

Aktuelle Praxis und künftige Herausforderungen der Klärschlambewirtschaftung unter Berücksichtigung von Kleinkläranlagen und kleinen Kläranlagen am Beispiel von Oberösterreich

Current practice and future challenges of sewage sludge management considering small wastewater treatment plants at the example of Upper Austria

Johannes Sacken, Günter Langergraber, Florian Kretschmer*

Universität für Bodenkultur Wien, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich

* Korrespondierender Autor: florian.kretschmer@boku.ac.at

Einreichung: 7. Oktober 2021, überarbeitete Einreichung: 7. April 2022, Annahme: 10. Juni 2022

Zusammenfassung

Die Klärschlambewirtschaftung in Österreich befindet sich im Umbruch. Künftig soll die Phosphorrückgewinnung forciert werden, gleichzeitig verliert die landwirtschaftliche Ausbringung immer weiter an Bedeutung. Aktuelle politische Konzepte fokussieren sich primär auf die (wenigen) größeren Kläranlagen, allerdings haben auch die (vielen) kleinen Anlagen einen Bedarf an tragfähigen Lösungen für die Zukunft. Um einen Überblick über die aktuelle Praxis der Klärschlambewirtschaftung unter spezieller Berücksichtigung von Kleinkläranlagen und kleinen Kläranlagen zu schaffen, wird in diesem Beitrag am Beispiel von Oberösterreich ein Inventar aller Kläranlagen im Land erstellt und darauf aufbauend anlagenspezifisch der Klärschlammanfall dargestellt und wichtige derzeit gängige Verwertungspfade genauer beleuchtet. Die präsentierten Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die Fachwelt sowie die politischen Entscheidungsträger in Bezug auf die Bedürfnisse der „kleineren“ Kläranlagen zu sensibilisieren, damit auch diese bei der Entwicklung von geeigneten und tragfähigen Zukunftskonzepten der Klärschlambewirtschaftung Berücksichtigung finden.

Schlagwörter: Phosphorrückgewinnung, Monoverbrennung, landwirtschaftliche Ausbringung, kleine Kläranlagen, Kleinkläranlagen

Summary

Current sewage sludge management in Austria is in transition. In the future, phosphorus recovery will increase and agricultural reuse is becoming less important. Current (political) concepts focus primarily on the (few) larger wastewater treatment plants, but also the (many) small plants require viable solutions for the future. In order to provide an overview of the current practice of sewage sludge management with special consideration of smaller wastewater treatment plants, this article uses the example of Upper Austria to create an inventory of all wastewater treatment plants in the province and, based on this, to derive the plant specific amount and to highlight and discuss the common sewage sludge disposal paths. The findings presented are intended to help sensitize experts and political decision-makers to the needs of the "smaller" wastewater treatment plants, so that they will also be addressed in the development of future concepts for sewage sludge management.

Keywords: phosphorus recovery, mono-incineration, agricultural reuse, small wastewater treatment plants

1. Einleitung

Ein wesentlicher Rückstand der (klassischen) Abwasserreinigung stellt Klärschlamm (Überschuss-Schlamm) dar, welcher in der Folge fachgerecht verwertet werden muss. Dafür stehen heute prinzipiell unterschiedliche Optionen zur Verfügung, wobei in diesem Zusammenhang festzuhalten ist, dass in Österreich aktuell ein Umbruch in Bezug auf die Klärschlammbewirtschaftung stattfindet (Kretschmer, et al., 2018, ÖWAV, 2014). Die künftig angestrebte Rückgewinnung von Phosphor ist dabei ein wesentlicher Aspekt (Egle et al., 2016). In der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplanes (BMNT, 2017) wird in diesem Zusammenhang das Ziel formuliert, dass bis zum Jahr 2030 65 bis 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlammes einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden sollen, wobei hier vor allem die Klärschlammmonoverbrennung mit einer anschließenden Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsasche als Möglichkeit genannt wird. Die Betreiber von Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 Einwohnerwerten (EW_{60}) werden in diesem Zusammenhang explizit dazu aufgefordert, entsprechende Konzepte für das eigene Umfeld zu entwickeln. Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass die direkte Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen unter anderem wegen der Möglichkeit einer Schadstoffanreicherung im Boden als für die Zukunft nicht gesichert angesehen wird (ÖWAV, 2014). Dieser Verwertungspfad spielt allerdings in weiten Teilen Österreichs noch eine bedeutende Rolle (Vanas, 2016). Im aktuellen Legebericht zum kommunalen Abwasser in Österreich (BMLRT, 2020) wird der Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung mit 21 % der Gesamtklärschlammmenge ausgewiesen. Wobei man davon ausgehen kann, dass der tatsächliche Wert noch höher liegt, da die Fraktion „Sonstige Verwertung“, die in besagtem Bericht mit 26 % beziffert wird, auch etwaige Zwischenlagerungen umfasst.

Die aktuellen Entwicklungen stellen die Abwasserbranche somit vor eine große Herausforderung. In diesem Zusammenhang würde ein vollständiges, zentral verwaltetes Anlageninventar, das sämtliche (kommunalen) Kläranlagen umfasst, sicherlich eine hilfreiche Informationsquelle für die anstehenden Aktivitäten und (politischen) Entscheidungen darstellen. Derzeit werden bereits Stamm- und teilweise auch Betriebsdaten (wie Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) der österreichischen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 2000 EW_{60} im Rahmen der Berichtspflicht zur Umsetzung der Europäischen Abwasserrichtlinie alle zwei Jahre vom zuständigen

Bundesministerium in Kooperation mit dem Umweltbundesamt zusammengestellt und analysiert (Engstler, et al., 2019). Zudem führten Langergraber et al. (2018) österreichweit eine Bestandsaufnahme aller Kleinkläranlagen (Anlagen bis maximal 50 EW_{60}) und kleinen Kläranlagen (51–500 EW_{60}) durch, bei der auch für diese Größenkategorien ausgewählte (Stamm-)Daten zu sämtlichen Anlagen erhoben wurden. Diese Untersuchungen ergaben für Gesamtösterreich in Summe einen Bestand von annähernd 28.800 Kläranlagen in diesen beiden Größenkategorien, wobei hier etwa 27.500 als Kleinkläranlagen und 1300 als kleine Kläranlagen anzusehen sind. Für eine vollständige Inventarisierung aller Kläranlagen in Österreich fehlen derzeit „nur“ noch die (zentral) gesammelten Informationen zu den Anlagen mit einer Ausbaugröße von 501–1999 EW_{60} . Im Zuge der Arbeiten für diesen Artikel wird diese Lücke exemplarisch für das Bundesland Oberösterreich geschlossen und das Gesamtinventar um klärschlammrelevante Daten ergänzt und anschließend ausgewertet.

Konkret werden dabei die folgenden drei Untersuchungsziele verfolgt: (1) Erstellung eines vollständigen Inventars aller oberösterreichischen Kläranlagen, (2) Mengenmäßige Abschätzung des anlagenbezogenen Klärschlammanfalls und (3) Darstellung der aktuellen Praxis der Klärschlammverwertung und deren Hintergründe für ausgewählte Entsorgungspfade (vor allem Klärschlammverbrennung). Das Fallbeispiel „Oberösterreich“ ist für die Untersuchungen vor allem aus zwei Gründen interessant. Erstens stellt es durch seine Vielzahl an unterschiedlichen topografischen und siedlungstechnischen Strukturen aus Sicht der Autoren ein gutes Abbild des gesamten Bundesgebietes dar. Zweitens ist hier die landwirtschaftliche Verwertung von (kommunalem) Klärschlamm heute nicht nur grundsätzlich erlaubt (Lampert et al., 2014), sondern vielmehr von großer praktischer Bedeutung (Sacken, 2021), vor allem auch in Bezug auf Kleinkläranlagen und kleine Kläranlagen. Anlagen dieser Größenordnung finden in der öffentlichen Diskussion bisher noch wenig Beachtung, haben aber im Lichte der aktuellen Entwicklungen (verstärkte Phosphorrückgewinnung, erschwerte landwirtschaftliche Verwertung) ebenso wie die größeren Kläranlagen einen Bedarf an geeigneten und tragfähigen Zukunftskonzepten.

Der in diesem Artikel erstellte umfassende Überblick über die aktuelle Praxis der Klärschlammbewirtschaftung (Klärschlammanfall und -verwertung) am Beispiel eines Bundeslandes wirft somit auch erstmals ein Licht auf die aktuelle Praxis sowie die (künftigen) Herausforderungen bei den „kleineren“ Größenkategorien. Dies soll dazu beitragen,

die Fachwelt, aber vor allem auch die politischen Entscheidungsträger in Bezug auf die Bedürfnisse der Kläranlagen außerhalb des Spektrums des Bundesabfallwirtschaftsplans zu sensibilisieren.

2. Material und Methoden

Für die Erarbeitung der drei Untersuchungsziele standen mehrere Datensätze zur Verfügung. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden diese sowie deren methodische Bearbeitung kurz beschrieben.

2.1. Erstellung des Kläranlageninventars

Für die aktuellen Auswertungen wurde vom zuständigen Amt der Oberösterreichischen Landesregierung ein Datensatz bereitgestellt (Amt der OÖ. Landesregierung, 2020a), der Stammdaten (wie Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) zu den Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50 EW_{60} umfasst. Darüber hinaus stand den Autoren ein weiterer Datensatz zur Verfügung, welcher die entsprechenden Informationen zu den oberösterreichischen Anlagen mit einer Ausbaugröße von 1–500 EW_{60} beinhaltet (Amt der OÖ. Landesregierung, 2019).

Die für diese Arbeit relevanten Daten der beiden Datenquellen (wie Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) werden zu einem Datensatz zusammengeführt, der damit alle Abwasserreinigungsanlagen Oberösterreichs ab einer Ausbaugröße von 1 EW_{60} beinhaltet. Diese werden anschließend nach ihrer Ausbaugröße und der (primär) eingesetzten Reinigungstechnologie in folgende Größenklassen und Bautypen eingeteilt.

Einteilung der Abwasserreinigungsanlagen nach Ausbaugröße:

- Größenklasse I $\leq 50 \text{ EW}_{60}$ (Kleinkläranlagen)
- Größenklasse II 51–500 EW_{60} (kleine Kläranlagen)
- Größenklasse III 501–1999 EW_{60}
- Größenklasse IV 2000–19.999 EW_{60}
- Größenklasse V 20.000–49.999 EW_{60}
- Größenklasse VI $\geq 50.000 \text{ EW}_{60}$

Einteilung nach primär angewendeter Reinigungstechnologie (Bautyp):

- Belebung im Durchlaufbetrieb mit aerober Schlammstabilisierung
- Aufstauverfahren (Sequencing Batch Reactor (SBR))

- Belebung mit anschließender anaerober Schlammstabilisierung (Faulung)
- Pflanzenkläranlagen
- Sonstige Technologien (z. B. Tropfkörper, MBR-Anlagen, Rotationstauchkörper), die nur eine geringe Anzahl der Gesamtausbaugröße (zusammen $< 0.1 \%$) ausmachen
- Mechanisch (bei Anlagen einer Ausbaugröße $\leq 500 \text{ EW}_{60}$)

2.2. Abschätzung des Klärschlammmanfalls bezogen auf Ausbaugröße und Bautyp

Die bei den Kläranlagen der Größenklassen II–VI jährlich anfallenden Klärschlamm-mengen werden vom Land Oberösterreich erhoben und verwaltet. Der entsprechende Datensatz für das Jahr 2019 wurde für die Autoren dieses Beitrages für die Bearbeitung zur Verfügung gestellt (Amt der OÖ. Landesregierung, 2020b). Jedoch sind darin gewisse Datenlücken vorhanden, vor allem in Bezug auf die Kläranlagen geringerer Ausbaugrößen. Konkret fehlen in der aktuellen Auflistung bei den Größenklassen VI und V die Daten von jeweils einer Anlage (in Summe 15 bzw. 17 Anlagen), bei der Größenklasse IV von drei (in Summe 86 Anlagen), bei der Größenklasse III von vier (in Summe 38 Anlagen) und bei der Größenklasse II von 106 Anlagen (in Summe 112 Anlagen). Bei der Größenklasse I fehlen Informationen zum aktuellen Klärschlammmanfall vollständig (in Summe 2514 Anlagen, vgl. Tab. 1).

Um diese Datenlücken zu schließen bzw. die fehlenden Klärschlamm-mengen abzuschätzen, wird in dieser Arbeit wie folgt vorgegangen: Zunächst wird mit den vorhandenen Daten basierend auf der Ausbaugröße der Kläranlagen ein mittlerer spezifischer Klärschlammmanfall je EW_{60} und Jahr in $\text{kg} [\text{kg}/(\text{EW}_{60} \cdot \text{a})]$ für die einzelnen Reinigungstechnologien (Bautypen) je definierter Größenklasse errechnet. Dieser spezifische Klärschlammmanfall wird anschließend mit den bekannten Ausbaugrößen der Anlagen mit nicht dokumentiertem (fehlendem) Klärschlammmanfall (entsprechend ihrer Größenklasse und Reinigungstechnologie) multipliziert, wodurch auch für diese eine jährlich anfallende Klärschlamm-menge abgeleitet/abgeschätzt werden kann. Zudem muss festgehalten werden, dass für keine Anlage der Größenklasse I (bis maximal 50 EW_{60}) ein jährlicher Klärschlammmanfall bekannt ist, weswegen es innerhalb dieser Größenklasse auch nicht möglich ist, den Klärschlamm entsprechend abzuleiten. Um aber auch hier zumindest gewisse Größenordnungen in Bezug auf die unterschiedlichen Bautypen abbilden zu können, wird vereinfacht der spezifische

Klärschlammanfall der nächstgrößeren Größenklasse II (51–500 EW₆₀) für die Abschätzung herangezogen.

Darüber hinaus zeigt sich bei den Klärschlammanfallsmengen bei Pflanzenkläranlagen und Kläranlagen mit ausschließlich mechanischer Reinigung eine weitere umfassende Datenlücke. In Anlehnung an Imhoff et al. (2007) kann die Primärschlammmenge in Belebungsanlagen aber mit rund 70 % der Belebtschlammmenge abgeschätzt werden. Somit wird für die Ableitung des spezifischen Klärschlammanfalls der Pflanzenkläranlagen und mechanischen Abwasserreinigungsanlagen der mittlere spezifische Klärschlammanfall der Belebungsanlagen in der gleichen Größenklasse mit dem Faktor 0,7 multipliziert.

Abschließend ist festzuhalten, dass die hier gewählte Bezugnahme auf die Ausbaugröße der Kläranlagen der Tatsache geschuldet ist, dass zumindest für die kleineren Anlagen keine Belastungsdaten dokumentiert sind. Ein Bezug auf Letztere wäre aus quantitativer Sicht jedenfalls aussagekräftiger. Da die Intention dieses Artikels aber nicht die genaue Ermittlung des Klärschlammanfalls, sondern vielmehr die Abbildung von (ungefähren) Größendimensionen vor allem in Bezug auf die „kleineren“ Kläranlagen und der dabei eingesetzten Bautypen geschuldet ist, wird diese Unschärfe von den Autoren bewusst in Kauf genommen.

2.3. Darstellung der aktuellen Praxis der Klärschlammverwertung

In dem vorherig beschriebenen Datensatz, welcher Informationen über den bei den einzelnen Kläranlagen anfallenden Klärschlamm beinhaltet, sind auch Angaben zur Verwertung dieser Klärschlammmengen enthalten (Amt der OÖ. Landesregierung, 2020b). Es wird hierbei zwischen folgenden Klärschlammverwertungspfaden unterschieden:

- Landwirtschaftliche Verwertung
- Kompostierung
- Verbrennung
- Sonstiges

Welche Verwertungspfade mit der Kategorie „Sonstiges“ zusammengefasst werden, kann aus dem vorhandenen Datensatz allerdings nicht abgeleitet werden. Um diese Information zu konkretisieren, werden die betroffenen Kläranlagen telefonisch kontaktiert und dabei gebeten, den aktuellen Verwertungspfad zu nennen (erste Befragungsrunde). Im Zuge dieser Befragung soll zudem auch gleich ermittelt werden, aus welchen Beweggründen (Motivation) sich die Betreiber

für die jeweiligen Verwertungspfade entschieden haben. Die Datensammlungen erfolgen dabei einheitlich anhand eines vordefinierten Interviewleitfadens, in dem neben den beiden erwähnten Fragen auch allgemeine Daten erfasst werden (Kläranlage, Kontaktperson, Gesprächsdatum).

Darüber hinaus wird eine weitere telefonische Interviewbefragung durchgeführt, die aber nur die Betreiber von Kläranlagen, deren Klärschlamm bereits heute in eine Verbrennung geführt wird, berücksichtigt (zweite Befragungsrunde). Dabei soll primär in Erfahrung gebracht werden, warum man sich schon frühzeitig für diesen Verwertungspfad entschieden hat (da dieser doch erst im Zuge der aktuellen Diskussionen vermehrt in den Fokus gerückt ist), welche Verbrennungsanlage hier konkret betroffen ist und welche Art der Verbrennung (Mono- oder Mitverbrennung) dabei praktiziert wird. Auch hier erfolgt die Datensammlung wieder einheitlich anhand eines vordefinierten Interviewleitfadens, in dem neben den drei erwähnten Fragen auch die zuvor genannten allgemeinen Daten erfasst werden.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der Vollständigkeit halber soll hier vorab festgehalten werden, dass bei der Bearbeitung ausschließlich (oberösterreichische) Kläranlagen zur Behandlung von kommunalen Abwässern berücksichtigt wurden. Dementsprechend sind in den folgenden Ergebnissen die primär industriellen Anlagen (in Oberösterreich vorwiegend Papier- und Zellstoffindustrie) nicht enthalten.

3.1. Inventar der kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich

Mit den verfügbaren Daten wurde ein Gesamtinventar aller kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich erstellt. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, sind hier aktuell 2782 Anlagen in Betrieb. Der bei dieser Gesamtanlagenanzahl am häufigsten vertretene Bautyp ist die SBR-Anlage mit einem Anteil von rund 33 %. Darauf folgen Belebungsanlagen (im Durchlaufbetrieb) mit aerober Schlammstabilisierung (etwa 29 %), am dritthäufigsten kommen Pflanzenkläranlagen (knapp 20 %) zum Einsatz. Dabei machen die Anlagen mit einer maximalen Ausbaugröße von 500 EW₆₀ anzahlmäßig knapp 95 % der Kläranlagen Oberösterreichs aus.

Aus Tabelle 2 wird aber klar ersichtlich, dass die in hoher Zahl eingesetzten SBR- und Pflanzenkläranlagen nur einen

Tabelle 1. Anzahl aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse (Sacken, 2021)

Table 1. Number of municipal wastewater treatment plants in Upper Austria according to treatment type and size class (Sacken, 2021)

Ausbaugröße [EW ₆₀]	Belebungs- aerobe Stabilisierung	SBR	Belebungs + Faulturm	Pflanzen- kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe je Größenklasse	%
≤ 50 EW	659	859	–	536	152	308	2.514	90,4 %
51-500 EW	35	57	–	15	5	–	112	4,0 %
501-1999 EW	30	7	–	–	1	–	38	1,4 %
2000-19.999 EW	81	3	2	–	–	–	86	3,1 %
20.000-49.999 EW	6	–	11	–	–	–	17	0,6 %
≥ 50.000 EW	3	–	12	–	–	–	15	0,5 %
Anlagenanzahl gesamt	814	926	25	551	158	308	2.782	
%	29,3 %	33,3 %	0,9 %	19,8 %	5,7 %	11,1 %		

sehr geringen Anteil der Gesamtausbaugröße aller Kläranlagen (EW₆₀) ausmachen. Im Gegensatz dazu stehen die Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung), von welchen aktuell zwar nur 25 in Oberösterreich in Betrieb sind, die jedoch in Summe über zwei Drittel der kommunalen Abwässer reinigen. Tabelle 2 zeigt zudem, dass in Summe 69 % der oberösterreichischen Gesamtausbaugröße auf die nur 15 Anlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 EW₆₀ entfallen.

In Abbildung 1 sind die aufsummierte Anzahl und Ausbaugröße je Größenklasse einander gegenübergestellt. Damit wird verdeutlicht, dass zwar über 90 % (2514 Stück) der oberösterreichischen Kläranlagen eine Ausbaugröße von bis zu maximal 50 EW₆₀ haben, diese aber nicht einmal 1 % (rund 30.000 EW₆₀) der gesamten Ausbaugröße ausmachen.

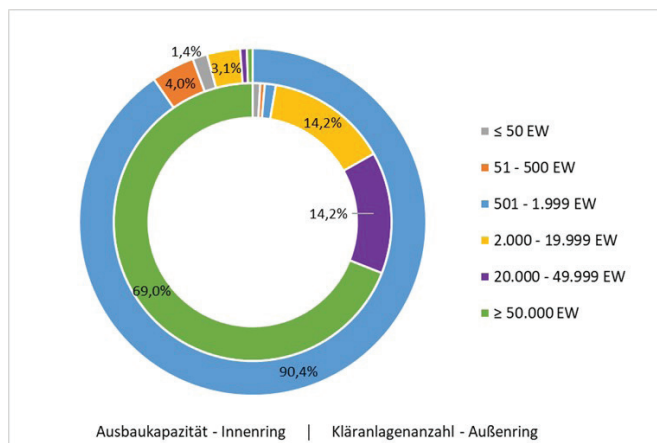


Abbildung 1. Vergleich von Kläranlagenanzahl und Ausbaugröße je Größenklasse in Prozent (Sacken, 2021)

Figure 1. Comparison of number and treatment capacity of wastewater treatment plants for each size class in percent (Sacken, 2021)

Im Kontrast dazu steht, dass 1 % der Anlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 EW₆₀ rund 70 % (rund 2,4 Mio. EW₆₀) der Gesamtreinigungsleistung in Oberösterreich ausmachen.

3.2. Anlagenbezogener Klärschlammfall

Mit den vorhandenen Datensätzen und den beschriebenen Methoden kann für alle oberösterreichischen Kläranlagen eine jährliche Klärschlammfallmenge in Tonnen Trockensubstanz dargestellt werden. Diese Ergebnisse werden in den Tabellen 3, 4 und 5 zusammengefasst dargestellt. Es soll an dieser Stelle nochmals wiederholt werden (vgl. Kapitel 2.2.), dass sich die angeführten Klärschlamm-mengen primär aus dokumentierten Daten der Kläranlagen ableiten. Datenlücken wurden unter Bezugnahme auf die Ausbaugröße der Kläranlagen geschlossen, da Belastungsdaten vor allem bei den „kleineren“ Größenkategorien (derzeit) nicht verfügbar sind. Die präsentierten Ergebnisse zielen primär darauf ab, Größenordnungen des Klärschlamm-falls in Bezug auf „kleinere“ Anlagen und die eingesetzten Bautypen darzustellen. Weiterführende Informationen in Bezug auf die österreichischen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von zumindest 2000 EW können Amann (2021) entnommen werden.

In Oberösterreich fallen pro Jahr rund 38.000 Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm an. Konsequenterweise entfällt hier (analog zur Ausbaugröße) der Großteil der Klärschlamm-menge, konkret knapp 70 % des oberösterreichischen Gesamtanfalls, auf die Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung (Tabelle 3).

Um die anfallenden Klärschlamm-mengen je Bautyp besser vergleichen zu können, wurde ein spezifischer Klärschlammfall

Tabelle 2. Ausbaugröße aller kommunaler Kläranlagen nach Bautyp und Größenklasse (Sacken, 2021)

Table 2. Treatment capacity of all municipal wastewater treatment plants according to treatment type and size class (Sacken, 2021)

Ausbaugröße [EW ₆₀]	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen- kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe je Größenklasse	%
≤ 50 EW	9103	10.977	–	6746	1729	2128	30.683	0,9 %
51–500 EW	5589	9707	–	1958	1188	–	18.442	0,5 %
501–1.999 EW	36.655	7317	–	–	700	–	44.672	1,3 %
2000–19.999 EW	450.145	9700	34.700	–	–	–	494.545	14,2 %
20.000–49.999 EW	160.500	–	334.300	–	–	–	494.800	14,2 %
≥ 50.000 EW	263.323	–	2.148.092	–	–	–	2.411.415	69,0 %
Ausbaugröße gesamt	925.315	37.701	2.517.092	8704	3617	2128	3.494.557	
%	26,5 %	1,1 %	72,0 %	0,2 %	0,1 %	0,1 %		

je EW₆₀ [kg TS/(EW₆₀*a)] für alle Kläranlagen errechnet und über die Bautypen gemittelt. Um die Interpretation des spezifischen Klärschlammanfalls und den Vergleich von einzelnen Reinigungstechnologien zu unterstützen, wird darüber hinaus die Standardabweichung der gemittelten Werte angeführt. Es kann festgehalten werden, dass unter Berücksichtigung der Standardabweichung die Unterschiede der spezifischen Klärschlammmengen von Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung, SBR-Anlagen und Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung hier nicht als signifikant angesehen werden (Tabelle 4).

Im Gegensatz zu den Erkenntnissen von Amann et al. (2021) liefert die anaerobe Stabilisierung (zumindest für die Größenklasse VI) tendenziell einen (leicht) größeren spezifischen Klärschlammanfall als das aerobe Pendant. Eine mögliche Begründung hierfür kann in der gewählten Methode zur Schließung von bestehenden Datenlücken beim dokumentierten Klärschlammanfall (basierend auf Mittelwerten in Bezug auf die einzelnen Größenklassen eines Bautyps und nicht nur in Hinblick auf die jeweiligen Gesamtausbaugrößen, vgl. Kap. 2.2) und damit verbundenen anlagenspezifischen Über- oder Unterschätzungen liegen. Wobei in diesem

Zusammenhang auch festgehalten werden soll, dass gerade bei den Anlagen dieser Größenordnungen die vorhandenen Datengrundlagen sehr vollständig waren und hier somit kaum rechnerische „Lückenschlüsse“ notwendig waren.

Wegen der umfassenden Datenlücke bezüglich des Klärschlammanfalls in Pflanzenkläranlagen und Anlagen mit rein mechanischer Abwasserreinigung konnte der Klärschlammanfall bei diesen, wie in Kapitel 2.2. (Ermittlung des anlagenbezogenen Klärschlammanfalls) beschrieben, nur rein rechnerisch ergänzt werden.

Die gesamte angefallene Klärschlammmenge je Größenklasse und Bautyp ist in Tabelle 5 zusammengefasst. Über 97 % des Klärschlammes in Oberösterreich fallen bei Kläranlagen einer Ausbaugröße von mindestens 2000 EW₆₀ an. Dem gegenüber stehen die anzahlmäßig deutlich zahlreicheren Anlagen mit einer maximalen Ausbaugröße von 1999 EW₆₀, die zwar rund 95 % der Kläranlagen ausmachen, in denen aber nur etwa 3 % des kommunalen Klärschlammes anfallen.

Im Kontext des vom Bundesabfallwirtschaftsplan definierten Ziels, bis zum Jahr 2030 65 bis 85 % des Klärschlammes einer Phosphorrückgewinnung zuzuführen (BMNT,

Tabelle 3. Anteil des jährlichen, spezifischen Klärschlammanfalls in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs je Bautyp (Sacken, 2021, adaptiert)

Table 3. Share of the annual specific sewage sludge production in municipal wastewater treatment plants in Upper Austria according to treatment type (Sacken, 2021, adapted)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen- kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe
Anzahl	814	926	25	551	158	308	2782
EW ₆₀	925.315	37.701	2.517.092	8704	3617	2128	3.494.557
Klärschlammmenge [t TS]	11.340	474	26.198	63	66	15	38.156
Anteil Klärschlammanfall	29,7 %	1,2 %	68,7 %	0,2 %	0,2 %	0,0 %	

Tabelle 4. Anteil des jährlichen, spezifischen Klärschlammmanfalls in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs je Bautyp und Größenklasse (Sacken, 2021)
Table 4. Share of the annual specific sewage sludge production in municipal wastewater treatment plants in Upper Austria according to treatment type and size class (Sacken, 2021)

kg TS Klärschlamm/EW	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen- kläranlage	Sonstiges	mechanisch
gesamt	10,7	13,2	12,7	7,3	19,9	7,3
Standardabweichung ±	2,6	0,9	6,6	0,0	0,8	0,0
≤ 50 EW	10,4	13,3	–	7,3	20,0	7,3
51–500 EW	10,5	13,2	–	7,3	20,0	–
501–1999 EW	11,7	9,3	–	–	10,3	–
2000–19.999 EW	12,6	14,2	6,3	–	–	–
20.000–49.999 EW	20,1	–	17,1	–	–	–
≥ 50.000 EW	7,3	–	9,8	–	–	–

2017), zeigt sich aus den Auswertungen, dass hierfür eigentlich zumindest alle Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von 20.000 EW₆₀ zu berücksichtigen wären. Somit erscheint die explizit an Kläranlagen einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 EW₆₀ gerichtete Aufforderung der Entwicklung von Konzepten der phosphororientierten Klärschlammverwertung (Monoverbrennung) zumindest für Oberösterreich zu kurz zu greifen, da damit nur rund 58 % der anfallenden Klärschlamm Trockensubstanz erfasst würden. Um den oberen Prozentbereich des genannten Zuführungszieles für die Phosphorrückgewinnung erreichen zu können, müsste gegebenenfalls sogar auf den Klärschlamm der Kläranlagen aus den Größenklassen IV, V und VI (ab 2.000 EW₆₀) zurückgegriffen werden.

3.3. Aktuelle Praxis der Klärschlammverwertung

Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen zu den Klärschlammverwertungspfaden in Oberösterreich. In dieser sind die Ergebnisse der ersten Befragungsrunde zur

Ermittlung der konkreten Verwertungspfade, welche zuvor in der Kategorie „Sonstiges“ zusammengefasst waren, bereits berücksichtigt.

In diesem Zusammenhang soll an dieser Stelle noch festgehalten werden, dass bei 32 der in Summe 33 Kläranlagen, die im Jahr 2019 ihren Klärschlamm dem Verwertungspfad „Sonstiges“ zugeführt haben, eine Befragung durchgeführt werden konnte. Dabei konnten fünf verschiedene Verwertungsmethoden konkretisiert werden: Beinahe die Hälfte der betroffenen Anlagen (14 Befragte) verwerten ihren Klärschlamm schlussendlich auf (i) landwirtschaftlichen Flächen. Aufgrund äußerer Rahmenbedingungen (z. B. Winter) konnte der anfallende Klärschlamm im Bezugsjahr jedoch nicht (vollständig) ausgebracht werden und wurde deswegen auf der Kläranlage zwischengelagert. Zwei Befragte gaben an, ihren Klärschlamm einer (ii) thermischen Verwertung zugeführt zu haben. Warum hier eine Zuordnung zur Kategorie „Sonstiges“ erfolgte, obwohl die Verbrennung ohnehin als konkreter Verwertungspfad angesehen wird (vgl. Kap. 2.3), konnte nicht nachvollzogen

Tabelle 5. Jährlicher Klärschlammmanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklasse und Bautyp (Sacken, 2021)

Table 5. Annual sewage sludge production in municipal wastewater treatment plants in Upper Austria according to size class and treatment type (Sacken, 2021)

Klärschlammmenge [t TS] pro Jahr	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen- kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe je Größenklasse	%
≤ 50 EW	95	145	–	49	35	15	339	0,9 %
51–500 EW	58	128	–	14	24	–	225	0,6 %
501–1999 EW	433	63	–	–	7	–	503	1,3 %
2000–19.999 EW	5913	137	218	–	–	–	6268	16,4 %
20.000–49.999 EW	3133	–	5689	–	–	–	8822	23,1 %
≥ 50.000 EW	1708	–	20.292	–	–	–	21.999	57,7 %
gesamt [t TS]	11.340	474	26.198	63	66	15	38.156	

Tabelle 6. Klärschlamm-mengen nach Verwertungsart in Oberösterreich (Sacken, 2021, adaptiert)
 Table 6. Sewage sludge amounts according to disposal type in Upper Austria (Sacken, 2021, adapted)

TS in Tonnen	Gesamt	Landwirtschaft	Kompostierung	Verbrennung	Nachbarkläranlage	Vererdung	externer Entsorger
≤ 50 EW	–	–	–	–	–	–	–
51–500 EW	34	34	–	–	–	–	–
501–1999 EW	436	354	6	13	6	–	56
2000–19.999 EW	6139	4758	559	216	7	407	194
20.000–49.999 EW	8222	7429	135	659	–	–	–
≥ 50.000 EW	21.297	9147	944	11.206	–	–	–
gesamt	36.129	21.722	1643	12.094	13	407	250
Anteil gesamt		60,1 %	4,5 %	33,5 %	0,04 %	1,13 %	0,69 %

werden. Bei den restlichen ermittelten Methoden handelt es sich um die (iii) Verfuhr zu einer benachbarten Kläranlage (3 Befragte), die (iv) Verwertung in einer Vererdungsanlage (4 Befragte) oder die (v) Abholung (Behandlung und Verwertung) durch ein externes Entsorgungsunternehmen (9 Befragte).

Aus der Gesamtübersicht in Tabelle 6 ist ersichtlich, dass in Oberösterreich bis heute die landwirtschaftliche Verwertung mit über 60 % der mengenmäßig häufigste gewählte Verwertungspfad ist (bezogen auf Tonnen Trockensubstanz). Damit verdeutlicht sich die Brisanz bzw. der Handlungsbedarf in Zusammenhang mit dem sich abzeichnenden Auslaufen der landwirtschaftlichen Verwertung.

Abbildung 2 zeigt, dass dieser Verwertungspfad insbesondere bei Kläranlagen einer Ausbaugröße von unter 50.000 EW₆₀ gewählt wird, hier betrifft diese Art der Verwertung knapp 85 % der anfallenden Klärschlamm-menge. Zudem muss aber auch festgehalten werden, dass in Oberösterreich bereits über ein Drittel des gesamten Klärschlamm-anfalls einer thermischen Verwertung zugeführt wird. Allerdings stehen

hier keine Monoverbrennungsanlagen zur Verfügung, vielmehr erfolgt die Verwertung in den Mitverbrennungsanlagen Wels, Linz und Lenzing. Neben der landwirtschaftlichen und thermischen Verwertung sind in Oberösterreich noch vier andere Verwertungspfade relevant (Kompostierung, Vererdung, Übergabe an Nachbarkläranlage, Übergabe an externen Entsorger), in welche im Verhältnis aber nur verschwindend geringe Klärschlamm-mengen abgeführt werden.

Da, wie zuvor schon festgehalten, in den verfügbaren Datensätzen keine Informationen zum Klärschlamm-anfall in der Größenklasse I enthalten sind, besteht auch in Bezug auf die hier praktizierte Klärschlamm-verwertung (derzeit) eine Wissenslücke (Befragungen wurden aufgrund der hohen Anzahl an Anlagen hier nicht durchgeführt).

Bei der ersten Befragungsrunde zur Konkretisierung der Verwertungskategorie „Sonstiges“ wurde, wie zuvor schon festgehalten, auch die Motivation für die Wahl des Verwertungspfad-es erfragt. Es war dabei möglich, mehrere Begründungen zu nennen. Die Ergebnisse werden in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7. Nennungen an Begründungen für die Wahl des Klärschlamm-verwertungspfad-es in Kategorie „Sonstiges“ (Sacken, 2021, adaptiert)
 Table 7. Number of mentions for types of sewage sludge disposal paths in the category “Sonstiges” (Sacken, 2021, adapted)

Gründe für die Wahl des Verwertungspfad-es	Landwirtschaft	Nachbarkläranlage	Vererdung	Extern	Gesamt
Kosten	12	–	3	–	15
Geringer Aufwand	4	–	4	3	11
Landwirtschaft wegen AMA-Gütesiegel etc. nicht möglich	–	3	1	6	10
ökologisch sinnvolle Variante	6	–	–	–	6
Fehlende landwirtschaftliche Abnehmer	–	–	–	5	5
regionale Verwertung	5	–	–	–	5
Genug landwirtschaftliche Abnehmer	4	–	–	–	4
Fehlende Alternativen	–	–	–	2	2
Anzahl der befragten Anlagen	14	3	4	9	30

Erwartungsgemäß wurden die Kosten am häufigsten als Grund für die Wahl des Verwertungspfades genannt. Insbesondere Anlagen, die Klärschlamm einer landwirtschaftlichen Verwertung zuführen, haben sich aus Kostengründen dazu entschieden. Die Betreiber vieler Anlagen empfinden diese Art der Klärschlammverwertung zudem häufig als die „ökologischste“ Variante, da sie regional sei und dadurch Nährstoffe dem Boden zurückgegeben würden. Bei den Anlagen, welche ihren Klärschlamm nicht einer landwirtschaftlichen Verwertung zuführen, wurde als häufigste Ursache für deren Wahl des Verwertungspfades genannt, dass die Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftlichen Flächen nicht (mehr) möglich sei. Generelle Aufbringungsverbote, aber auch entsprechende Einschränkungen durch landwirtschaftliche Gütesiegel führen zu fehlenden landwirtschaftlichen Abnehmern und verhindern (zunehmend) entsprechende Verwertungen. In Anbetracht der Tatsache, dass eben auch die aktuelle Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplanes der landwirtschaftlichen Verwertung kritisch gegenübersteht, wird ein entsprechender (politischer) Handlungsbedarf ersichtlich, in künftigen Entwicklungen nicht nur auf die „großen“ Kläranlagen zu fokussieren, sondern auch in Bezug auf die Entwicklung von tragfähigen Zukunftslösungen für die „kleineren“ Anlagenbetreiber aktiv zu werden.

In der zweiten Befragungsrunde wurden Interviews mit neun Abwasserreinigungsanlagen durchgeführt, die bereits

Tabelle 8. Motive für die Wahl der Verbrennung als Verwertungspfad (Sacken, 2021)

Table 8. Motivation for choosing incineration as disposal path (Sacken, 2021)

Gründe für thermische Verwertung	Nennungen
Kosten	4
Wegen Vorgaben LW nicht mehr möglich	4
Fehlende landwirtschaftliche Abnehmer	2
einfachste Lösung	2
LW nicht das ganze Jahr möglich	1
Transportwege	1
Geruchsentwicklung bei Lagerung ohne Faulturm	1
Schwermetallbelastung	1
politische Entscheidung wegen BSE	1

heute ihren Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen. Im Zuge dieser wurde unter anderem ermittelt, aus welchen Beweggründen sich die Betreiber der Kläranlagen für diesen Verwertungspfad entschieden haben (Tabelle 8). Auch hier war die Nennung mehrerer Motive möglich. Der ökonomische Aspekt war dabei ebenfalls am häufigsten ausschlaggebend für die Wahl. Hervorzuheben ist, dass sich die Betreiber der vier kleinsten befragten Anlagen wegen Kostengründen für die thermische Verwertung entschieden haben. Wie bei der zuvor beschriebenen Befragung zeigt sich zudem auch hier, dass sich viele Betreiber nur deshalb für einen anderen Verwertungspfad als die landwirtschaftliche Aufbringung entschieden haben, weil eine solche nicht (mehr) möglich gewesen ist. Dies unterstreicht die bereits zuvor getätigte Aussage zur nach wie vor großen praktischen und „emotionalen“ Bedeutung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung in diesem Bundesland.

4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Klärschlammverwertung in Österreich befindet sich derzeit im Umbruch. Die zentralen Aspekte stellen dabei die künftig zu intensivierende Rückgewinnung von Phosphor sowie immer kritischer gesichene landwirtschaftliche Verwertung dar. Der Bundesabfallwirtschaftsplan legt derzeit den Fokus vor allem auf die größeren Kläranlagen. Das ist prinzipiell nachvollziehbar, da hier die wesentlichen Klärschlammengen anfallen. Allerdings darf dabei nicht außer Acht gelassen werden, dass auch die kleineren Kläranlagen Unterstützung in dem stattfindenden Transformationsprozess benötigen. Denn auch wenn diese nur zu einem

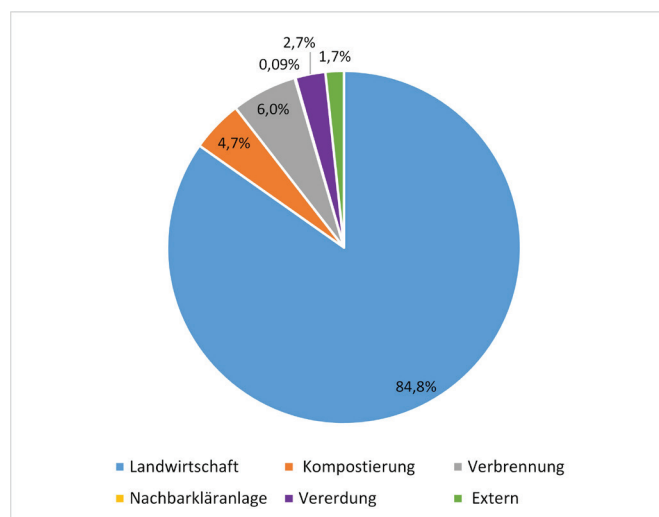


Abbildung 2. Klärschlammverteilung des verwerteten TS-Klärschlammes nach Verwertungspfad von Kläranlagen unter 50.000 EW60 (Sacken, 2021)

Figure 2. Sewage sludge distribution according to disposal type for wastewater treatment plants below 50.000 population equivalents (Sacken, 2021)

geringen Teil zum gesamten Klärschlamm aufkommen beitragen, sind sie doch aufgrund ihrer großen mengenmäßigen Anzahl nicht zu vernachlässigen. In dieser Arbeit wird am Beispiel von Oberösterreich die aktuelle Praxis der Klärschlambewirtschaftung dargestellt und dabei werden auch die Kleinkläranlagen und kleinen Kläranlagen entsprechend berücksichtigt.

Aus den gewonnenen Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, dass in Oberösterreich 2782 kommunale Kläranlagen mit einer gesamten Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60} in Betrieb sind. Rund 95 % dieser Anlagen haben dabei eine Ausbaugröße von unter 2000 EW_{60} . Die Kläranlagen dieser Größe machen allerdings nur etwa 3 % der Gesamtreinigungsleistung aus, während die 15 größten kommunalen Kläranlagen knapp 70 % der anfallenden kommunalen Abwässer reinigen. Konsequenterweise ist der Klärschlamm anfall bei den Anlagen dieser Ausbaugröße ebenfalls am höchsten.

Rund 57 % des oberösterreichischen Klärschlammes stammen aus Anlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 EW_{60} . Das Ziel des Bundesabfallwirtschaftsplans, 65 – 85 % des anfallenden Klärschlammes bis zum Jahr 2030 einer Phosphorrückgewinnung zuzuführen, kann mit den Anlagen dieser Ausbaugröße folglich aber nicht erreicht werden. Somit wäre die aktuell nur an die Anlagen dieser Größenordnung gerichtete Forderung, sich mit der Entwicklung zukünftiger Konzepte für die Klärschlambewirtschaftung zu befassen, zumindest für Oberösterreich zu kurzgefasst.

In Bezug auf die Klärschlammverwertung ist die Entwicklung bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 EW_{60} durch den Bundesabfallwirtschaftsplan heute bereits klar vorgegeben. Dem gegenüber stehen die deutlich zahlreicheren kleineren Anlagen, die zum momentanen Zeitpunkt nicht im direkten Fokus des Bundesabfallwirtschaftsplans stehen, sich jedoch mittel- und langfristig ebenfalls mit neuen bzw. alternativen Möglichkeiten der Klärschlammverwertung auseinandersetzen werden müssen. Insbesondere der Anteil von über 60 % der anfallenden Klärschlammmenge, die bis heute auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebracht wird, verdeutlicht hier einen zunehmenden (politischen) Handlungsbedarf, um auch hier tragfähige Lösungen für die Zukunft sicher zu stellen. Die durchgeführten Befragungen von Kläranlagenbetreibern verdeutlichen zudem die nach wie vor große praktische Bedeutung der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung, die nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch und „traditionell“ begründet wird. Da die anfallenden Kosten oftmals einen sehr

ausschlaggebenden Charakter für die Wahl des Verwertungspfad haben, könnten entsprechende Anreiz- und Förderungssysteme wirksame Instrumente sein, um den Transformationsprozess bei der Klärschlammverwertung zu unterstützen (vgl. ÖWAV, 2014). Allerdings soll an dieser Stelle zudem darauf hingewiesen werden, dass auch ein entsprechendes Akteursmanagement (wie Bereitstellung von zielgruppenorientierten Informationen über die richtigen Informationspfade, strategische Einbindung von Akteuren und Schaffung von „Ownership“) einen wesentlichen Beitrag zum Gelingen eines Transformationsprozesses leistet.

In Bezug auf die aktuelle Praxis der thermischen Verwertung in Oberösterreich kann festgehalten werden, dass diese nur in Form einer Mitverbrennung erfolgt. Eine Umsetzung der Phosphorrückgewinnung aus der Monoverbrennung würde daher aus heutiger Sicht einen Transport in ein anderes Bundesland und damit erhebliche Transportwege notwendig machen, wobei hier auch die Kapazitäten der bestehenden Infrastruktur (wie Straßen- und Schienenwege) entsprechend berücksichtigt werden müssten (Wagner et al., 2020). Als Alternative dazu könnten aber natürlich auch dezentralere Alternativen der Klärschlambewirtschaftung in Erwägung gezogen werden.

Aus Sicht der Autoren dieses Beitrages muss eine zukunftsorientierte und damit nachhaltige Klärschlambewirtschaftung in Österreich zwei zentrale Aspekte berücksichtigen. Einerseits braucht es für alle Kläranlagen (große wie kleine) im Land praktikable Lösungen, um diese bei der aktuellen „Trendwende“ bestmöglich zu unterstützen. Andererseits sollten neben der klar formulierten „zentralen“ Option der Monoverbrennung für die größeren Kläranlagen auch „dezentrale“ Optionen für die kleineren Kläranlagen definiert werden. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass sich die Praxis der Klärschlambewirtschaftung in Oberösterreich (die zumindest bis zu einem gewissen Grad auch auf Gesamtösterreich projiziert werden kann) als durchaus divers darstellt. Ein Mix aus zentralen und dezentralen Verfahren der Klärschlambewirtschaftung erscheint daher ein durchaus probater Ansatz, um die anstehenden Herausforderungen zu meistern und dabei aber auch alle Kläranlagenbetreiber entsprechend zu berücksichtigen.

Abschlussbemerkung

Dieser Beitrag fasst die wesentlichen Erkenntnisse der Masterarbeit des Erstautors zusammen, die im Literaturverzeichnis als Sacken (2021) angeführt wird.

Die Autoren danken dem Amt der OÖ Landesregierung sowie den InterviewpartnerInnen für die Unterstützung bei dieser Arbeit.

Literatur

- Amann, A., Weber N., Krampe J., Rechberger H., Zoboli, O., Zessner, M., 2021. Operation and Performance of Austrian Wastewater and Sewage Sludge Treatment as a Basis for Resource Optimization. *Water* 2021, 13, 2998.
- Amt der OÖ. Landesregierung, 2020a. Anlagen > 49 EW 2019. Schriftliche Mitteilung via E-Mail, 22 Mai 2020.
- Amt der OÖ. Landesregierung, 2020b. Klärschlamm Daten 2019. schriftliche. Mitteilung via E-Mail, 12 März 2020.
- Amt der OÖ. Landesregierung, 2019. Anlagen bis 500 EW 2019; schriftliche Mitteilung via E-Mail 2019, Mai 2019.
- BMNT, 2017. Bundes-Abfallwirtschaftsplan. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.
- Egle, L., Amann, A., Rechberger, H., Zessner, M., 2016. Phosphor: Eine kritische und zugleich unzureichend genutzte Ressource der Abwasser- und Abfallwirtschaft – Stand des Wissens und Ausblick für Österreich und Europa. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 68, 118–133.
- Engstler, E., Kerschbaumer, D., Langergraber, G., 2019. Evaluierung von Kleinkläranlagen anhand der Fremdüberwachungsdaten. *Wiener Mitteilungen*, Band 251, B1–B13.
- Lambert, C., Reisinger, H., Zethner, G., 2014. Bioabfallstrategie. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Langergraber, G., Pressl, A., Kretschmer, F., Weissenbacher, N., 2018. Kleinkläranlagen in Österreich – Entwicklung, Bestand und Management. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 70 (11/12), 560–569.
- Kretschmer, F., Zingerle, T., Ertl, T., 2018. Perspektiven der künftigen Klärschlambewirtschaftung in Österreich. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 70, 579–587.
- BMLRT (Hrsg.), 2020. Kommunales Abwasser - Österreichischer Bericht. Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien.
- ÖWAV, 2014. ÖWAV-Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Sacken, J., 2021. Klärschlammfall und -verwertung bei den kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- Vanas, F., 2016. Aktuelle Situation und zukünftige Entwicklungen bei der Klärschlamm Entsorgung in Österreich. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- Wagner, D., Neugebauer, G., Kretschmer, F., Stoeglehner, G., 2020. Integrating Life-Cycle Perspectives and Spatial Dimensions of Sewage Sludge Mono-Incineration. *Water* 2020, 12, 1267.