,044	0,0039	0,053	0,058	0,031
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,0027	0,0069	0,0034	0,57	n.n.	n.n.	n.n.	0,11	0,16	0,085
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	0,34	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,069	0,033
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,0024	0,01	0,0026	0,83	n.n.	n.n.	0,074	0,2	0,28	0,14
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	0,0057	0,0021	0,34	n.n.	n.n.	n.n.	0,057	0,065	0,037
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	0,0064	n.n.	0,48	n.n.	n.n.	n.n.	0,099	0,12	0,077
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	0,005	n.n.	0,43	n.n.	n.n.	n.n.	0,074	0,12	0,052
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,039	0,15	0,066	13,00	0,59	0,42	1,1	3	4,8	3,1
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,038	0,11	0,034	11,00	0,53	1,1	1,6	2,5	3,1	1,7
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,035	0,12	0,034	13	0,89	0,93	1,7	2,9	4	2,1
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	0,058	0,19	0,068	19	1,9	2	2,4	3,7	5,8	3,4
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,021	0,092	0,034	8,6	0,45	0,44	0,88	2	3	1,8
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,025	0,093	0,029	8,1	0,33	0,41	1,2	1,9	2,7	1,5

Labor-Nr.	Bezeichnung	PCB 157	PCB 167	PCB 189	Summe NDL PCB	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 138	PCB 153	PCB 180
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,012	0,048	0,016	4,5	0,39	0,4	0,51	1,1	1,3	0,83
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,027	0,1	0,035	8,1	0,27	0,46	1	2	2,8	1,6
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,014	0,053	0,019	4,6	0,18	0,28	0,5	1,2	1,5	0,92
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,055	0,21	0,069	22	1,2	2,7	3,9	4,8	6	3,3
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,055	0,2	0,064	21	1,7	1,7	2,6	4,6	6,5	3,6
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,023	0,094	0,033	8	0,26	0,47	0,91	2,1	2,7	1,6
2006 02247	KSK-13-K-9131	0,049	0,2	0,076	17	0,83	0,72	1,9	4,2	6	3,6
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,016	0,063	0,021	5,2	0,16	0,26	0,58	1,3	1,8	1,1

12.4 Detailergebnisse – Hexachlorbenzol (HCB)

*Tabelle 41:
Einzelergebnisse
(in µg/kg Trockenmasse)
der Untersuchung von
Hexachlorbenzol (HCB)
in Klärschlammkompost,
Boden und Referenzbo-
den (entsprechend Prüf-
bericht PB2102-0073).*

Labor-Nr.	Bezeichnung	HCB
	BG1	0,093–0,190
	NG1	0,047–0,092
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,094
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	<0,093
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	<0,19
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	0,89
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	<0,093
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,41
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,72
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,68
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	1,6
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,93
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,69
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,41
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,91
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,47
2005 01675	KSK-10-V-6830	2,0
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	1,1
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,53
2006 02247	KSK-13-K-9131	1,4
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,53

12.5 Detailergebnisse – Polybromierte Diphenylether (PBDE) und Decabromdiphenylethan (DBDPE)

Tabelle 42: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von bromierten Flammschutzmitteln (BDPE, DBDPE) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	BDE 28	BDE 47	BDE 49	BDE 66	BDE 77	BDE 85	BDE 99	BDE 100	BDE 118	BDE 126	BDE139
	BG1	0,002	0,014–0,12	0,001	0,0024	0,0005– 0,0006	0,001	0,006– 0,087	0,0018– 0,034	0,0008	0,0018	0,0034
	NG1	0,001	0,007–0,06	0,005	0,0012	0,0003	0,0005	0,003– 0,044	0,0009– 0,017	0,0004	0,0009	0,0017
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,002	0,085	0,005	<0,0024	n.n.	0,003	0,089	0,025	0,0012	n.n.	<0,0034
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	<0,014	n.n.	<0,0024	n.n.	n.n.	0,006	<0,0018	n.n.	n.n.	<0,0034
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,003	0,31	0,022	0,0056	n.n.	0,008	0,35	0,093	0,0012	n.n.	<0,0034
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<0,0034
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	0,004	0,048	0,006	0,0026	n.n.	0,001	0,022	0,0082	0,0012	<0,0018	<0,0034
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<0,0060	<0,0018	n.n.	n.n.	<0,0034
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,031	1,3	0,18	0,046	n.n.	0,053	1,4	0,35	0,011	<0,0018	0,02
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,038	1,8	0,14	0,039	n.n.	0,062	2	0,35	0,0092	<0,0018	0,019
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,062	3	0,18	0,065	0,001	0,12	3,2	0,7	0,016	<0,0018	0,029
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	0,17	6,2	0,45	0,16	0,0042	0,29	6,9	1,3	0,043	n.n.	0,074
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,045	1,9	0,27	0,039	n.n.	0,065	1,8	0,49	0,0092	n.n.	0,021
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,055	3,7	0,22	0,096	n.n.	0,25	4	1	0,019	0,0033	0,045
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,025	1,2	0,31	0,027	n.n.	0,038	1,2	0,27	0,0073	<0,0018	0,011
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,051	3,7	0,18	0,058	0,001	0,16	3,5	0,77	0,014	<0,0018	0,045
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,013	0,81	0,048	0,016	n.n.	0,03	0,89	0,18	0,0033	<0,0018	0,0066
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,096	4,2	0,26	0,097	0,0011	0,19	4,6	0,85	0,02	<0,0018	0,036
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,073	3,9	0,23	0,077	0,001	0,16	3,8	0,76	0,019	0,0054	0,047

Labor-Nr.	Bezeichnung	BDE 28	BDE 47	BDE 49	BDE 66	BDE 77	BDE 85	BDE 99	BDE 100	BDE 118	BDE 126	BDE139
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,032	1,9	0,14	0,047	n.n.	0,089	2,8	0,53	0,0092	n.n.	0,023
2006 02247	KSK-13-K-9131	0,074	2,5	0,11	0,06	n.n.	0,13	2,9	0,68	0,014	<0,0018	0,027
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,02	1,2	0,14	0,032	n.n.	0,061	1,1	0,34	0,0092	<0,0018	0,016

Tabelle 43: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von bromierten Flammschutzmitteln (BDPE, DBDPE) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	BDE 153	BDE 154	BDE 181	BDE 183	BDE 196	BDE 197	BDE 203	BDE 207	BDE 209	Summe-BDE (6)*	DBDPE
	BG1	0,0008–0,0009	0,0018	0,0011	0,0005	0,0005–0,044	0,0005–0,043	0,0005–0,049	0,016–0,025	0,16–5,6	0,0018–0,002	0,3–31
	NG1	0,0004	0,0009	0,0006	0,0003	0,0002–0,022	0,0002–0,022	0,0003–0,025	0,008–0,012	0,08–2,8	0,0009–0,001	0,2–15
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	0,0099	0,01	<0,0011	0,0099	0,016	0,011	0,02	0,019	0,62	0,22	5,1
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	<0,0018	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<0,16	0,025	5,8
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	0,044	0,046	0,002	0,023	0,11	0,071	0,18	0,26	7,2	0,85	4,8
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	<0,0018	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,18	0,014	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	0,002	0,0042	<0,0011	0,013	0,095	0,074	0,11	1,2	16	0,088	4,4
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	0,0022	n.n.	0,004	0,019	0,015	0,025	0,2	8,3	0,018	1,3
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	0,2	0,18	0,05	0,37	0,3	1	n.n.	1,6	55	3,5	29
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	0,19	0,18	0,022	0,21	0,8	0,49	1,3	0,98	30	4,6	23
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	0,37	0,3	0,029	0,5	0,94	0,65	0,44	1,5	30	7,6	69
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	0,81	0,73	0,1	0,93	n.n.	0,72	1,8	6	150	16,1	630
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	0,25	0,2	0,018	0,26	1	0,59	0,45	1,3	46	4,7	120
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	0,47	0,45	0,019	0,21	0,73	0,45	1,1	0,93	28	9,7	11

Labor-Nr.	Bezeichnung	BDE 153	BDE 154	BDE 181	BDE 183	BDE 196	BDE 197	BDE 203	BDE 207	BDE 209	Summe-BDE (6)*	DBDPE
2004 01526	KSK-07-B-7422	0,14	0,14	0,019	0,21	1,1	0,59	0,46	1,2	36	3,0	84
2005 01673	KSK-08-S-5113	0,5	0,37	0,054	0,48	0,48	0,25	0,58	2,1	62	8,9	20
2005 01674	KSK-09-T-6322	0,092	0,091	0,012	0,13	0,78	0,42	1,2	0,8	24	2,1	73
2005 01675	KSK-10-V-6830	0,56	0,37	0,064	0,9	1,5	0,95	2,3	4,3	68	10,7	1.300
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	0,52	0,35	0,092	0,76	0,69	0,68	0,95	4,7	130	9,40	880
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,26	0,19	0,0072	0,17	0,54	0,29	0,8	8,9	270	5,7	39
2006 02247	KSK-13-K-9131	0,41	0,27	0,0083	0,33	0,79	0,43	1,1	1,5	45	6,8	160
2006 02248	KSK-14-St-8720	0,22	0,16	0,0051	0,086	0,18	0,15	0,23	0,39	14	3,04	12

* Summe BDE(6): Die Summe der 6 BDE umfasst 6 polybromierte Diphenylether-Verbindungen: BDE-28, BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153 und BDE-154

12.6 Detailergebnisse – Zinnorganische Verbindungen (OZV)

Tabelle 44: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von zinnorganischen Verbindungen (MBT, DBT, DPT, TeBT, TBT, TPT) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden – (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073)

Labor-Nr.	Bezeichnung	MBT	DBT	DPT	TeBT	TBT	TPT
	BG ¹	1	1	1	1	1	1
	NG ¹	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	<1	<1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Labor-Nr.	Bezeichnung	MBT	DBT	DPT	TeBT	TBT	TPT
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	2,6	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	1,2	<1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	4,1	<1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	6,6	2,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01526	KSK-07-B-7422	2,4	<1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	1,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01674	KSK-09-T-6322	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	17	11	n.n.	n.n.	1,3	n.n.
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	6,6	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02247	KSK-13-K-9131	8,5	2,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02248	KSK-14-St-8720	5,1	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

MBT: Monobutylzinn-Kation, DBT: Dibutylzinn-Kation, DPT: Diphenylzinn-Kation, TeBT: Tetrabutylzinn-Kation, TBT: Tributylzinn-Kation, TPT: Triphenylzinn-Kation

12.7 Detailergebnisse – 4-Nonylphenol und seine Ethoxylate (4-NP, NP1EO, NP2EO)

Tabelle 45: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Nonylphenoethoxylaten (NP1EO, NP2EO) und 4-Nonylphenol (4-NP) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073)

Labor-Nr.	Bezeichnung	NP1EO	NP2EO	4-NP*
	BG ¹	1,6–8	2–5,5	
	NG ¹	0,8–4	1–2	
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	n.n.	
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	n.n.	
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	<1,6	n.n.	
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	2,1	9,8	
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	3,3	8,6	
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	<8,0	<4,0	
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	n.n.	n.n.	
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	69	16	
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	35	7,5	
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.	n.n.	
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	n.n.	
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.	n.n.	
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.n.	n.n.	
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	n.n.	
2005 01675	KSK-10-V-6830	72	8,8	
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	49	12	
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	<8,0	n.n.	

Labor-Nr.	Bezeichnung	NP1EO	NP2EO	4-NP*
2006 02247	KSK-13-K-9131	330	35	
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.	n.n.	

* 4-NP: Wurde mittels NTA (Non-Target-Analytik) gemessen, konnte jedoch in keiner Probe nachgewiesen werden (mögliche Matrixeffekte; siehe 11.14.2).

12.8 Detailergebnisse – Bisphenol A (BPA)

Tabelle 46: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Bisphenol A (BPA) in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	BPA
	BG	50
	NG	25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	99
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.n.
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	600
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	130
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	160
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.n.
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	380
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.n.
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.

12.9 Detailergebnisse – Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Tabelle 47: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in 12 Klärschlammkomposten und zwei Referenzböden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Naphthalin	Fluoranthren	Chrysen	Anthracen	Phenanthren	Fluoren	Benzo (a)anthracen	Benzo (b)fluoranthren	Summe 16 EPA PAK**
	BG ¹	50	25	25	50	25	50	25	25	25–50
	NG ¹	25	13	13	25	13	25	13	13	13–25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473									
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473									
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851									
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851									
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<25	13
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	<25	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<25	39
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.	150	64	n.n.	72	n.n.	66	64	570
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	n.n.	370	92	n.n.	80	n.n.	130	70	1.060
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473									
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851									
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.	720	1.200	<50	83	n.n.	1.000	1.400	7.520
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	390	110	n.n.	60	n.n.	110	86	1.170
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.	170	39	n.n.	54	n.n.	38	40	470
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.n.	630	180	n.n.	69	n.n.	260	71	1.290
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	75	46	n.n.	<25	n.n.	43	34	660
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.n.	460	81	n.n.	230	<50	100	58	1.420
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	n.n.	640	160	<50	220	<50	160	130	2.010

Labor-Nr.	Bezeichnung	Naphthalin	Fluoranthren	Chrysen	Anthracen	Phenanthren	Fluoren	Benzo (a)anthracen	Benzo (b)fluoranthren	Summe 16 EPA PAK**
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.n.	1100	180	<50	170	n.n.	200	130	2.660
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.	300	73	50	300	55	74	40	1.140
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.	130	79	n.n.	<25	n.n.	57	77	510

¹ variiert je nach Probe.

** Summe 16 EPA-PAK: Summe aus Werten der Tabelle 48 und Tabelle 49; Wert unter der <BG werden als halbe BG miteinbezogen (gerundet).

Tabelle 48: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in 12 Klärschlammkomposten und zwei Referenzböden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Benzo(k)fluoranthren	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	Dibenzo(a,h)anthracen	Benzo(g,h,i)perylen	Pyren	Acenaphthylen	Acenaphthen
	BG ¹	25	25	50	50	25	25	50	50
	NG ¹	13	13	25	25	13	13	25	25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473								
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473								
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851								
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851								
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<25	n.n.	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	<25	30	n.n.	n.n.	n.n.	110	n.n.	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	<25	33	n.n.	n.n.	n.n.	270	n.n.	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473								
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851								
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	500	1.000	480	120	360	630	n.n.	n.n.

Labor-Nr.	Bezeichnung	Benzo(k)fluor-anthen	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	Dibenzo(a,h)anthracen	Benzo(g,h,i)perylen	Pyren	Acenaphthylen	Acenaphthen
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	28	40	n.n.	n.n.	<25	330	n.n.	n.n.
2004 01526	KSK-07-B-7422	<25	<25	n.n.	n.n.	n.n.	100	n.n.	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	<25	<25	n.n.	n.n.	n.n.	50	n.n.	n.n.
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	n.n.	n.n.	400	n.n.	50	n.n.	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	<25	<25	n.n.	n.n.	n.n.	390	n.n.	54
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	40	74	<50	n.n.	<25	470	n.n.	<50
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	0,045	93	<50	n.n.	<25	650	n.n.	<50
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.	<25	n.n.	n.n.	n.n.	210	n.n.	<50
2006 02248	KSK-14-St-8720	<25	47	n.n.	n.n.	<25	82	n.n.	n.n.

¹ variiert je nach Probe.

Tabelle 49: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in zwei Klärschlammkomposten, zwei Böden und zwei Referenzböden (TA: GC-MS-Analytik) – Teil 3 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Naphthalin	Fluoranthen	Chrysen	Anthracen	Phenanthren	Fluoren	Benzo(a)anthracen	Benzo(b)fluoranthen
	BG ¹	3	0,4	0,33	0,06	0,72	0,36	0,38	0,42
	NG ¹	1,5	0,2	0,1	0,03	0,36	0,18	0,12	0,13
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	7,2	4	0,33	3,4	<0,36	2,9	4,9
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	8,6	4,1	0,33	2,6	n.n.	3,8	5,1
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	7,8	3,7	0,41	3	<0,36	3,2	5,7
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	8,5	3,6	0,41	3,1	<0,36	3,3	5,2
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441								
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441								

Labor-Nr.	Bezeichnung	Naphthalin	Fluoranthren	Chrysen	Anthracen	Phenanthren	Fluoren	Benzo(a)anthracen	Benzo(b)fluoranthren
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470								
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454								
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	6,6	340	70	13	230	18	52	32
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	n.n.	130	70	8,5	72	3	53	69
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500								
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282								
2004 01526	KSK-07-B-7422								
2005 01673	KSK-08-S-5113								
2005 01674	KSK-09-T-6322								
2005 01675	KSK-10-V-6830								
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630								
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441								
2006 02247	KSK-13-K-9131								
2006 02248	KSK-14-St-8720								

¹ variiert je nach Probe.

Tabelle 50: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in zwei Klärschlammkomposten, zwei Böden und zwei Referenzböden (TA: GC-MS-Analytik) – Teil 4 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Benzo(k)fluor-anthen	Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	Dibenzo(a,h)anthracen	Benzo(g,h,i)perylen	Pyren	Acenaphthylen	Acenaphthen
	BG ¹	0,31	0,24	0,18	0,21	0,33	0,3	0,16	0,5
	NG ¹	0,1	0,06	0,05	0,06	0,1	0,15	0,08	0,25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	2,1	3,7	3,1	0,82	4	5,9	<0,16	<0,50
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	2,6	4,7	3,3	0,85	4,2	7,5	<0,16	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	2,6	4,4	3,9	1,1	4,9	6,2	0,21	<0,50
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	2,3	4,3	3,3	0,8	4,3	6,7	<0,16	<0,50
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441								
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441								
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470								
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454								
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	36	28	28	9,3	38	230	6,7	9,6
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	29	38	37	11	61	98	3	10
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500								
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282								
2004 01526	KSK-07-B-7422								
2005 01673	KSK-08-S-5113								
2005 01674	KSK-09-T-6322								
2005 01675	KSK-10-V-6830								
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630								
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441								
2006 02247	KSK-13-K-9131								
2006 02248	KSK-14-St-8720								

¹ variiert je nach Probe.

12.10 Detailergebnisse – Phthalate

Tabelle 51: Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Phthalaten in Klärschlammkompost, Boden und Referenzboden (Multikomponenten-Analytik: GC-MS-Analytik) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Benzylbutyl-phthalat	DEHP (Bis(2-ethylhexyl)-phthalat)	Diethyl-phthalat	Dimethyl-phthalat	Di-n-butyl-phthalat	Di-n-octyl-phthalat
	BG	250	650	80	70	1.500	50
	NG	130	330	40	35	750	25
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	n.n.	090	n.n.	<1.500	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	200	<70	n.n.	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	n.n.	150	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	n.n.	260	<70	n.n.	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	n.n.	240	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.	<650	120	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	n.n.	2.400	84	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.n.	3.600	<80	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	n.n.	2.400	130	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.	n.n.	<80	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	n.n.	170	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.	n.n.	<80	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.n.	n.n.	<80	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	n.n.	95	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.n.	4.000	99	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	n.n.	1.600	<80	n.n.	n.n.	n.n.

Labor-Nr.	Bezeichnung	Benzylbutyl-phthalat	DEHP (Bis(2-ethylhexyl)-phthalat)	Diethyl-phthalat	Dimethyl-phthalat	Di-n-butyl-phthalat	Di-n-octyl-phthalat
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.n.	740	100	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02247	KSK-13-K-9131	n.n.	3.300	110	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.	<650	260	n.n.	<1.500	n.n.

12.11 Detailergebnisse – Weitere Industriechemikalien

Tabelle 52: Ausgewählte Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Industriechemikalien in 14 Klärschlammkomposten und sechs Böden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 1 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Styrol	Phenol	tert-Butylbenzol	p-Isopropyltoluol	2-Methylphenol (o-Kresol)	3-/4-Methylphenol (m-/p-Kresol)	Isophoron	Triethylphosphat (TEP)
	BG ¹	50	200	50	50	100	100	250	100
	NG ¹	25	100	25	25	50	50	130	50
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1.200	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1.500	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1.200	n.n.
2004 01285	KSK-BR-NÖ-3851	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1.700	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2.400	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ-3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3.300	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ-3470	n.n.	330	n.n.	<50	<100	230	1.000	<100
2004 01263	KSK-02-NÖ-3454	<50	240	n.n.	n.n.	n.n.	170	420	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ-2473	n.n.	1.500	n.n.	n.n.	<100	2.900	n.n.	n.n.
2004 01288	KSK-04-NÖ-3851	91	<200	n.n.	<50	0,110	<100	1.300	300

Labor-Nr.	Bezeichnung	Styrol	Phenol	tert-Butylbenzol	p-Isopropyltoluol	2-Methylphenol (o-Kresol)	3-/4-Methylphenol (m-/p-Kresol)	Isophoron	Triethylphosphat (TEP)
2004 01289	KSK-05-NÖ-3500	n.n.	<200	n.n.	n.n.	n.n.	<100	650	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ-2282	n.n.	<200	n.n.	n.n.	n.n.	<100	750	n.n.
2004 01526	KSK-07-B-7422	n.n.	<200	n.n.	n.n.	n.n.	<100	820	n.n.
2005 01673	KSK-08-S-5113	n.n.	210	n.n.	<50	<100	110	920	n.n.
2005 01674	KSK-09-T-6322	n.n.	<200	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	680	n.n.
2005 01675	KSK-10-V-6830	n.n.	920	n.n.	54	<100	160	1.100	940
2005 01950	KSK-11-NÖ-2630	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<100	400	120
2005 01960	KSK-12-NÖ-3441	n.n.	<200	n.n.	n.n.	n.n.	<100	1.500	<100
2006 02247	KSK-13-K-9131	<50	1.800	<50	170	110	880	n.n.	440
2006 02248	KSK-14-St-8720	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	670	140

Tabelle 53: Ausgewählte Einzelergebnisse (in µg/kg Trockenmasse) der Untersuchung von Industriechemiechalien in 14 Klärschlammkomposten und sechs Böden (Multikomponenten-Analytik) – Teil 2 (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	Triphenylphosphat (TPP)	Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP)	Octylphenol	Pentachlorphenol	Triclosan	Cypermethrin-1	Cypermethrin-2
	BG ¹	75	50	50	50	50	100	250	250
	NG ¹	38	25	25	25	25	50	130	130
2004 01258	KSK-B-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01259	KSK-BR-NÖ-2473	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01284	KSK-B-NÖ-3851	130	n.n.	<50	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Labor-Nr.	Bezeichnung	Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	Triphenylphosphat (TPP)	Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP)	Octyl-phenol	Pentachlor-phenol	Triclosan	Cypermethrin-1	Cypermethrin-2
2004 01285	KSK-BR-NÖ- 3851	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2005 01958	KSK-BR-NÖ- 3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2006 02245	KSK-B-NÖ- 3441	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2004 01262	KSK-01-NÖ- 3470	380	<50	87	n.n.	n.n.	<100	<250	n.n.
2004 01263	KSK-02-NÖ- 3454	370	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<100	<250	n.n.
2004 01264	KSK-03-NÖ- 2473	280	n.n.	170	n.n.	n.n.	n.n.	<250	<250
2004 01288	KSK-04-NÖ- 3851	1.600	110	390	74	n.n.	270	650	310
2004 01289	KSK-05-NÖ- 3500	420	n.n.	95	n.n.	n.n.	n.n.	<250	n.n.
2004 01494	KSK-06-NÖ- 2282	290	n.n.	n.n.	<50	n.n.	n.n.	<250	<250
2004 01526	KSK-07-B- 7422	270	n.n.	55	n.n.	n.n.	<100	<250	<250
2005 01673	KSK-08-S- 5113	330	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	530	310
2005 01674	KSK-09-T- 6322	180	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<250	n.n.
2005 01675	KSK-10-V- 6830	2.800	140	2.300	n.n.	n.n.	240	930	460
2005 01950	KSK-11-NÖ- 2630	604	<50	210	n.n.	n.n.	120	520	380

Labor-Nr.	Bezeichnung	Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	Triphenylphosphat (TPP)	Tris(2-ethylhexyl)phosphat (TEHP)	Octyl-phenol	Pentachlor-phenol	Triclosan	Cypermeth-rin-1	Cypermeth-rin-2
2005 01960	KSK-12-NÖ- 3441	420	n.n.	120	n.n.	n.n.	n.n.	290	n.n.
2006 02247	KSK-13-K- 9131	1.800	70	170	n.n.	57	430	500	500
2006 02248	KSK-14-St- 8720	280	<50	<50	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

12.12 Detailergebnisse – Mikroplastik

Tabelle 54: Einzelergebnisse der Untersuchung von Mikroplastik (50 µm–1 mm) in Boden und Referenzboden (in Stk/kg Trockenmasse) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	PE	PP	PS	PET	PA	PU	POM
	BG	18–21	18–21	18–21	18–21	18–21	18–21	18–21
	NG							
2004 01260	KSK-B-NÖ-2473	160	660	62	950	<21	82	<21
2004 01261	KSK-BR-NÖ-2473	19	77	19	<19	<19	19	39
2004 01286	KSK-B-NÖ-3851	110	130	110	21	<21	85	<21
2004 01287	KSK-BR-NÖ-3851	61	20	20	<20	<20	<20	<20
2005 01959	KSK-BR-NÖ-3441	19	94	<19	19	19	<19	<19
2006 02246	KSK-B-NÖ-3441	18	18	36	<18	<18	<18	<18

Tabelle 55: Einzelergebnisse der Untersuchung von Mikroplastik (1–5 mm) in Boden und Referenzboden (in mg/kg TM sowie Stk/kg Trockenmasse) (entsprechend Prüfbericht PB2102-0073).

Labor-Nr.	Bezeichnung	Folien		Fragmente		Fasern		Summe Kunststoffpartikel (1-5 mm)	
		mg/kg TM	Stk/kg TM	mg/kg TM	Stk/kg TM	mg/kg TM	Stk/kg TM	mg/kg TM	Stk/kg TM
	BG	1,8–2,1	18–21	1,8–2,1	18–21	1,8–2,1	18–21	1,8–2,1	18–21
	NG								
2004 01260	KSK-B-NÖ-2473	<2,1	<21	<2,1	<21	27	21	27	21,00
2004 01261	KSK-BR-NÖ-2473	<1,9	<19	<1,9	<19	<1,9	<19	<1,9	<19
2004 01286	KSK-B-NÖ-3851	8,1	64	97	21	4,1	85	110	171
2004 01287	KSK-BR-NÖ-3851	<2	<20	<2	<20	<2	<20	<2	<20
2005 01959	KSK-BR-NÖ-3441	<1,9	<19	29	94	<1,9	<19	29	94
2006 02246	KSK-B-NÖ-3441	<1,8	<18	<1,8	<18	<1,8	<18	<1,8	<18

12.13 Zusammenschau der Klärschlammkomposte

In Tabelle 56 ist die Häufigkeit des Vorkommens der höchsten Schadstoffkonzentration der jeweiligen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppe (Maximum-Werte) in den einzelnen Klärschlammkomposten dargestellt.

Tabelle 56: Häufigkeit der höchsten Schadstoffkonzentration in Klärschlammkompost.

Labornummer	2004 01262	2004 01263	2004 01264	2004 01288	2004 01289	2004 01494	2004 01526	2005 01673	2005 01674	2005 01675	2005 01950	2005 01960	2006 02247	2006 02248
Probenbezeichnung	KSK-01- NÖ	KSK-02- NÖ	KSK-03- NÖ	KSK-04- NÖ	KSK-05- NÖ	KSK-06- NÖ	KSK-07-B	KSK-08-S	KSK-09-T	KSK-10-V	KSK-11- NÖ	KSK-12- NÖ	KSK-13-K	KSK-14- St
Häufigkeit des Maximums eines Schadstoffs	0	1	0	6	2	0	0	2	0	14	1	1	2	0

Bei der Zusammenschau der Klärschlammkomposte kann man feststellen, dass bei Auswahl der wesentlichen Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen (29) acht KSK jeweils das Maximum eines spezifischen Schadstoffes aufweisen. Der KSK-10 zeigt mit 14 Maxima die häufigsten Höchstwerte und kann als der am stärksten kontaminierte KSK ausgewiesen werden. KSK-04 weist mit sechs Maxima auch ein hohes Kontaminationsniveau auf und wurde auch gemeinsam mit dem beaufschlagten Boden untersucht. Die Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen der sechs Klärschlammkomposte, die keinen Höchstwert aufweisen, liegen zwischen 34 und 90 % der jeweiligen Höchstwerte.

12.14 Chemische Analytik – Details

12.14.1 Angewendete Analysemethoden

Für die Analytik der jeweiligen Schadstoffgruppen in den Klärschlammkompost- sowie Bodenproben wurden Analysenmethoden aus nachfolgenden Bereichen eingesetzt: Target-Analytik (TA), Multikomponenten-Analytik (MKA), und Non-TargetAnalytik (NTA).

Target-Analytik Methoden, die zum Bereich der Target-Analytik gehören, zeichnen sich durch hohe Selektivität und Sensitivität aus. Diese Methoden sind für eine Substanz oder eine Substanzgruppe mit sehr ähnlichen Eigenschaften optimiert. Reinigungsverfahren minimieren Matrixeffekte. Die Qualitätskriterien sind dahingehend ausgelegt, dass eine Quantifizierung mit geringer Messunsicherheit erfolgen kann (z. B. PCB, PCDD/F, PFAS, OZV). Für die TA wurden zwei Systeme verwendet: a) Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS) oder b) Flüssigchromatographie – Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS).

Multikomponenten-Analytik Methoden, die der Multikomponenten-Analytik zugeordnet werden, erlauben die Quantifizierung von Analyten aus verschiedenen Substanzgruppen mit unterschiedlichen Eigenschaften in einer gemeinsamen Messung. Daraus ergibt sich, dass Reinigungsschritte nur eingeschränkt möglich sind und Matrixeffekte die Selektivität und Sensitivität herabsetzen. Damit sind die Bestimmungsgrenzen höher und auch die Messunsicherheit ist größer. Der Vorteil ist eine Zeit- und Kostenersparnis (z. B. Phthalate, Bisphenol A, Trisphosphate). Die in dieser Studie angewendete Multimethode mittels GC-MS (im Scan-Mode (qualitativ) bzw. SIM-Mode (quantitativ)) analysierte 167 individuelle Substanzen.

Non-Target-Analytik Die Non-Target-Analytik liefert einen qualitativen Überblick über in der Probe enthaltene Substanzen ohne Vorauswahl von detektierbaren Substanzgruppen. Für die Identifizierung werden die aus der Probe erhaltenen Massenspektren mit Spektrenbibliotheken verglichen und über Ähnlichkeitssuchen identifiziert. Vorab definierte Ähnlichkeitskriterien legen die Selektivität der Methode und somit die Aussagesicherheit fest. Eine Quantifizierung ist nicht möglich. Matrixeffekte aufgrund von nicht möglichen Reinigungsschritten (Substanzverluste) können die Identifizierung von Substanzen verhindern (z. B. Phthalate, Parabene, Benzotriazol). Die 20 Klärschlammkompost-, Boden- sowie Referenzbodenproben wurden mittels Flüssigchromatographie gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie (LC-HRMS/MS) untersucht. Dabei wurde der Non-Target-Screening-Workflow für mittelpolare organische Substanzen für feste Proben angewendet, unter Einhaltung der Empfehlungen des Leitfadens „Anwendung des Non-Target-Screenings mittels LC-ESI³⁷-HRMS in der Wasseranalytik (WASSERCHEMISCHE GESELLSCHAFT, 2019).

Allgemein ist festzuhalten, dass die NTA als Ergänzung zur spezifischen TA dienen kann, nicht jedoch als Ersatz dafür. Die NTA deckt ein breites analytisches

³⁷ Elektroprayionisation (ESI)

Fenster an detektierbaren Substanzen ab und kann deswegen nicht auf die spezifischen Erfordernisse spezieller Substanzen oder Substanzgruppen eingehen, um für diese die bestmögliche Detektion zu erzielen.

Tabelle 57: Zusammenfassung der angewendeten analytischen Methoden und Normen

Methoden	Parameter (Anzahl)	Dotation	Extraktion	Reinigung	Detektion	Norm
TA	Polychlorierte Biphenyle (18)	18 ¹³ C ₁₂ -markierte (Surrogatstandards)	Soxhlet mit Toluol	Vierstufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards	Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplung (GC-MS)	ÖNORM 16190:2019
TA	Hexachlorbenzol (1)	Surrogatstandard	Soxhlet mit Toluol	Vierstufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards	Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels (GC-MS)	ÖNORM 16190:2019
TA	Bromierte Flammschutzmittel (28)	Surrogatstandard	Soxhlet mit Toluol	Vierstufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards	Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels (GC-MS)	ÖNORM 16190:2019
TA	Polychlorierte-p-Dibenzodioxine und Furane (17)	17 ¹³ C ₁₂ -markierte PCDD/F	Soxhlet mit Toluol	Vierstufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards	Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels (GC-MS)	ÖNORM 16190:2019
TA	Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (20)	Isotopen-markiertes Surrogatgemisch	Vibrationsschüttler	ENVI-Carb-Pulver, Einengung mittels Stickstoff	Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels Flüssigchromatographie – Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS)	DIN CEN/TS 15968
TA	Zinnorganische Verbindungen (6)	deuterierte Surrogatstandards	Komplexierung, Ethylierung und n-Hexan Extraktion	Kieselgel, Einengung mittels Stickstoff	GC-MS/MS	ÖNORM EN ISO 23161:2011
TA	Nonylphenol-ethoxylate (2)	deuterierte Surrogatstandards	Aceton/n-Hexan	Trennsäule	GC-MS	ONR CEN/TS 16182:2012
TA	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK 16)	deuterierte Surrogatstandards	Ultraschall mit Aceton/n-Hexan	Adsorptionssäulenchromatographie	GC-MS	ÖNORM EN 15527:2008
MKA	GC-MS Multikomponenten-Analytik (167)	EPA 8270 Surrogatstandards, Surrogatstandards	Ultraschallextraktion		GC-MS im Scan-Mode (qualitativ) bzw. SIM-Mode (quantitativ)	EPA 8270

Methode	Parameter (Anzahl)	Dotation	Extraktion	Reinigung	Detektion	Norm
NTA	Non-Target-Analytik (unbestimmte Anzahl)	isotopenmarkierten Surrogatstandard-Mischung	heiße Ultraschall-extraktion	Festphasenextraktion	LC-HRMS/MS-System und chromatographische Trennung der Analyten	Wasserchemische Gesellschaft, 2019

TA ... Target-Analytik, MKA ... Multikomponenten-Analytik, NTA ... Non-Target-Analytik; LC-HRMS-MS ... Flüssigchromatographie gekoppelt mit hochauflösender Massenspektrometrie.

12.14.2 Methodenbedingter Einfluss auf Analyseergebnisse

Im Wesentlichen gibt es drei Gründe, warum es zu unterschiedlichen Ergebnissen bei der Target-Analytik bzw. Multikomponenten-Analytik verglichen mit der Non-Target-Analytik kommen kann: Auswahlkriterien, Probenvorbereitung, und Messempfindlichkeit.

Auswahlkriterien Anders als die Target-Analytik (TA) ist die Analyse von Proben mittels Non-Target-Analytik (NTA) stärker von zu definierenden Auswahlkriterien, die für eine softwarebasierte Auswertung der großen Datenmengen nötig sind, abhängig. Sind die Kriterien weniger restriktiv definiert, führt dies zu einer erhöhten Zahl an falsch-positiven Resultaten (Nachweis einer Substanz mit NTA, obwohl diese mittels TA nicht nachgewiesen werden kann), wohingegen strengere Auswahlkriterien das Risiko vergrößern, vermehrt falsch-negative Befunde (kein Nachweis mit NTA, obwohl mit TA diese Substanz nachgewiesen werden kann) zu erhalten (z. B. Triphenylphosphat).

Probenvorbereitung Durch die unterschiedliche Probenvorbereitung (Extraktion mit verschiedenen Extraktionsmitteln) werden unterschiedliche Substanzen (auch für die Detektion störende Substanzen) herausgelöst, die zu einem Matrixeffekt führen können. Hierbei führen die störenden Substanzen zum Nichterkennen der vorliegenden Substanz (z. B. bei Nonylphenolmonoethoxylaten).

Messempfindlichkeit Bei der Messung der vorliegenden Substanzen werden zwei unterschiedliche Detektionssysteme angewendet (bei Non-Target-Analytik (NTA): Orbitrap-System; bei Target Analytik (TA): kontinuierliches Massenspektrometer-System). Durch die unterschiedliche Funktionsweise kann der Matrixeffekt zu weiterem unterschiedlich großem Einfluss beitragen und zu falsch-positiven sowie falsch-negativen Ergebnissen führen. Weiters können Positivbefunde der NTA, die sich nicht durch die TA bestätigen lassen, dadurch erklärt werden, dass die Bestimmungs- und Nachweisgrenze der TA nicht hinreichend niedrig ist.

12.15 Detaillierte Beschreibung der Zusammensetzung der zwei Klärschlammkomposte und der Bodenprobenahmeflächen in Niederösterreich.

12.15.1 NÖ-03 Deutsch Haslau

Tabelle 58:
Herkunft der
Klärschlämme für die
Kompostierung (NÖ-03).

Kläranlage	Menge (t)	%	KS-Qualität Anl. 1 KompostVO (mg/kg TM)
Wiener Neustadt (2018/2019)	130	16	Tab. 2c Cu: 148 / 143 mg Zn: 692 / 739 mg AOX: n.a.
Deutsch Haslau (2017)	16	2	Tab. 2c Cu: 297 mg Zn: 631 mg AOX: n.a.
Bad Vöslau (2019/2018)	430	53	Tab. 2c Cu: 193 / 230 mg Zn: 402 / 506 mg AOX: 56 / 61 mg
Baden	86	11	Tab. 2c Cu: k.A. Zn: k.A. AOX: k.A.
Groß-Enzersdorf (2019/2018)	156	19	Tab. 2c Cu: 106,8 / 5,7 (?) mg Zn: 396 / 302 mg AOX: 141 / 112 mg PAK: 0,66 / 0,59 mg
Summe	818		

n.a.: nicht analysiert; k.A.: keine Angaben.

Tabelle 59:
Charakterisierung der
Kompostierung.

Anteil Klärschlamm (v/v)		34 %
Mischungspartner	<ul style="list-style-type: none"> ● Gemischte Grünabfälle: 11 % ● Gras/Heu/Laub: 3 % ● Baum- /Strauchschnitt: 22 % ● Siebrest: 16 % ● Bleicherde: 13 % ● Pflanzenasche 0,6 % 	
Rottedauer Hauptrotte	10 Wochen	
Alter zur Probenahme	30 Wochen	
Mietenquerschnitt (b x h)	4,5 x 1,7 m	
Umsetzhäufigkeit	1x/Woche; in Summe 13x	

Zustand Probe-Haufen	Querschnitt: 35 x 16 x 4 m = ~1200 m ³ Zustand: überwiegend trocken und bis in ca. 1 m stark verpilzt; hoher Faseranteil; staubig
Geruch	deutlicher NH ₃ und Klärschlammgeruch; ab 70 cm faulig
Feuchtigkeit	sehr trocken
°C: Verlauf	2.-7. Woche: 58-64 °C
Messungen zur Probenahme	Temperatur: 61,3 °C CO ₂ : O ₂ : CH ₄ :

Abbildung 32 (links):
Beprobter
Komposthaufen (Foto:
Florian Amlinger ©).



Abbildung 33 (rechts):
Massive Schimmelbildung;
ausgetrocknet und
verdichtet bis 1,5 m Tiefe
(Foto:
Florian Amlinger ©).



Tabelle 60:
Charakterisierung des
Bodenprobenahme
standorts.

Schlaggröße	5,49 ha
Nutzung	Ackerland; Winterraps
Bodenart	Lehm auf Schotter
Bodentyp	Tschernosem
Gründigkeit	Mittel/leicht
Untergrund	Schotter/Lehm
Humusgehalt	2,2 % vom 27.06.2016; 2,5 % vom 04.07.2018
KSK seit Jahr	2010
KSK MENGE	~8 t TS/ha/a
Fruchtfolge in dieser Zeit	W.Raps; W.Gerste; W.Gerste; W.Raps; W.Gerste; W.Gerste; W.Raps; W.Gerste; W.Gerste; W.Raps;
Bodenbearbeitung	Grubber; Scheibenegge
Bearbeitungstiefe	20 cm
Sonst. Düngung MINERALISCH	400 kg NAC 17.02.2020 bis 31.02.2020
Pestizideinsatz	Pontos; Sumi Alpha (15.10.2019)

Abbildung 34: Probenahme: Fläche 2135 (BR – Vergleichsfläche): 2x Diagonal mit je 45 Einstichen für Standardparameter und je 25 Einstichen für MP Fläche 2136 (B – KSK-Fläche): 2x Diagonal mit je 36 Einstichen für Standardparameter und je 18 Einstichen für MP.



Abbildung 35:
Beprobte Schläge
(links: Blick von Süd-
West KSK03_BR+B;
rechts: Probenteiler)
(Fotos:
Florian Amlinger ©).



12.15.2 NÖ-04 Taxen

Tabelle 61:
Herkunft der
Klärschlämme für die
Kompostierung (NÖ-04).

Kläranlage	Menge (t)	%	KS-Qualität Anl. 1 KompostVO (mg/kg TM)
Wieselburg (2014–2019)			Tab. 2c Cu: 72 / 117 / 75 / 98 / 42 mg Zn: 205 / 401 / 228 / 259 / 103 mg AOX: n.a.
Strass im Zillertal (2017/2018/2019)			Tab. 2c Cu: 270 / 277 / 295 mg Zn: 686 / 759 / 863 mg AOX: n.a.
Schwaz (2017/2018/2019)			Tab. 2c Cu: 48 / 71 / 59 mg Zn: 146 / 191 / 156 mg AOX: n.a.
IKB Innsbruck (2014/2015)			Tab. 2c Cu: 225 / 285 mg Zn: 757 / 929 mg AOX: k.A.
Hoheneich (2017)			Tab. 2c Cu: <u>300</u> mg (= Grenzwert) Zn: 590 mg AOX: 120 mg
Kautzen (2018)			Tab. 2c Cu: 201 mg Zn: 542 mg AOX: n.a.

Kläranlage	Menge (t)	%	KS-Qualität Anl. 1 KompostVO (mg/kg TM)
Litschau (2018)			Tab. 2c Cu: 260 mg Zn: 720 mg AOX: 200 mg

Tabelle 62: Charakterisierung Kompostierung.

Anteil Klärschlamm (v/v)	25 %
Mischungspartner	Stroh: 75 %
Rottedauer Hauptrotte	6 Wochen
Alter zur Probenahme	8–32 Wochen (gemischtes Nachlager auf Tafelmiete)
Mietenquerschnitt (b x h)	3 x 1,5 m
Umsetzhäufigkeit	2–3x/Woche; in Summe 16x in 6 Wochen
Zustand Probe-Haufen	Querschnitt: 27 x 10 x 2,5 m = ~ 900 m ³ Zustand: klumpig/schmierig; wenig aggregiert; Stroh noch gut erkennbar; Verpilzungsschicht in 40–100 cm unter Oberfläche
Geruch	deutlicher NH ₃ und Klärschlammgeruch
Feuchtigkeit	mittel
°C: Verlauf	2.–6. Woche: 58–72 °C; regelmäßig über 65/70 °C (!)
Messungen zur Probenahme	Temperatur: 43,6 (18–53) °C CO ₂ : 11,5 (2–22) %; O ₂ : 10,6 (0–20) %; CH ₄ : 0,6 (0–4,3) %

Abbildung 36 (links):
Beprobter
Komposthaufen (Foto:
Florian Amlinger ©).



Abbildung 37 (rechts):
Teilweise Schimmelbildung
und inhomogener
Rottgrad (Foto:
Florian Amlinger ©).



Abbildung 38 (links):
Hauptrottemieten (Foto:
Florian Amlinger ©).



Abbildung 39 (rechts):
Klärschlamm-Lager
(Foto:
Florian Amlinger ©).



Tabelle 63:
Charakterisierung
Bodenprobenahme
fläche.

Schlaggröße	19,02 ha
Nutzung	Ackerland
Bodenart	sandiger Schluff oder sandiger Lehm ohne oder mit geringem Grobanteil
Bodentyp	Relikt pseudogley aus alter Kristallinverwitterung
Gründigkeit	Mittel/leicht
Untergrund	lehmiger Schluff oder sandiger Lehm ohne oder mit geringem Grobanteil
Humusgehalt	mittelhumos
KSK seit Jahr	2014
KSK MENGE / ha für jedes Jahr	08/2014: 25 m ³ , 04/2017: 25 m ³ , 08/2018: 30 m ³ pro Hektar
Fruchtfolge in dieser Zeit	Ernte 2015: Raps, 2016: Weizen, 2017: Mais, 2018: Weizen, 2019: Raps, 2020: Weizen
Bodenbearbeitung	Grubber
Bearbeitungstiefe	30 cm
Sonst. Düngung MINERALISCH	150 kg N/Jahr
Pestizideinsatz	kulturspezifisch

Abbildung 40: Probenahme: Fläche GStNr. 1064/1 (B – KSK-Fläche): 2x Diagonal mit je 25 Einstichen für Standardparameter und je 12 Einstichen für MP auf einer Teilfläche von 100 x 100 m



Abbildung 41:
Probenahme Ablauf
NÖ-04 (Fotos:
Florian Amlinger ©).



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

In Österreich wird ein Teil des Klärschlammes in Kompostieranlagen zu Klärschlammkompost verarbeitet. Davon wird ein Teil auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht. Kreislaufwirtschaft und Schadstoffreduktion zählen zu den Prioritäten der Europäischen Union. Daher ist es wichtig, dass die Verwertung und Nutzung von Klärschlamm zu keiner Belastung von Böden, Luft und Wasser führt.

Klärschlammkomposte und Bodenstandorte wurden auf Schadstoffe untersucht. Insgesamt wurden 570 Parameter analysiert, darunter auch Mikroplastik. Der Fokus lag auf persistenten organischen Schadstoffen und auf endokrin schädigenden Substanzen. Es konnten über 200 Parameter und ein Transfer der Schadstoffe und von Mikroplastik in den Boden nachgewiesen werden.