

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

Endbericht

Wolfgang Friesl-Hanl

BARRIEREFREIE ZUSAMMENFASSUNG
REP-0805

WIEN 2022

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, Trosipium), 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 langfristige umwelt- und gesundheitsschädigende 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.

	1	2	3	4	5		
	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 ¹
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)		X	X				X ¹⁷
Perfluorononansäure (PFNA)	X	X		X			
TEQ-PCDD/F		X	X			X	X ²
Polychlorierte Biphenyle (PCB6)	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 ³ X ⁴
BDE-209		X	X	X		X	
Decabromdiphenylethan (DBDPE)		X					X ⁵
Dechloran	X	X		X			
Mikroplastik	X	X					
Acetaminophen (Paracetamol)		X					X ¹⁷
Epoxiconazol		X					X ⁶
Oxindol		X					
Trospium		X					
Tris(2-chlorpropyl)phosphat		X					X ⁷
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).

¹ Gore et al. (2015).

² EC (2002).

³ EFSA (2011).

⁴ Kronborg et al. (2017).

⁵ UMWELTBUNDESAMT (2016).

⁶ Taxvig et al. (2007).

⁷ 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. 89/2007idgF) 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 Nonylphenolethoxylaten 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 Körpergewicht⁸. 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**.

⁸ 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 (HBM4EU⁹, EU-ToxRisk¹⁰, 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.).

⁹ <https://www.hbm4eu.eu/>

¹⁰ www.eu-toxrisk.eu

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 ¹¹
Perfluorooctane sulfonic acid (PFOS)		X	X				X ¹⁷
Perfluorononanoic acid (PFNA)	X	X		X			
PCDD/F TEQ		X	X			X	X ¹²
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 ¹³ X ¹⁴
BDE-209		X	X	X		X	
Decabromodiphenyl ethane (DBDPE)		X					X ¹⁵
Dechlorane	X	X		X			
Microplastics	X	X					
Acetaminophen (Paracetamol)		X					X ¹⁷
Epoxiconazole		X					X ¹⁶
Oxindole		X					
Trospium		X					
Tris(2-chloropropyl) phosphate		X					X ¹⁷
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).

¹¹ Gore et al. (2015).

¹² EC (2002).

¹³ EFSA (2011).

¹⁴ Kronborg et al. (2017).

¹⁵ Environment Agency Austria (2016).

¹⁶ Taxvig et al. (2007).

¹⁷ 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 weight¹⁸. 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).

¹⁸ 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 (HBM4EU¹⁹, EU-ToxRisk²⁰, 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.)

¹⁹ <https://www.hbm4eu.eu/>

²⁰ www.eu-toxrisk.eu

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