



kompost
& biogas
verband

Österreich
Franz-Josefs-Kai 13, 1010 Wien
T. 0043 1-890 1522
F. 0043 810-9554 063965
E. office@kompost-biogas.info
I. www.kompost-biogas.info

Datum

13.10.2021

Position des KBVÖ zur Verwertung von Klärschlamm

Die Behandlung und Nutzung von Klärschlamm ist in der EU in der Klärschlammrichtlinie (1986) definiert. Die Richtlinie beschreibt die Bedingungen für die Behandlung und Nutzung von Klärschlamm. Sie enthält Grenzwerte für Schwermetalle und definiert das Vorgehen für Schwermetallanalysen. Ziel der Richtlinie ist die Nutzung des Nährstoffgehaltes des Klärschlammes und die Vermeidung schädlicher Auswirkungen durch dessen Nutzung (Clara et al., 2016).

Im Jahr 2018 waren in Österreich 1.869 Kläranlagen mit einer Bemessungsgröße von > 50 Einwohnerwerten (EW60) erfasst. Davon wiesen 633 Kläranlagen eine Reinigungskapazität von mehr als 2.000 EW60 auf (BMLRT, 2021). 2019 wurde die Behandlung von rund 237.000 t TM (ca. 1 Mio. t FM) kommunalem Klärschlamm in Österreich statistisch erfasst. Rund 20 % des Klärschlammes wurde auf landwirtschaftlichen Flächen direkt im Rahmen von Bodenschutzgesetzen und Klärschlammverordnungen aufgebracht; rund 53 % wurden in Mitverbrennungsanlagen thermisch behandelt und rund 27 % fielen in die Kategorie „sonstige Behandlung“ (z. B. Klärschlammkompostierung, mechanisch-biologische Behandlung, Vererdung) (BMK, 2021).

Ziel ist die weitgehende Nutzbarmachung der enthaltenen Nährstoffe in der Landwirtschaft unter Bedachtnahme, dass im Falle einer bestimmungsgemäßen Verwendung keine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit und die Umwelt besteht.

Wesentlich sind die Nutzbarmachung der enthaltenen organischen Substanz und der Pflanzennährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel und Kalk. Klärschlamm enthält neben diesen Nährstoffen auch potenzielle Schadstoffe wie zum Beispiel Schwermetalle,

Mikroplastik, pathogene Mikroorganismen oder hormonell wirksame Substanzen. Aufgrund dessen wird seit langer Zeit diskutiert, ob Klärschlamm zukünftig ausschließlich der thermischen Verwertung (Monoverbrennung) zugeführt werden soll.

Der Kompost und Biogas Verband Österreich tritt dafür ein, dass für Qualitätsklärschlämme (Schlüsselnummer 92201), unabhängig von der Ausbaugröße einer Kläranlage, der Verwertungsweg einer Kompostierung gemäß Kompostverordnung offenbleibt. Gemäß der Abfallhierarchie entspricht die Kompostierung von Klärschlamm der dritten Stufe „Recycling“, die Verbrennung hingegen der vierten Stufen „sonstige Verwertung“. Somit ist die Kompostierung qualitativ geeigneter Klärschlämme der Verbrennung jedenfalls vorzuziehen.

1 Problemstellung

Jedes Jahr werden weltweit über 40 Millionen Tonnen Phosphat als mineralische Düngemittel in der Landwirtschaft eingesetzt. Phosphat ist nach Stickstoff damit der mengenmäßig wichtigste Nährstoff zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion (BGR, 2013). EU weit ist der Phosphorverbrauch (elementarer Phosphor, P) in der Landwirtschaft gegenüber dem Jahr 2000 nur leicht gesunken und liegt weiter auf hohem Niveau. Wie in Abbildung 1 dargestellt, liegt der Phosphorverbrauch im letzten statistisch erfassten Jahr 2017 bei über 1.200.000 t (Grunze, 2021).

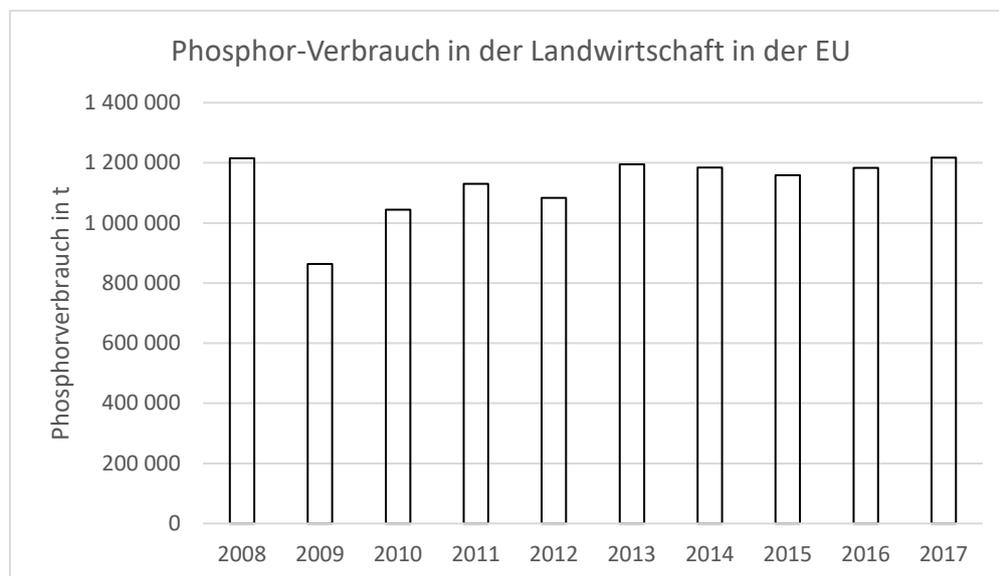


Abbildung 1: Verbrauch von elementarem Phosphor in der Landwirtschaft in Europa (Quelle: eigene Darstellung nach Eurostat, 2021)

Aufgrund von Verlusten von Phosphor gibt es jedoch bereits weltweit Bedenken hinsichtlich der zukünftigen Versorgung sowie der entsprechenden Wasser- und Bodenkontamination. Ein weiteres Problemfeld ist die weltweit ungleiche Verteilung der Phosphorreserven. In der EU gibt es nur geringe Vorkommen an phosphathaltigem Gestein, zu den Hauptimportländern zählen Marokko und Kasachstan (COM (2020) 474). Zudem waren in den letzten Jahren starke Preisschwankungen zu verzeichnen. Um den Phosphorkreislauf langfristig zu schließen, sind eine effiziente Gewinnung und Nutzung sowie die Wiederverwertung notwendig. Damit kann auch die Sicherung der Versorgung und die gleichmäßige Verteilung von Phosphor auf regionaler und auf weltweiter Ebene sichergestellt werden. Entsprechende Recyclingmaßnahmen wären zudem mit zahlreichen weiteren Vorteilen verbunden (Europäische Kommission, 2013).

Aufgrund dieses Recyclingschwerpunktes wurden vom zuständigen Ministerium für den Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 (BMLFUW, 2017) die Strategien zur zukünftigen Klärschlammbewirtschaftung und die Vorgaben für eine Phosphor-Rückgewinnung ausgearbeitet. Dem zufolge soll konkret die landwirtschaftliche Ausbringung von Klärschlamm von Kläranlagen > 20.000 EW60 verboten und gleichzeitig eine verpflichtende Phosphor-Rückgewinnung eingeführt werden (Zessner, 2021).

Durch die steigende Nachfrage nach Düngemitteln gewinnt das Phosphorrecycling immer mehr an Bedeutung (Fischer, 2011). Dies wurde auch von der Europäischen Kommission erkannt, Phosphor/Phosphorit zählt zu den kritischen Rohstoffen (COM, 2017, 490).

2 Aktuelle Klärschlammverwertung/-beseitigung

Aufgrund des Phosphorgehaltes in Klärschlämmen von rund 1 kg Phosphor pro Einwohner und Jahr kommt dem Klärschlammrecycling eine besondere Bedeutung zu (ÖWAV, 2018). In Österreich wird die Gesamtmenge an Phosphor aus kommunalen Klärschlämmen mit 6.500 t P (14.700 t P_2O_5) geschätzt, was in etwa einem Drittel des Phosphors, der über Handelsdünger in Verkehr gebracht wird, entspricht (ÖWAV, 2014).

Aktuell wird der Klärschlamm (Großteils nach der Entwässerung) via direkter Ausbringung oder Kompostierung nahezu zu 50 % in der Landwirtschaft angewandt. Etwas über 50 % wird aktuell keiner Verwertung zugeführt und wird in Abfallverbrennungsanlagen und Zementanlagen thermisch verwertet. Die Teilprozesse der Klärschlammverwertung werden in Abbildung 2 grafisch dargestellt. In Abbildung 3 sind die Klärschlammbehandler in Österreich zu finden.

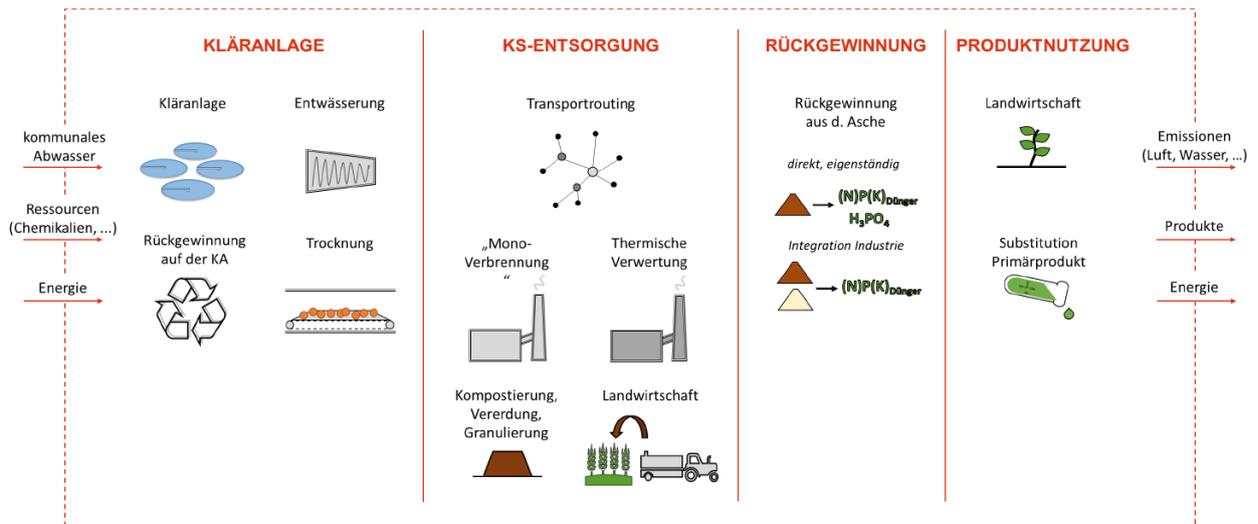


Abbildung 2: Betrachtete (modellerte) Teilprozesse der Klärschlammverwertung (Quelle: TU Wien, 2021)

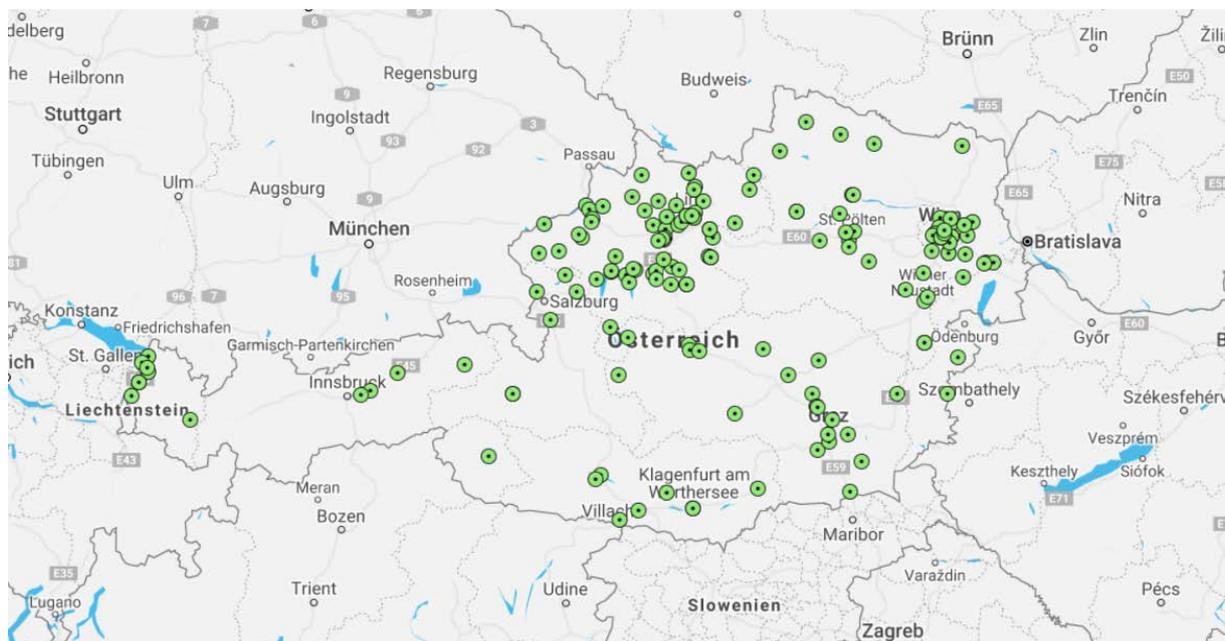


Abbildung 3: Klärschlamm-Behandler in Österreich. (Quelle: eigene Darstellung nach EDM-Portal, 2021)

2.1 Klärschlammanwendung in der Landwirtschaft

In Österreich sind bei der Verwertung von Klärschlamm die Bodenschutzvorgaben einzuhalten. Dazu gibt es einerseits die Bodenschutzgesetze der Länder, welche die Aufbringung von Abfällen auf Böden regeln, und andererseits weitere Regelungen (z.B. KompostVO, WRG), welche bei der Aufbringung von (Qualitäts-) Klärschlammkompost zu befolgen sind.

Beispielsweise wird im Bundesland Niederösterreich die Verwertung von Klärschlamm im Niederösterreichischen Bodenschutzgesetz (LGBl. 6160-0 i.d.F. LGBl. Nr. 40/2019) sowie in der Niederösterreichischen Klärschlammverordnung (LGBl. 6160/2-0 i.d.F. LGBl. 6160/2-5) geregelt. Auf Böden dürfen ausschließlich Klärschlämme der Qualitätsklassen I und II (unbedenklich hinsichtlich Schwermetallgehalte) aufgebracht werden. Außerdem ist bei der Bemessung der Aufbringungsmenge der Nährstoffgehalt im Boden und der Nährstoffbedarf der Folgekulturen zu berücksichtigen.

Besonders wertvoll sind die im Klärschlamm enthaltenen Pflanzennährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Kalium, Schwefel oder Kalk (BAWP, 2017). Die aktuell verwertete Menge in der Landwirtschaft entspricht einer Phosphormenge von rund 3.200 t P pro Jahr (7.200 t P₂O₅). Die Düngung mittels Kompost bringt zusätzliche Vorteile gegenüber alleiniger, mineralischer Düngung mit sich (Fischer, 2011). Durch die enthaltene organische Substanz wird insbesondere die Aktivität von Bodenlebewesen gefördert, die Erosionsanfälligkeit vermindert, eine phytosanitäre Wirkung tritt auf, die Bodenbefahrbarkeit verbessert sich und das Nährstoffspeichervermögen nimmt zu (Fischer, 2011).

2.2 Verbrennung von Klärschlämmen

Laut Entwurf des BAWP (2017) sollen Kläranlagen größer 20.000 EW verpflichtet werden, ihren Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen zu behandeln und den Phosphor aus der Asche zurückzugewinnen. Dementsprechend würde die bodenbezogene Nutzung von Klärschlamm stark eingeschränkt werden. Die thermische Verwertung rückt in Folge dessen zunehmend in den Vordergrund. Die thermische Verwertung von Klärschlamm kann durch eine Monoverbrennung, eine Mitverbrennung oder alternative Verfahren (Pyrolyse) erfolgen. Durch diese Formen der Verwertung kommt es zu einer teilweisen Reduktion von potenziell organischen Schadstoffen (POP) und Volumen. Allerdings gehen wertvolle nutzbare Nährstoffe und die Organik zwangsweise verloren.

Ausschlaggebend für die thermische Verwertung von Klärschlamm ist dessen Heizwert. Der Heizwert ist abhängig vom gewählten Schlammbehandlungsverfahren und dem verbleibenden Gehalt an Wasser und Organik (Penckert, 2021).

Derzeit wird Klärschlamm hauptsächlich in Mitverbrennungsanlagen behandelt. Dieses Verfahren ist generell kostengünstiger als die Monoverbrennung, erlaubt aber nicht die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Mitverbrennungsrückständen ist laut Penckert (2021) nicht wirtschaftlich und somit nicht zielführend.

2.3 Klärschlammkompostierung

Aktuell werden rund 25 % der anfallenden Klärschlämme der Kompostierung zugeführt. Dies entspricht rund 250.000 t FM Klärschlämme bzw. 1.600 t P (3.600 t P₂O₅). Um Klärschlämme in Kompostanlagen verwerten zu können, werden die Klärschlämme von Abfallsammlern und -behndlern übernommen.

Grundsätzlich unterscheidet man laut Abfallverzeichnisverordnung und ÖNORM S 2100 zwischen kommunalen Qualitätsklärschlämmen (Schlüsselnummer 92201) und kommunalen Klärschlämmen (Schlüsselnummer 92212). Bei der Schlüsselnummer 92201 handelt es sich um den qualitativ hochwertigsten Klärschlamm (gemäß KompostVO Anlage 1, Teil 2 Tabelle 2C). Daten der Mitgliedsbetriebe des KBVÖ belegen, dass aktuell nahezu ausschließlich kommunale Qualitätsklärschlämme verarbeitet werden, mit dem Ziel, die Qualitätsklärschlammkomposte vorwiegend zur Düngung (insbesondere N und P) für die landwirtschaftliche Nutzung verfügbar zu machen. Klärschlämme mit der Schlüsselnummer 92212 sollen zukünftig von der Kompostierung ausgeschlossen werden.

Werden die Anforderungen der KompostVO eingehalten, wird ein Abfallende erreicht. Klärschlammkomposte können als Produkt in Verkehr gebracht werden. Die Kompostierung von Qualitätsklärschlamm bietet einerseits eine hohe Entsorgungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber und andererseits ist bei der bestimmungsgemäßen Verwendung keine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit und die Umwelt gegeben.

Gemäß Kompostverordnung (2001) ist die Voraussetzung für den Einsatz in der Landwirtschaft die Qualitätsklasse A. Ein wesentliches Kriterium für Landwirtinnen und Landwirte sind die Nährstoffgehalte und der organisch gebundene Kohlenstoff.

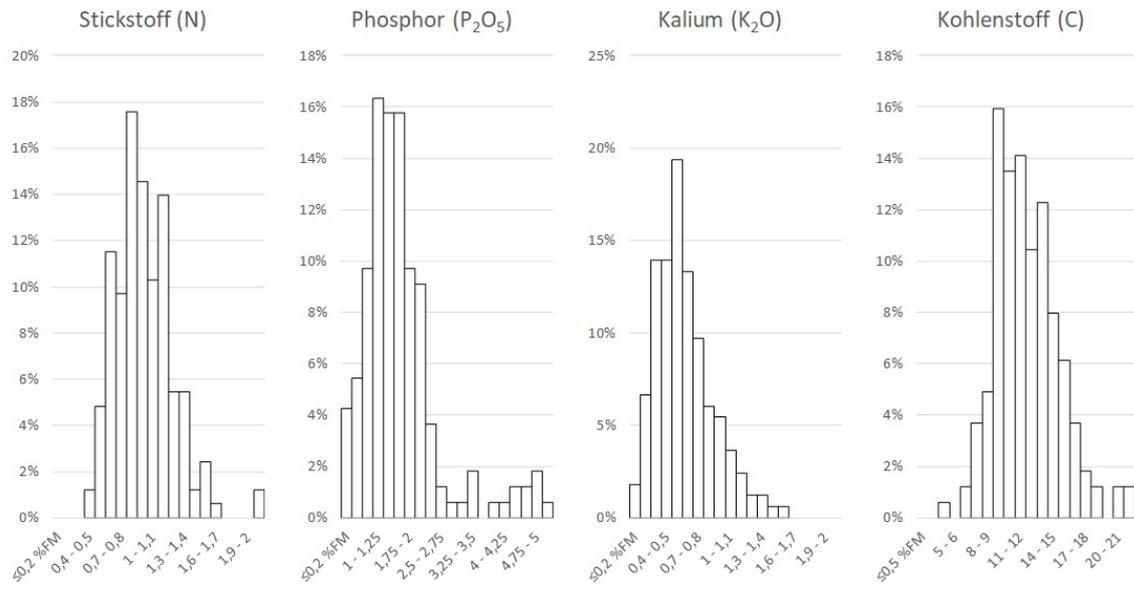


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilungen der Stickstoff- (n=165), Phosphor- (n=165) und Kaligehalte (n=165) sowie organischer Kohlenstoff (n=165) von österreichischen Klärschlammkomposten (Quelle: KBVÖ, 2019)

Am Beispiel von zwei viehlosen Betrieben wurde die Entwicklung der Phosphorversorgung bei langjähriger Qualitätsklärschlammkompostanwendung untersucht. Dabei zeigte sich, dass durch den Einsatz von Qualitätsklärschlammkomposten (zirka 50 % Anteil Phosphatdüngung) die Schwermetallgehaltsstufe innerhalb von 15 Jahren um zwei Stufen gesteigert werden konnte. Das entspricht mindestens einen Anstieg von pflanzenverfügbaren 10 mg P₂O₅/100 g Boden.

Um diese Entwicklung der Phosphorversorgung zu erreichen, muss von einer Verfügbarkeit von mindestens 90 % des enthaltenen Phosphors ausgegangen werden. Der organisch gebundene Phosphor ist die Grundlage für die Pflanzenernährung. Durch den Einsatz von Qualitätsklärschlammkompost kann dementsprechend die mineralische Phosphordüngung im selben Ausmaß reduziert werden. Eine Phosphor-Nutzung von > 65 % bezogen auf den Kläranlagen-Zulauf wird in jedem Fall erreicht, wenn Kläranlagen den anfallenden Klärschlamm in der Landwirtschaft anwenden.

Des Weiteren ist zu betonen, dass das Risiko einer Schadstoffanreicherung in Böden durch eine ordnungsgemäße und qualitätsgesicherte Klärschlammkompostierung gemäß Kompostverordnung und die Anwendung von Qualitätsklärschlammkompost gemäß den Bodenschutzgesetzen sehr gering ist.

2.4 Problembereiche des Klärschlammrecyclings

Klärschlamm enthält in der Regel Pflanzennährstoffe wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel oder Kalk. Klärschlamm kann auch mit Stoffen, wie biologisch schwer abbaubare organische Verbindungen, Schwermetallen, Nanomaterialien, Mikroplastik, pathogenen Mikroorganismen oder hormonell wirksamen Substanzen, belastet sein (BAWP, 2017). Aufbauend auf Daten des Kompost- und Biogas Verbandes wurden Studien durchgeführt, welche zeigen, dass sowohl die Schwermetallgehalte, als auch das Ballaststoffaufkommen im Klärschlamm rückläufig sind.

Bei Untersuchungen zu hormonell wirksamen Substanzen ist davon auszugehen, dass nur ein geringer Teil an freigesetzten Stoffen im Abwasser landet. Aufgrund der vielfachen Abbaumechanismen in der ordnungsgemäßen Kompostierung kann zudem davon ausgegangen werden, dass die Wirkung dieser Substanzen durch den Rottevorgang abnimmt. Das heißt, dass endokrine Substanzen, die im Klärschlamm noch enthalten sein können, weitgehend abgebaut bzw. unschädlich gemacht werden (BOKU, 2020).

2.4.1 Schwermetallgehalte beim Klärschlammrecycling

Als Schwermetall bezeichnet man alle Metalle mit einer Dichte von über $4,5 \text{ g/cm}^3$ (Waltner, 2020 zit. nach Rauter, 2008). Während einige Schwermetalle, wie z.B. Kupfer und Zink als Spurenelemente für die Ernährung von Pflanze, Tier und Mensch essenziell sind (und erst in höheren Konzentrationen schädlich sind), sind Schwermetalle wie Blei, Cadmium und Quecksilber als Schadstoffe zu bezeichnen.

Eintragsquellen von Schwermetallen sind Metallbleche bei der Regenwasserableitung, Abrieb von Reifen, Bremsbelägen und Straßenbelägen sowie atmosphärische Depositionen, häusliche Abwässer (inkl. menschliche Ausscheidungen) und das Trinkwasser aus dem Leitungssystem. Auch geogene Grundbelastungen beeinflussen die Schwermetallgehalte von Klärschlamm. Beträchtliche Schwermetallbelastungen können auch aus betrieblichen Abwässern stammen (ÖWAV, 2003). Hier wurde über die Indirektleiterverordnung (BGBl. II Nr. 222/1998 i.d.F. BGBl. II Nr. 389/2021) bereits frühzeitig der Eintragung von unerwünschten Stoffen entgegengewirkt. Durch die Festlegung von Grenzwerten vor über 30 Jahren und der damit festgelegten Vorreinigungsmaßnahmen bei den Verursachern konnte eine deutliche Reduktion beim Eintrag von Schwermetallen in Klärschlämme erreicht werden, wie Abbildung 5 am Beispiel Oberösterreich in den Jahren 1979 bis 2000 zeigt.

muss der Eintrag in den Boden geringgehalten werden (Waltner, 2020 zit. nach BMLFUW, 2010b).

Viele Mitgliedsbetriebe des KBVÖ beweisen seit Jahrzehnten, dass die Kompostierung von Qualitätsklärschlamm (SN 92201) hohe Entsorgungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber bietet. Die Kompostverordnung sieht strenge Grenzwerte für die Schwermetallgehalte in Klärschlämmen zur Kompostierung vor.

Bei ordnungsgemäßer Kompostierung beträgt der Klärschlammanteil in der Kompostmiete zirka 30 % (v/v) und es ist aufgrund der sinkenden Schadstoffgehalte in Klärschlämmen, die für die Kompostierung geeignet sind, auch zukünftig von hochwertigen Qualitätsklärschlammkomposten auszugehen.

Abbildung 6 zeigt die Schwermetallkonzentrationen aus den Jahren 2009 bis 2019 in 163 Klärschlammkompostanalysen. Wie die Abbildung zeigt, liegen die Schwermetallkonzentration unter den gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerten. Ein Großteil der Klärschlammkomposte würde sogar der Kompostklasse A+ (welche nicht für die Klärschlammkomposte anzuwenden ist) für Bioabfall- und Grünschnittkomposte entsprechen.

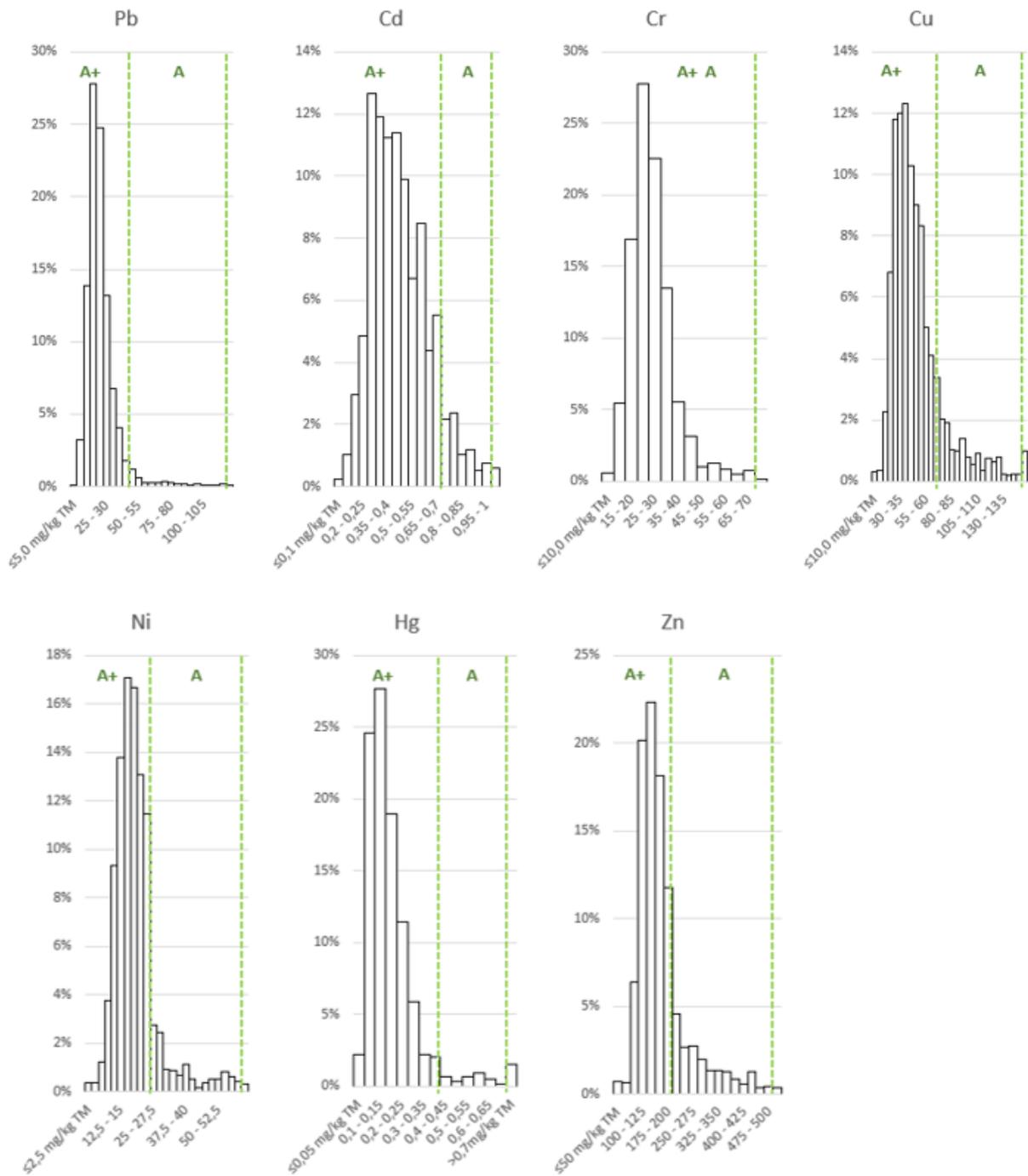


Abbildung 6: Schwermetallgehalte in Klärschlammkompost im Zeitraum 2009-2019 (n=163) (Quelle: Uschnig und Stürmer, 2020)

Unter Betrachtung der Daten im Zeitraum 2003 bis 2017 ist bei den Schwermetallgehalten zudem ein Rückgang zu verzeichnen.

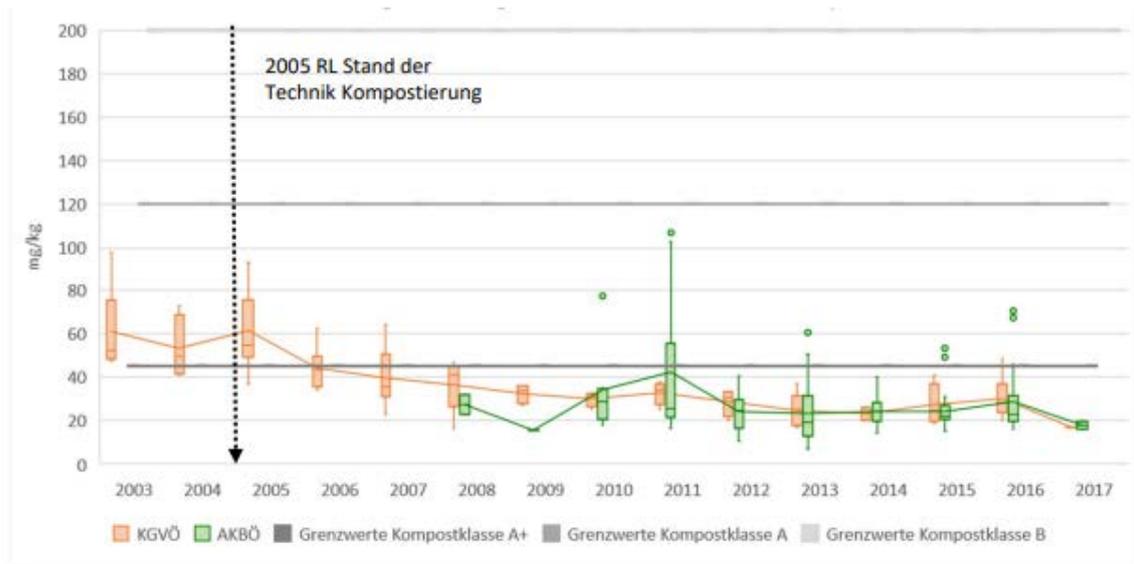


Abbildung 7: Veränderung der Bleigehalte [mg/kg] in Klärschlammkomposten der KGVÖ-Mitglieder im Zeitraum 2003-2017 (n=80) und der AKBÖ-Mitglieder im Zeitraum 2008-2017 (n=131) dargestellt als Boxplot. Die durchgezogene Linie stellt die Mittelwerte dar. (Quelle: Waltner, 2020 nach KGVÖ, 2018 und AKBÖ, 2017)

Wie der Verlauf der Mittelwertlinie in Abbildung 7 zeigt, haben am Beispiel der Bleigehalte der Komposte der „kommunalen Kompostanlagenbetreiber“ (KGVÖ) abgenommen. Die Mittelwertlinie und die Medianwerte der Kompostanalysen der AKBÖ (landwirtschaftliche KompostiererInnen) liegen im Beobachtungszeitraum unter dem Grenzwert für A+ Komposte (Waltner, 2020).

Die Tendenzen bei weiteren Schwermetallen sind mit der in Abbildung 8 dargestellten Bleigehalten ähnlich. Auch diese sanken in den letzten 20 Jahren kontinuierlich (Waltner, 2020).

2.4.2 Ballaststoffe beim Klärschlammrecycling

Die Kompostverordnung (2001) unterscheidet die drei Ballaststoffarten Kunststoffe, Metalle und Glas. Eine gute Qualität der Inputmaterialien ist Voraussetzung für eine hohe Kompostqualität. Bei Klärschlammkomposten ist das Ballaststoffaufkommen direkt von den Inputmaterialien abhängig, genauer gesagt vom entwässerten Klärschlamm und dem Strukturmaterial (Strauch- und Grünschnitt oder Stroh) (Waltner, 2020). Die Veränderung des Ballaststoffgehaltes > 2 mm in Klärschlammkomposten wird in Abbildung 8 für den Zeitraum 2003 bis 2017 dargestellt. Das Ballaststoffaufkommen in den Klärschlammkomposten kann als sehr gering betrachtet werden und liegt unter dem Grenzwert für den Einsatz in der Landwirtschaft.

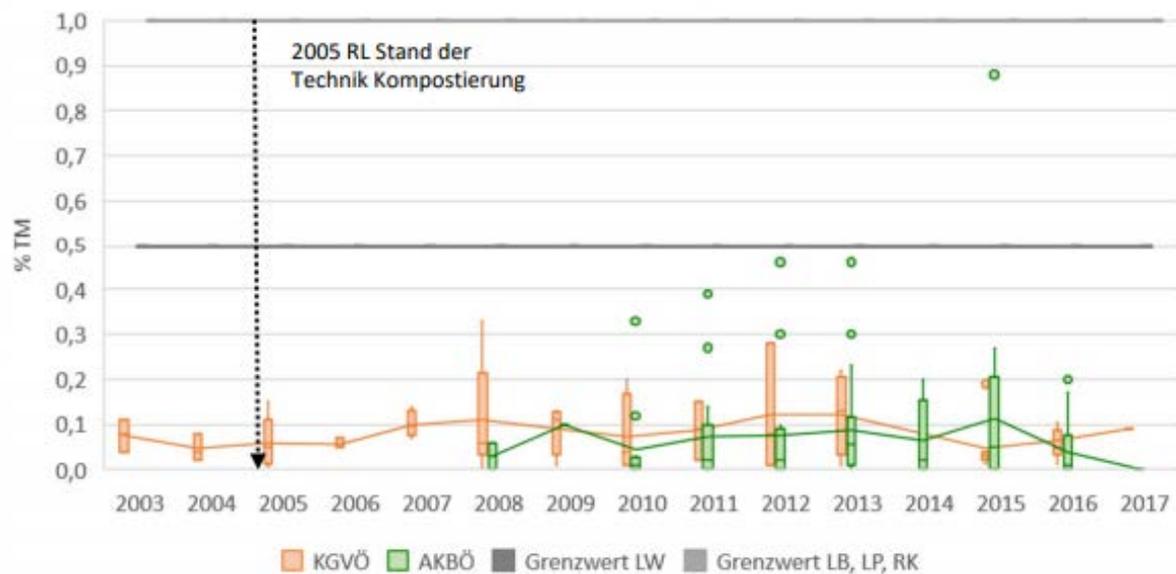


Abbildung 8: Veränderung der Ballaststoffgehalte > 2 mm [% TM] in Klärschlammkomposten der KGVÖ-Mitglieder im Zeitraum 2003 bis 2017 (n=59) und der AKBÖ-Mitglieder im Zeitraum 2003 bis 2017 (n=132) dargestellt als Boxplot. Die durchgezogene Linie stellt die Mittelwerte dar. (Quelle: Waltner, 2020 nach KGVÖ, 2018 und nach AKBÖ, 2017)

Um weitere Schritte zu setzen, ist eine evidenzbasierte Eruiierung von Grenzwerten für Ballaststoffe im Klärschlamm notwendig. Für eine Beurteilung der Gehalte wäre die Heranziehung der RAL Flächensumme ausgelesener Schadstoffe sinnvoll.

2.4.3 Mikroplastik beim Klärschlammrecycling

Der Abrieb synthetischer Fasern von Textilien, bewusst hinzugefügtes Mikroplastik (Microbeads) in Pflege- und Hygieneprodukten, Abriebe aus Rohrleitungen und Dichtungen, sowie diffuse Quellen verursachen Einträge von Mikroplastik über die Abwässer der Haushalte in die Kanalisation und weiter in die Kläranlagen. Durch die sehr effektiven Behandlungsmethoden des Abwassers in Kläranlagen findet eine Akkumulation von Mikroplastik (hauptsächlich Fasern) im Klärschlamm statt (Huter und Pomberger, 2020).

Eine aktuelle Studie vom Umweltbundesamt (Sexlinger et al., 2021) hat Polymere in Klärschlämmen untersucht. Als dominierende Kunststoffarten haben sich Polyurethan, Polyethylenterephthalat und Polypropylen herausgestellt. Eine exakte Zuordnung der gefundenen Polymerarten auf potentielle Eintragspfade ist aufgrund der Vielfalt an Quellen und der ubiquitären Verwendung von Kunststoffen nur begrenzt möglich.

Die vorrangig gefundenen Kunststoffarten deuten jedoch auf einen Eintrag aus den oben erwähnten Quellen hin: Polyurethan (PU) wird als Füllstoff von Bettwäsche verwendet oder als

Dichtungsmaterial; Polyethylenterephthalat (PET) findet Einsatz im Textil- und Pflegebereich, Polypropylen (PP) kann als Abrieb von Rohrleitungen oder dem Einsatz in Hygieneprodukten stammen.

Die Studie zeigt weiters, dass kein Zusammenhang zwischen den Einwohnergleichwerten und der Mikroplastikpartikelanzahl besteht. Die Menge an Mikroplastik scheint vor allem vom Kanalsystem bzw. vom Verhältnis privater Haushalte und industrieller Einleiter abhängig zu sein. Hohe Belastungen können beispielsweise auf Einleiter mit Bezug zur Kunststoffindustrie zurückzuführen sein, da in den Prozessen ein Mikroplastikeintrag ins Abwasser kaum zu verhindern ist.

Um den Transfer von Mikroplastik durch Abwasser und Klärschlamm in die Umwelt zu reduzieren, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die bereits beim Eintrag von Kunststoff in Kläranlagen ansetzen (Sexlinger et al. 2021). Bestätigt wird dadurch auch die vom KBVÖ langjährig verfolgte Strategie die Eintragsquellen zu identifizieren damit Lösungen (Vermeidung, Materialalternativen) gefunden werden können, um die Mikroplastikeinträge in unsere Systeme langfristig zu reduzieren.

Es ist festzuhalten, dass die Literaturwerte zu Mikroplastik im Klärschlamm sehr stark schwanken. Die unterschiedlich geschätzten Transferraten, könnten auf unterschiedlichen Analysemethoden oder Annahmen basieren (Huter und Pomberger, 2020), da es zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine standardisierten Methoden zur Messung und Identifikation von Mikroplastikpartikeln gibt.

Im Hinblick auf die Nutzung von Klärschlamm als Phosphorressource gilt es die Verhältnismäßigkeit mit anderen Eintragspfaden abzuwägen (z.B. Reifenabrieb 35 % aller Mikroplastikeinträge in die Umwelt). Ein Teil der Emissionen gelangt in die Luft und ein Teil bleibt auf den Verkehrsflächen oder straßennahen Böden.

Die Emissionen auf Verkehrsflächen gelangen im urbanen Raum in die Mischwasserkanalisation und Regenwasserkanalisation. Im ländlichen Raum, sowie auf Autobahnen und Schnellstraßen hauptsächlich in straßennahe Böden und über die Regenwasserkanalisation bzw. direkt vom Straßenabfluss in das Flusssystem. In Folge dessen landet ein Teil der Kunststoffe in der Kläranlage. Dieser wird mengenmäßig jedoch als sehr gering eingeschätzt. Die punktuellen Mikroplastikquellen im Abwasser tragen mit nur knapp 5 % einen sehr geringen Anteil zu den gesamten Emissionen bei (Huter und Pomberger, 2020 zit. nach Clara et al. 2014).

2.4.4 Arzneimittelrückstände beim Klärschlammrecycling

Im Jahr 1998 wurden erstmals in Österreich die Zu- und Abläufe von 11 kommunalen österreichischen Kläranlagen, sowie einer industriellen Kläranlage auf ausgewählte Arzneimittelwirkstoffe hin untersucht. Dazu zählten unter anderem die Antibiotika Penicillin G und V, das Sulfonamid Sulfamethoxazol, sowie dessen Antagonisten Trimethoprim und das Makrolid Erythromycin. Aufgrund ihrer Instabilität wurde weder Penicillin G noch V gefunden. Erythromycin und Trimethoprim wurden hingegen in allen Abwasserproben mit Maximalwerten von über 3 µg/l nachgewiesen (Umweltbundesamt, 2010).

Im Jahr 2014 wurde eine weitere bundesweite Untersuchung im Zuge des Forschungsprojektes „Monitoringprogramm von Pharmazeutika und Abwasserindikatoren in Grund- und Trinkwasser“ durchgeführt. Es wurden Daten aus 54 Grundwassermessstellen und 50 Trinkwassermessstellen erhoben, welche ausgewählte Antibiotika, Pharmazeutika und Abwasserindikatoren im Grund- und Trinkwasser nachgewiesen werden können.

Carbamazepin (zur Behandlung von Epilepsien) wurde bei 29 % bzw. 20 % der Proben detektiert (Nachweisgrenze 0,0005 µg/l). 24 % bzw. 16 % der Messstellen lagen über der Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l. Die Maximalkonzentrationen lagen bei 0,12 µg/l im Grundwasser bzw. 0,017 µg/l im Trinkwasser.

Erythromycin (Makrolid Antibiotika) wurde im Grundwasser unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l nachgewiesen, sowie einmal mit 0,0012 µg/l quantifiziert. Im **Trinkwasser** war der Wirkstoff bei einer Nachweisgrenze von 0,0005 µg/l **nicht nachweisbar**. Auch die sehr geringe Fundhäufigkeit ist mit jener der vorangegangenen Untersuchungen vergleichbar.

Sulfamethoxazol (Sulfonamid Antibiotika) wurde im Grundwasser einmal unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,0025 µg/l nachgewiesen, sowie viermal über der Bestimmungsgrenze. Die Maximalkonzentration betrug 0,021 µg/l. Sulfamethoxazol ist somit jenes Antibiotikum mit der höchsten Konzentration und den meisten Funden. Im **Trinkwasser** war Sulfamethoxazol das **einzig detektierte Antibiotikum**. Die erhobenen Konzentrationen entsprechen den Niveau der Messungen aus dem Jahr 2014 (BMLRT, 2018).

Zudem wurde für die Erfassung der Mengen im Jahr 2013 ein Kooperationsprojekt des Umweltbundesamts und des Umweltinstituts des Landes Vorarlberg durchgeführt. Im Zuge der Untersuchungen wurden Arzneimittelwirkstoffe im Abwasser, im Klärschlamm, im Klärschlammkompost sowie auf landwirtschaftlich genutzten Flächen vor und nach der Ausbringung von Klärschlammkompost untersucht.

Dabei konnten zu Beginn der Klärschlammkompostierung Carbamazepin, Acetyl Sulfamethoxazol, Metoprolol und Diclofenac nachgewiesen werden. Die meisten dieser Stoffe wurden auch im Fertigungskompost nachgewiesen, jedoch sind diese im Fertigungskompost deutlich geringer als zu Beginn der Kompostierung (Ausnahme Carbamazepin).

In Bodenproben, welche zwei Monate nach der Klärschlammkompostaufbringung untersucht wurden, waren Carbamazepin und Erythromycin vorhanden. Bei Carbamazepin war die Konzentration im Boden auf die Klärschlammkompostaufbringung zurückzuführen. Bei Erythromycin kann der Klärschlammkompost nicht die Quelle für die Bodengehalte gewesen sein, weil dieses Antibiotikum im Klärschlammkompost nicht nachgewiesen wurde (Umweltbundesamt, 2013).

Ansatzpunkte zur Eintragsverminderung ins Grundwasser reichen von der Wirkstoffentwicklung bis hin zur Entsorgung. Bezüglich der Wirkstoffentwicklung soll zukünftig ein besonderer Fokus auf eine bessere Abbaubarkeit in der Umwelt gelegt werden. Nicht zuletzt können Verbraucherinnen und Verbraucher mit der korrekten Entsorgung von Medikamenten zur Reduktion der Umweltbelastung durch Arzneimittel beitragen. Die richtige Entsorgung erfolgt über Problemstoffsammelstellen oder über eine Rückgabe in Apotheken. Keinesfalls dürfen Altmedikamente über die Toilette oder den Abfluss entsorgt werden (BMLRT, 2018).

2.4.5 Hormonell wirksame Substanzen beim Klärschlammrecycling

Hormone werden vom Menschen als wasserlösliche Glucuronide und Sulfate ausgeschieden. Nach der Behandlung in Kläranlagen werden die meisten Glucuronide gelöst, da die natürlichen Fäkalbakterien große Mengen an Glucuronidase produzieren.

Im Zuge einer Studie von Albero et al. (2013) wurden natürlich vorkommende und synthetische Sexualhormone in mit Klärschlamm versetzten Böden analysiert. Zu den untersuchten natürlichen Sexualhormonen gehören Progestagen, zwei Androgene (Testosteron und trans-Androsteron) und drei Östrogene (E1, E2 und E3). Zudem wurden vier synthetische Hormone (MES, Dienestrol, Diethylstilbestrol und EE2) in diese Studie einbezogen.

Die Studie zeigt, dass die Entfernung von östrogenen Verbindungen in Kläranlagen nicht durch biologischen Abbau, sondern durch Übertragung aus der Wasserphase in den Schlamm erfolgte, da die Verbindungen eher lipophil sind. Das heißt eine potenzielle Verunreinigung des Bodens mit Hormonen kann durch eine Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen erfolgen.

Der weitere Abbau dieser Substanzen im Boden wurde mittels Analyse von sechs Bodenproben von landwirtschaftlichen Flächen und bewaldeten Feldern, auf denen Klärschlamm aufgebracht worden waren durchgeführt. Lediglich in einer der sechs analysierten Proben wurden drei der synthetischen Östrogene gefunden. Trans-Androsteron und Östron waren die einzigen in sehr geringen Mengen ($\leq 0,4$ ng/g) nachgewiesenen natürlichen Hormone.

Neben der direkten Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen, besteht die Möglichkeit der Aufbringung von Klärschlammkompost. Im Zuge einer Studie des Umweltbundesamtes (2001) konnte eine deutliche Abnahme der Gehalte von untersuchten hormonell wirksamen Substanzen (bezogen auf die Trockenmasse) im kompostierten Klärschlamm gegenüber den nicht kompostierten Klärschlammproben beobachtet werden. Auch bei einer entwässerten Schlammprobe, welche ca. sechs Monate gelagert wurde, konnte teilweise eine Konzentrationsabnahme beobachtet werden.

2.5 Alternative Monoverbrennung?

Mit Hinweis auf das notwendige Phosphorrecycling und der Schaffung verlässlicher Senken für Schadstoffe im Klärschlamm, wird die Monoverbrennung als zukünftiger Klärschlammverwertungspfad propagiert. Dabei sollen zwischen 65 und 85 % des anfallenden kommunalen Klärschlammes einer Monoverbrennung mit nachfolgender Phosphor-Rückgewinnung zugeführt werden (Grech, 2021).

Grundsätzlich werden aktuell zwei verschiedene Ansätze zur Phosphor-Rückgewinnung verfolgt. Erstens dezentrale Konzepte, die direkt auf den Kläranlagen den Phosphor rückgewinnen und gleichzeitig vermarktungsfähige Produkte erzeugen. Diese Option soll laut dem derzeitigen Entwurf des BAWP 2017 für Kläranlagen zwischen 20.000 und 50.000 EW60, bei Einhaltung eines Restphosphatgehalts nach der Rückgewinnung von < 20 g/kg TM, erlaubt sein. Und zweitens, zentrale Konzepte, die über die einzelnen Kläranlageneinheiten hinausgehend in großen Einheiten von Monoverbrennungsanlagen den Klärschlamm aus umliegenden Regionen annehmen und anschließend eine Klärschlammmasche für die weitere großindustrielle Verarbeitung zur Verfügung stellen. Diese Konzepte sollen laut dem Entwurf des BAWP 2017 für Kläranlagen > 50.000 EW60 verpflichtend sein (Zessner, 2021).

Insbesondere soll durch die Monoverbrennung auch die Freisetzung von Mikroplastik unterbunden werden (Grech, 2021). Bisher existieren bereits diverse Studien zu Mikro- und Makroplastik in Gewässern. Der Eintrag von Kunststoffpartikeln in Böden ist allerdings noch weitgehend unerforscht (Fraunhofer Umsicht, 2021). Die Dänische Umweltschutzorganisation

(The Danish Environmental Protection Agency, 2017) stuft die Anzahl der Kunststoffpartikel in Böden als gering (10 mg/kg) ein. Die Konzentration ist beispielsweise mit den Hintergrundkonzentrationen von Schwermetallen in dänischen Böden vergleichbar. Zudem gibt es kaum Unterschiede in der Mikroplastikkonzentration zwischen mit Klärschlamm gedüngten Böden und nicht gedüngten Böden. Wesentlich im Zusammenhang mit der Monoverbrennung ist die Berücksichtigung der Abfallhierarchie gemäß AWG (2002). Laut dieser ist die ökologische Zweckmäßigkeit und technische Möglichkeit zu berücksichtigen. Zusätzlich dürfen die dabei entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sein und es soll ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden sein oder geschaffen werden. Darüber hinaus muss dem Prinzip der Nähe entsprochen werden. Demzufolge ist die Entsorgungsautarkie und die Beseitigung in einer der am nächst gelegenen geeigneten Anlagen anzustreben um somit regionale Kreisläufe zu schließen.

Da zentrale Monoverbrennungsanlagen sich nicht in unmittelbarer Nähe der Kläranlagen befinden, ist anzunehmen, dass der Transport von Klärschlamm mittels LKW zur Verbrennungsanlage deutlich mehr Mikroplastik in die Umwelt emittiert als der Transport zu dezentralen Kompostanlagen und die anschließende Anwendung in der Region.

Es stellt sich daher die Frage, ob eine weitgehende Vermeidung/Abscheidung von Mikroplastik in den Klärschlamm nicht zielführender ist. Derzeit wird an Verfahren zur Entfernung von Mikroplastik in Kläranlagen gearbeitet. Beispielsweise hat das Unternehmen ECOFARIO ein auf Hydrozyklontechnologie basiertes Separationsverfahren entwickelt. Diese Technik kann als mechanische Endstufe in kommunalen oder industriellen Kläranlagen installiert werden und die im Klärschlamm enthaltene Mikroplastikfracht und damit verbundene Schadstoffe reduzieren. Das System ist in fast jeden Abwasser- und Prozesswasserkreislauf integrierbar (Ecofario, 2021). Ein zweites Verfahren wurde von Wasser 3.0 PE-X entwickelt. Diese Variante stellt die erste filterfreie Verfahrenslösung dar. Grundlage dieses Baukastensystems bilden Agglomerations-Fixierung für Mikroplastik, Funktionsdesign für Mikroschadstoffe und Chelatisierung für anorganische Verbindungen (Kationen und Anionen). Für die Anwendung dieses Systems wurden bereits publizierte Langzeitstudien für die Bereiche Abwasser, Meerwasser und spezifische industrielle Prozesswässer durchgeführt (Wasser 3.0, 2021).

Um das Transportaufkommen zu minimieren, und um den Heizwert des Klärschlammes zu erhöhen, ist auf den Kläranlagen eine Trocknungsanlage zu installieren. Getrocknet wird aus wirtschaftlichen Gründen i.d.R. auf 60 bis 75 % Trockenmasse. Dies bedeutet rund 70 bis 90 m³ Erdgas je Tonne gepressten Klärschlammes. Insgesamt ist mit einer deutlich negativen Energiebilanz aufgrund der Trocknung und des Transports auszugehen (Jacobs, 2013).

Durch eine gezielte Erweiterung der Kläranlage um eine vierte Reinigungsstufe (z.B. durch Ozonung, Aktivkohle, Advanced Oxidation Processes, Membranverfahren, Ferrat) kann der Eintrag von Arzneimittelrückständen (Hormone, Antibiotika), welche über das kommunale Entwässerungssystem in die Oberflächengewässer gelangen, deutlich reduziert werden.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik weisen die Ozonung und die Aktivkohle in pulverisierter oder granulierter Form eine gute Breitbandwirkung, Anwendbarkeit und ein gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis auf. Beide Eliminationstechniken können eine Breitbandwirkung und eine Eliminationsleistung von über 80 % erreichen. Abbildung 9 zeigt die Reduktion eines Antibiotikums (Sulfamethoxazol) durch Ozonung.

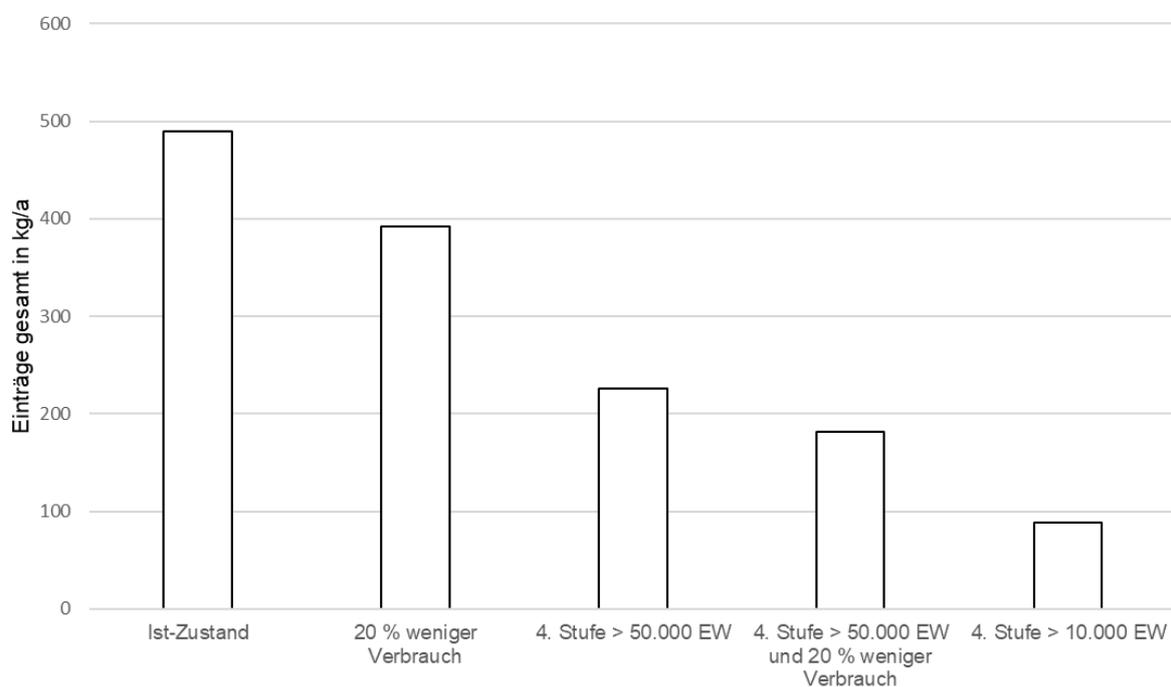


Abbildung 9: Eintragsreduktionspotenzial für Sulfamethoxazol durch eine vierte Reinigungsstufe mit Ozonung (Quelle: eigene Darstellung nach Umweltbundesamt (D), 2014)

Die Auswahl über ein geeignetes Verfahren zur Erweiterung der Abwasserreinigungsanlage hängt von den örtlichen Rahmenbedingungen und von der Abwassermatrix ab. Des Weiteren können diese Technologien durch verschiedene Ausführungsvarianten gut in die bestehende Anlage integriert werden. Die entstehenden Kosten für eine gezielte Spurenstoffbekämpfung auf der kommunalen Kläranlage variieren stark und werden durch neue realisierte Projekte laufend optimiert (Sekin, 2016).

Zudem werden für den Phosphor-Rückgewinnungsprozess nach einer Monoverbrennung Chemikalien benötigt. Derzeit ist noch nicht abschätzbar, wie viele Chemikalien dafür benötigt

werden. Nach ersten Erfahrungen in Deutschland ist die Menge an Säuren ebenso hoch wie die Menge an Asche. Ob, von wo und zu welchen Konditionen man diese Säuren in Österreich bekommen kann, ist derzeit noch unklar.

Bei der Monoverbrennung wird einzig auf den Phosphor abgezielt. Jedoch liegt die realisierbare Rückgewinnungsrate bei einem Projekt in Lingen bei rund 13 %, bezogen auf die Phosphor-Fracht im Zulauf. Insbesondere gab es Schwierigkeiten, da aufgrund der Kristallbildung der Anteil an unlöslichen Phosphor zu hoch lag (UMWELTBUNDESAMT, 2020).

Auch die Mehrkosten sind in die Entscheidungsfindung zur zukünftigen Klärschlammverwertung mit zu berücksichtigen. Wie der „Status Quo der Klärschlamm Entsorgung und P-Rückgewinnung in Baden-Württemberg“ (Maier et al., 2021) zeigt, liegen die Kosten für die Monoverbrennung bei 90 bis 140 €/je Tonne Filterkuchen.

Eine einseitige Fokussierung auf eine Monoverbrennung verteuert unser Abwasserbehandlungssystem unnötig und die Wertschöpfung verbleibt nicht in den Regionen. Die Mitgliedsbetriebe des KBVÖ sind seit Jahrzehnten verlässliche Partner beim Recycling von Klärschlamm. Mit dem Einsatz von Qualitätsklärschlammkompost in der Landwirtschaft werden alle enthaltenen Haupt- und Spurennährstoffe in den Kreislauf zurückgeführt, sowie Kohlenstoff, welcher dringend für den Erhalt und Aufbau von Humus benötigt wird, im Boden gebunden. Zudem werden organische Schadstoffe in einer Kompostierung gemäß Stand der Technik nachweislich abgebaut.

Die Phosphorrückgewinnung nach einer Monoverbrennung ist derzeit jedoch noch nicht ausreichend erforscht bzw. kann die Phosphor-Rückgewinnung derzeit nicht im wirtschaftlichen Maßstab durchgeführt werden (Penckert, 2021). Zudem entstehen bei der Verbrennung von Klärschlamm aufgrund des eingesetzten Material- und Personalaufwandes wesentlich höhere Kosten als beim Recycling (Hanßen, 2016). Außerdem ist zu berücksichtigen, dass bei einem Verbot der stofflichen Verwertung alleine durch die Monopolstellung der Monoverbrennung wesentlich höhere Kosten als beim Recycling entstehen können.

3 Schlussfolgerung

Aufgrund der ungleichen Verteilung der Phosphatreserven und der Verknappung dieser Ressource kann die Qualitätsklärschlammkompostierung einen wesentlichen Beitrag zur Nährstoffversorgung im Rahmen der circular economy leisten. Insbesondere können beträchtliche Mengen (in Österreich ca. 50 % des Verbrauchs an mineralischen P-Düngemitteln) an Mineraldüngern eingespart werden (ÖWAV, 2014).

Der Entwurf zum Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 sah vor, dass ausschließlich thermische Verfahren zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm angewendet werden dürfen. Dies widerspricht der Abfallhierarchie, da die stoffliche der thermischen Verwertung vorzuziehen ist. Kompostierung ist eine ressourcenschonende Möglichkeit, da nicht nur annähernd 100 % des enthaltenen Phosphors pflanzenverfügbar verwertet werden können, sondern auch Stickstoff (zu ca. 90 % organisch gebunden) und andere wertvolle Nährstoffe recycelt werden. Zudem bleibt die organische Substanz (CO₂-Bindung) für die mit Kompost gedüngten Böden erhalten.

Im Vergleich zur dezentralen Kompostierung wäre für eine Monoverbrennung ein deutlich höherer Energieaufwand für den Transport und die Trocknung des Schlammes notwendig. Auch zusätzliche Kosten, sowie Emissionen durch Reifenabrieb und Verbrauch von fossiler Energie müssen in gesamthafte Überlegungen einfließen. Außerdem geht durch die vollständige Verbrennung der organischen Substanz der gebundene Kohlenstoff und Stickstoff für die Böden verloren.

Um Qualitätsklärschlammkomposte als Produkt in Verkehr bringen zu können, müssen die Anforderungen der Kompostverordnung erfüllt werden. Beispielsweise sieht die Kompostverordnung (2001) strenge Grenzwerte für die Schwermetallgehalte in Qualitätsklärschlämmen zur Kompostierung vor. Die Analysedaten der KBVÖ-Mitglieder und weitere unabhängige Studien zeigen, dass die Schwermetallgehalte in Klärschlämmen immer weiter zurückgehen. Die Kompostierung qualitativ geeigneter Klärschlämme (SN 92201) bietet somit eine hohe Entsorgungssicherheit für die Kläranlagenbetreiber. Auch im Langzeitversuch, bei einer Klärschlammkompostanwendung von zirka 40 Jahren, konnte keine wesentliche Schwermetallanreicherung festgestellt werden. Zudem müssen die Schwermetallfrachten, die ansonst durch mineralische Düngemittel auf landwirtschaftliche Böden gelangen, ebenfalls betrachtet werden. Die maximal zulässigen Schwermetallfrachten für Düngemittel sind in der Düngemittelverordnung festgelegt und um ein Vielfaches höher als die Schwermetallfracht, die bei bedarfsgerechter Düngung mit Qualitätsklärschlammkompost auf die Böden gelangen.

Neben den Schwermetallgehalten sind auch die Ballaststoffgehalte laut Daten der KBVÖ-Mitglieder im Zeitraum 2003 bis 2017 zurückgegangen. Die Auswirkungen von Mikroplastik im Boden sind derzeit noch weitgehend unerforscht. Hauptverursacher für den Mikroplastikeintrag in den Boden sind vor allem diffuse Quellen wie der Reifenabrieb. Neben den hohen Kosten bei der Verbrennung von Klärschlamm aufgrund des eingesetzten Material- und Personalaufwandes spielt auch der Transportweg zur Verbrennungsanlage eine wesentliche Rolle. Es ist anzunehmen, dass der Transport von Klärschlamm zu zentralen Verbrennungsanlagen mehr Mikroplastik in die Umwelt emittiert als der Transport zu dezentralen Kompostanlagen.

Bei ordnungsgemäßer Kompostierung beträgt der Klärschlammanteil in der Kompostmiete nur zirka 30 % (v/v). Aufgrund der sinkenden Schadstoffgehalte in Klärschlämmen, die für die Kompostierung geeignet sind, ist auch zukünftig von qualitativ hochwertigen Klärschlammkomposten auszugehen.

Bei der Monoverbrennung werden Schwermetalle bis auf Quecksilber im annähernd gleichen Ausmaß wie P in der Asche angereichert. Bei der Mitverbrennung wird angenommen, dass sämtliche Schwermetalle entweder in der Schlacke oder im Filterkuchen der Rauchgasreinigung zu finden sind. Die Reststoffe werden entweder auf einer Deponie (Schlacke) oder untertägig (Filterkuchen) abgelagert (BMLFUW, 2014). Derzeit existieren in Österreich keine Untertagedeponien. Das heißt, es müssen Lager für gefährliche Abfälle im In- oder Ausland geschaffen werden. Die Kapazitäten in Deutschland werden voraussichtlich durch die eigenen Rückgewinnungsanlagen belegt sein. In der aktuellen Straphos Studie werden derzeit weder Kosten noch Transportstrecken berücksichtigt.

Der KBVÖ sieht es aber jedenfalls als zielführend an, Klärschlämme, die nicht den Anforderungen für Qualitätsklärschlamm (SN 92201) entsprechen, einer Monoverbrennung mit anschließender P-Rückgewinnung zuzuführen. Hier können thermische Verwertungsverfahren durchaus Sinn ergeben und der Nachsorge dienen. In diesem Fall wäre die technische Phosphorrückgewinnung zu wirtschaftlichen Konditionen wünschenswert, um diesen wichtigen Nährstoff nicht zu verlieren. Für eine Umsetzung ist eine evidenzbasierte Eruiierung von Grenzwerten für Klärschlamm notwendig.

Eine undifferenzierte Betrachtung und ein einseitiger Verwertungszwang bringen wesentliche Nachteile mit sich. Zum einen wäre bei einer Verbrennung von Klärschlamm ein deutlich höherer Energieaufwand notwendig und zum anderen sind enorme zusätzliche Kosten zu berücksichtigen. Des Weiteren geht aus langjährigen Versuchen hervor, dass viele Schadstoffe nur in verhältnismäßig geringem Ausmaß im Qualitätsklärschlammkompost

vorhanden sind und in den letzten Jahrzehnten, aufgrund der etablierten Grenzwerte, deutlich zurückgegangen sind.

Es macht sowohl ökonomisch als auch ökologisch nachhaltig Sinn gute Klärschlammqualitäten wie sie in der Kompostverordnung als „Qualitätsklärschlamm“ (SN 92201) verankert sind, auch in Zukunft in dem Stand der Technik entsprechenden Kompostanlagen verwerten zu lassen.

Dafür darf ausschließlich die Klärschlammqualität und nicht die Kläranlagengröße ausschlaggebend sein! Nur so kann sichergestellt werden, dass auch in Zukunft viele Kläranlagen für ihr Qualitätsmanagement durch eine regionale, ressourcenschonende und kostengünstige Verwertung belohnt werden.

Die Verwertung minderwertiger Qualitäten über eine Monoverbrennung mit anschließender P-Rückgewinnung wird auch von Seiten des KBVÖ als langfristig sinnvolles Ziel angesehen!

4 Quellenverzeichnis

- BMK, 2021. Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft im Österreichischen Statusbericht 2019.
- BOKU, 2020. Mobilklo-Markt: Institut für Abfallwirtschaft (ABF-BOKU).
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2013. Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit. BGR, Hannover. [EU zum Phosphorrecycling](#) (Abgerufen am 21.06.2021)
- BMLFUW, 2014. Endbericht Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser. [Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser Endbericht 6.3.14.pdf](#) ([tuwien.ac.at](#)) (abgerufen am 21.09.2021)
- BMLRT, 2021. Kläranlagen in Österreich. [Kläranlagen in Österreich \(bmlrt.gv.at\)](#) (abgerufen am 28.06.2021)
- BMLRT, 2018. Arzneimittelwirkstoffe im Grundwasser – Anwendung einer LC-MS-Multimethode. [AZM GW Bericht 22-04-2020.pdf](#) (abgerufen am 07.09.2021)
- Clara, M., Hartmann, C., Scheffknecht, C., 2016. Klärschlamm und Boden: Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genützte Böden. Amt der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz, Wien. [fulltext_21174.pdf](#) (abgerufen am 21.06.2021)
- COM, 2017, 490. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on the 2017 list of Critical Raw Materials for the EU.
- Der Bauer, 2019. Klärschlamm in der Landwirtschaft (ÖPUL und CC). BODEN.WASSER.SCHUTZ.BLATT Ausgabe März 2019
- Duboc, 2021. Nährstoffrecycling: Der Mensch als Teil vom Kreislauf. Institut für Bodenforschung & Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur (BOKU), Tulln. [Nährstoffrecycling: Der Mensch als Teil vom Kreislauf | BIO AUSTRIA](#) ([bio-austria.at](#)) (abgerufen am 23.06.2021)
- Ecofario, 2021. TECHNOLOGIE — [ECOFARIO](#) (abgerufen am 28.06.2021)

Eurostat, 2018. Agrarumweltindikator – Mineraldüngerverbrauch. [Agri-environmental indicator - mineral fertiliser consumption - Statistics Explained \(europa.eu\)](#) (abgerufen am 21.06.2021)

Europäische Kommission, 2013. Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Konsultative Mitteilung zur nachhaltigen Verwendung von Phosphor. [DE.pdf \(europa.eu\)](#) (abgerufen am 21.06.2021)

Fischer, 2011. Langjähriger Einfluss von Bio- und Klärschlammkompost auf Boden, Pflanze und Lebensmittel im Hinblick auf Schwermetalle und Spurenelemente. [fulltext_8545 \(1\).pdf](#) (abgerufen am 21.06.2021)

Fraunhofer Umsicht, 2021. Wieviel Plastik landet in landwirtschaftlichen Böden? <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2021/kunststoffe-in-boeden.html> (abgerufen am 23.06.2021)

Grech, H. (2021). Zukunft des Klärschlammes in Österreich. Vortrag BMK – Abt. V/3 am 16.06.2021.

Grunze, 2021. Phosphor in Zahlen: Ohne Phosphor keine Landwirtschaft. <https://www.riffreporter.de/de/umwelt/phosphor-verbrauch-deutschland-europa> (abgerufen am 21.06.2021)

Hanßen, 2016. Stand und Entwicklung der Klärschlammverbrennung. [26. Hamburger Kolloquium zur Abwasserwirtschaft, 23./24. September 2014 \(vera-hamburg.de\)](#) (abgerufen am 22.06.2021)

Huter und Pomberger, 2020. Der Beitrag der Steiermark zum Marine Littering.

Jacobs, U. (2013). Kosten und Wirtschaftlichkeit der Klärschlamm-trocknung. In: Thome-Kozmiensky, K. J., Beckmann, M.: Energie aus Abfall. Band 10. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky

KBVÖ 2019. Factsheet. Nährstoff- und Schwermetallgehalte von Gärprodukten, Komposten und Klärschlämmen (unveröffentlicht).

KBVÖ, 2020. Düngemittelwert österreichischer Gärprodukte. Unveröffentlicht.

- Land OÖ, 2020. Klärschlammqualität in Oberösterreich 2020. Amt der OÖ. Landesregierung, Linz.
- Maier, W., Keller, J., Zürn, M., Meyer, C., Reinhardt, T., Zettl, U., Poppe, B., 2021. Status Quo der Klärschlamm Entsorgung und P-Rückgewinnung in Baden-Württemberg. LUFA Speyer, 2019. Versuch zur Langfristwirkung der Klärschlamm Anwendung. [Versuch zur Langfristwirkung \(1\).pdf](#) (abgerufen am 24.06.2021)
- Müller Umwelttechnik GmbH, 2021. Daten aus der Düngemittelplanung von zwei viehlosen Betrieben in Kärnten. Unveröffentlicht
- ÖWAV, 2003. Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. ÖWAV – Regelblatt 17. 2. Aufl.
- ÖWAV, 2014. ÖWAV Positionspapier Klärschlamm als Ressource.
- ÖWAV, 2017. ÖWAV-Kläranlagen-Benchmarkingdaten 2012 bis 2017.
- ÖWAV, 2018. ÖWAV-ExpertInnenpapier. Kritische Ressource Phosphor
- Penckert, P., 2021. Rekultivierung von Deponien unter Betrachtung des Einsatzes von Klärschlammkompost Paula. Dissertation. Technische Universität Dresden.
- Richtlinie 86/278/EWG des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.
- Schnell et al., 2018. Thermische Verwertung von Klärschlamm – Überblick und Einordnung bestehender Verfahren. [2018 VvK 131-164 Quicker \(vivis.de\)](#) (abgerufen am 22.06.2021)
- Sekin, 2016. Vierte Reinigungsstufe in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen. Möglichkeiten, Bemessung, Kosten und Betriebserfahrungen für die weitergehende Behandlung von Abwasser. Masterarbeit an der Technischen Universität Graz.
- Sexlinger et al. (2021). Mikroplastik in Klärschlämmen. [rep0773.pdf \(umweltbundesamt.at\)](#) (abgerufen am 06.09.2021)
- The Danish Environmental Protection Agency, 2017. Microplastic in Danish wastewater Sources, occurrences and fate.

Umweltbundesamt, 2001. Hormonell wirksame Substanzen in Klärschlämmen.

Umweltbundesamt, 2009. Klärschlamm. [untitled \(umweltbundesamt.at\)](#) (abgerufen am 23.06.2021)

Umweltbundesamt, 2010. Antibiotika im Grundwasser. [Microsoft Word - REP0258 kern.docx \(umweltbundesamt.at\)](#) (abgerufen am 06.09.2021)

Umweltbundesamt, 2013. Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Umwelt. [Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Umwelt \(vorarlberg.at\)](#) (abgerufen am 06.09.2021)

Umweltbundesamt, 2014. Bioabfallstrategie. [REP0483.pdf \(umweltbundesamt.at\)](#) (abgerufen am 21.06.2021)

Umweltbundesamt (D), 2014. Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_8_5_2014_massnahmen_zur_verminderung_des_eintrages_von_mikroschadstoffen_in_die_gewaesser_0.pdf (abgerufen am 06.09.2021)

Umweltbundesamt, 2020. Auswertung des Förderschwerpunktes „Energieeffiziente Abwasseranlagen“ im Umweltinformationsprogramm. Texte 06/2020. Darmstadt.

Uschnig und Stürmer, 2020. Präsentation bei der Generalversammlung AKB Oberösterreich.

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

Waltner, 2020. Beurteilung von Maßnahmen zur Steigerung der Kompostqualität an Hand der Entwicklung in Österreich. Masterarbeit. BOKU Wien

Wasser 3.0, 2021. Mikroplastik entfernen - [Wasser 3.0 \(wasserdreinull.de\)](#) (abgerufen am 28.06.2021)

Zessner, 2021. Zukunftsfähige Strategien des Phosphormanagements für Österreich. [DaFNE - DaFNE v. 1.1 - Projekte](#) (abgerufen am 23.06.2021)