Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz

Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl

KLÄRSCHLAMMANFALL UND -VERWERTUNG BEI DEN KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN OBERÖSTERREICHS

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

eingereicht von:

SACKEN, JOHANNES

Betreuer: Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Langergraber, Günter

Mitbetreuer: Dipl.-Ing. Dr. Kretschmer, Florian

Matrikelnummer 01440864

30.03.2021

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit wurde an der Universität für Bodenkultur Wien am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz (SIG) verfasst.

Zuerst möchte ich meinem Betreuer PD DI Dr. Günter Langergraber und meinem Mitbetreuer DI Dr. Florian Kretschmer, die mir die Bearbeitung dieser Arbeit ermöglichten und mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen, meinen Dank aussprechen.

Weiters gilt mein Dank den Mitarbeitern des Amts der Oberösterreichischen Landesregierung DI Edith Wakolbinger und Ing. Andreas Fenzl, von welchen die notwendigen Rohdaten für diese Arbeit zur Verfügung gestellt wurden und die mit Interesse und bereitwilligen Auskünften zum Ergebnis dieser Arbeit beigetragen haben. Außerdem danke ich allen Interviewpartnern, die für die Befragungen im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit zur Verfügung standen.

Im Allgemeinen möchte ich mich bei der Universität für Bodenkultur Wien und all ihren Mitarbeitern und Lehrenden bedanken. Ihrem unermüdlichen Einsatz für die Lehre und Forschung und dem daraus resultierenden angenehmen Unterrichtsklima ist es zu verdanken, dass mein naturwissenschaftliches Interesse stets geweckt war.

Ich möchte darüber hinaus auch meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen wie auch meinen Freunden für eine unvergessliche Studienzeit danken.

Ein spezieller Dank gebührt meiner Familie. Ihre ununterbrochene Unterstützung und Motivation während des gesamten Studiums haben maßgeblich zum Zustandekommen dieser Arbeit beigetragen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ..... ***I***

1. Einleitung ***1***

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung ***2***

3. Allgemeine Grundlagen ***3***

3.1 Technologien der Abwasserreinigung 3
3.1.1 Mechanische Verfahren 3
3.1.2 Biologische Verfahren 5

3.2 Anfall, Behandlung und Verwertung von Klärschlamm 15
3.2.1 Anfall von Klärschlamm 15
3.2.2 Behandlung 16
3.2.3 Verwertung 21
3.2.4 Mittel und langfristige Ziele beim Umgang mit Klärschlamm in Österreich 30

3.3 Rechtlicher Rahmen des Umganges mit Klärschlamm 33
3.3.1 Europäische Rahmenbedingungen 34
3.3.2 Nationale rechtliche Rahmenbedingungen 36
3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen auf Landesebene in Oberösterreich 38
3.3.4 Sonstige Regelwerke und Leitfäden 39

4. Material und Methoden ***41***

4.1 Material 41
4.1.1 Abwasserreinigungsanlagen in Oberösterreich 41
4.1.2 Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich 41
4.1.3 Klärschlammverwertungspfade in Oberösterreich 42

4.2 Methoden 42
4.2.1 Inventarisierung der Abwasserreinigungsanlagen 42
4.2.2 Quantifizierung des kommunalen Klärschlammanfalls 43
4.2.3 Erhebung der Klärschlammverwertungspfade 44

5. Ergebnisse und Diskussion ***47***

5.1 Bestand an kommunalen Kläranlagen 47
5.1.1 Gesamtübersicht 47
5.1.2 Anlagen der Größenklasse I (≤ 50 EW_{60}) 51
5.1.3 Anlagen der Größenklasse II (51 - 500 EW_{60}) 52
5.1.4 Anlagen der Größenklasse III (501 - 2.000 EW_{60}) 53
5.1.5 Anlagen der Größenklasse IV (2.000 - 19.999 EW_{60}) 53
5.1.6 Anlagen der Größenklasse V (20.000 – 49.999 EW_{60}) 54
5.1.7 Anlagen der Größenklasse VI (≥ 50.000 EW_{60}) 54
5.1.8 Zwischenfazit 55

5.2 Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen 55
5.2.1 Gesamter kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich 55
5.2.2 Zwischenfazit 59

5.3 Verwertungspfade von Klärschlamm 59
5.3.1 Aktuelle Klärschlammverwertungspfade 59
5.3.2 Stand der thermischen Klärschlammverwertung in Oberösterreich 66
5.3.3 Motive für die Wahl des Verwertungspfades 67
5.3.4 Zwischenfazit 70

6. Schlussfolgerung und Ausblick ***71***

7. Zusammenfassung ***74***

8. Literaturverzeichnis 76
9. Tabellenverzeichnis 81
10. Abbildungsverzeichnis 83
11. Lebenslauf 85
12. Eidesstattliche Erklärung 86
13. Anhang

Kurzfassung

Der bei der Abwasserreinigung stetig anfallende Klärschlamm ist nicht nur eine Senke für potenzielle Schadstoffe, sondern enthält auch von Pflanzen benötigte Nährstoffe (z. B. Phosphor). Beim Umgang mit Klärschlamm ist derzeit eine Trendwende zu beobachten. Um eine Schadstoffanreicherung in den Böden zu verhindern und die Nährstoffe weiterhin einer Nutzung in der Landwirtschaft zuzuführen, wird vielfach die Klärschlammmonoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsasche gegenüber einer direkten landwirtschaftlichen Ausbringung von Klärschlamm favorisiert. In dem Kontext eines sich ändernden Klärschlamm-Managements schafft die vorliegende Arbeit am Beispiel Oberösterreichs ein Inventar aller kommunalen Kläranlagen inkl. anlagenbezogener Kenngrößen wie Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart sowie einer Abschätzung des jeweils anfallenden Klärschlamms. Des Weiteren wird die aktuelle Praxis der Klärschlammverwertung untersucht, um damit die Erarbeitung zukünftiger Konzepte zu unterstützen. Die Auswertung der vorhandenen Daten ergab, dass in Oberösterreich 2.782 kommunale Kläranlagen, die in Summe eine Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60} umfassen, in Betrieb sind. Ein Großteil dieser Reinigungsleistung fällt auf Belebungsanlagen mit einer anaeroben Schlammstabilisierung. Außerdem werden heute noch über 60 % des anfallenden Klärschlamms einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt, wodurch in absehbarer Zukunft der Bedarf einer Umorientierung verdeutlicht wird. Während in diesem Zusammenhang die größeren Kläranlagen vom Bundesabfallwirtschaftsplan direkt adressiert werden, und sich somit ein klares Bild für deren zukünftige Klärschlammverwertung abzeichnet, dürfen die deutlich zahlreicheren kleinen Anlagen in diesem Zusammenhang nicht unberücksichtigt bleiben, um auch bei diesen den Bodenschutz bei gleichzeitiger bestmöglicher Nutzung der im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe sicherzustellen.

Abstract

The accumulating sewage sludge that is produced in the process of wastewater treatment consists not only of potential pollutants but also contains nutrients required for plant growth (e.g. phosphorus). The current practice of sewage sludge management is in transition. To prevent the accumulation of pollutants in the soil and make the nutrients available for agriculture at the same time, the mono-incineration of sewage sludge and subsequent extraction of phosphorus out of the arising ashes is often preferred over a direct use in agriculture. Using Upper Austria as an example, in regard of a developing sewage sludge management, this study establishes a database of the characteristic information (location, population equivalents, date of implementation and technology) of municipal wastewater treatment plants and the produced sewage sludge in these treatment plants. In addition, this work focuses on investigating the used methods of “recycling” sewage sludge, to help developing further concepts for the future. The analysis of the provided raw data shows that 2.782 municipal treatment plants with a total capacity of around 3,5 million PE_{60} are in use in Upper Austria. A majority of this treatment capacity is built of activated sludge plants with anaerobic sludge stabilization. Furthermore over 60 % of the dry wight of sewage sludge in Upper Austria is still used in agriculture. This underlines the necessity of rethinking in the future. While the Austrian-Waste-Management-Plan takes account of the big treatment plants and their development of alternative concepts regarding sewage sludge management is predictable, the many small treatment plants should not be left unconsidered in order to reach a suitable soil protection and recycling of the nutrients at the same time.

1. Einleitung

In Österreich gibt es gemäß dem österreichischen Lagebericht über die Beseitigung von kommunalen Abwasser und des dabei anfallenden Klärschlamms (OFTNER, et al., 2020) des zuständigen Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, 1.869 kommunale Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von über 50 Einwohnerwerten (EW_{60}). Von diesen fallen 1.236 in einen Größenbereich von 51 - 1.999 EW_{60}. Des Weiteren wird die Anzahl der Kleinkläranlagen (KKA), mit einer Ausbaugröße von maximal 50 EW_{60}, im Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020 (ÖWAV, 2019) auf 15.554 geschätzt. Zwar müssen die Betreiber aller Kläranlagen Österreichs in abgestimmten Intervallen Fremdüberwachungsberichte mit einzelanlagenbezogenen Informationen an die zuständigen Ämter der Landesregierungen schicken, allerding wird dort meist nur der Eingang des Berichtes vermerkt und es erfolgt keine detaillierte Analyse (ENGSTLER, et al., 2019). Nur die Daten der Anlagen mit einer Ausbaugröße von ≥ 2.000 EW_{60} werden, entsprechend der Kommunalen Abwasserrichtlinie 91/271/EWG, alle zwei Jahre zentral vom Umweltbundesamt Wien zusammengeführt und analysiert. Zuletzt ist dies 2020, im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, geschehen. Um die noch bestehenden Datenlücken bezüglich aller österreichischen Kläranlagen zu schließen, wurden im Rahmen einer Bestandsaufnahme von Langergraber et al. (2018) für alle KKA und kleinen Kläranlagen (51 - 500 EW_{60}) Österreichs bereits die Daten (Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt, Status und Reinigungsart) der Anlagen mit einer Ausbaugröße ≤ 500 EW_{60} gesammelt und ausgewertet. Für die übrigen Anlagen mit einer Ausbaugröße von 501 - 1.999 EW_{60} fehlt eine solche zentrale Auswertung bisher noch.

Bei der Abwasserreinigung in Österreichs Kläranlagen fällt eine jährliche Klärschlammmenge von rund 238.000 Tonnen Trockensubstanz als Überschussprodukt an (ÖWAV, 2019). Dieser Klärschlamm wird unterschiedlichen Verwertungspfaden zugeführt. In diesem Zusammenhang findet momentan ein Umbruch der Branche statt (KRETSCHMER, et al., 2018). So sieht die aktuelle Fassung des österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan vor, dass bis zum Jahr 2030 zwischen 65 und 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Um diese Vorgabe umzusetzen, sind Betreiber von Anlagen einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 Einwohnerwerten dazu aufgerufen, weiterführende Überlegungen in Bezug auf deren künftige Phosphorrückgewinnung anzustellen. Als vielversprechende Lösung wird hierfür die Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus der dabei entstehenden Verbrennungsasche gesehen (BMNT, 2017). Außerdem ist die Aufbringung von kommunalen Klärschlämmen auf (landwirtschaftlich genutzte) Böden wegen der möglichen Gefahr einer Schadstoffanreicherung für die Zukunft nicht gesichert (BMNT, 2017). Dieser Verwertungspfad ist in manchen Regionen Österreichs (insbesondere Oberösterreich) heute aber noch von zentraler Bedeutung (VANAS, 2016). Somit stehen derzeit viele Abwasserunternehmen vor der Herausforderung, neue Verwertungspfade für den auf ihrer Anlage anfallenden Klärschlamm zu finden.

Mit der vorliegenden Arbeit soll nun am Beispiel Oberösterreichs erstmals ein vollständiges Inventar aller kommunalen Kläranlagen erstellt werden. Zudem werden die jeweils anfallenden Klärschlammmengen dargestellt und ein Einblick in die aktuelle Praxis der Klärschlammverwertung gegeben. Dies soll als Informationsgrundlage für die Festlegung von alternativen Klärschlamm-Verwertungspfaden für diejenigen (kleineren) Kläranlagen dienen, die nicht von den Vorgaben des Bundesabfallwirtschaftsplans erfasst werden.

2. Zielsetzung und Aufgabenstellung

Diese Arbeit wird am Beispiel des Landes Oberösterreichs durchgeführt, da hier die landwirtschaftliche Verwertung des kommunalen Klärschlamms heute noch der dominierende Verwertungspfad ist (PÜRMAYR, et al., 2017). Mit Blick auf die Anforderung des Bundesabfallwirtschafsplans und in Anbetracht der Tatsache, dass die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen immer mehr in Kritik gerät, ist hier daher in naher Zukunft mit gewissen Herausforderungen bzw. einem Anpassungsbedarf beim Umgang mit Klärschlamm zu rechnen.

Diese Masterarbeit soll einen umfassenden Überblick über die aktuelle Situation des Klärschlamm-Managements in Oberösterreich bieten und damit eine Grundlage und Hilfestellung für die Entwicklung zukunftsfähiger Lösungen liefern. Dabei ist vor allem die Praxis auf kleineren Anlagen von Interesse, da diese zwar in großer Zahl vorhanden sind, vom Bundesabfallwirtschaftsplan aber nicht erfasst werden.

Es ergeben sich somit folgende drei Forschungsfragen für diese Arbeit, welche als Zielsetzungen formuliert werden:

1) Das erste Ziel ist die Schaffung (und Auswertung) einer vollständigen Datengrundlage (Inventar) mit den einzelanlagenbezogenen Informationen aller Kläranlagen Oberösterreichs.
2) Das zweite Ziel ist die Ermittlung des Klärschlammanfalls in allen kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs. Dieser soll in Bezug auf die Ausbaugröße der Kläranlage und die dortig eingesetzte Reinigungstechnologie dargestellt werden.
3) Das dritte Ziel ist die Beschreibung der Klärschlammverwertungspfade, welche in Oberösterreich aktuell praktiziert werden. Hier soll insbesondere Augenmerk auf die Anlagen einer Ausbaugröße < 50.000 EW_{60} gelegt werden.

Weiterer Aufbau der Arbeit

Im nachfolgenden **Kapitel 3** (Allgemeine Grundlagen) werden allgemeinen (technische) Grundlagen zur Abwasserreinigung und zum Klärschlamm sowie zu den diesbezüglich geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen gegeben. Anschließend werden in **Kapitel 4** (Material und Methoden) die verfügbaren Materialien und eingesetzten Methoden für die Bearbeitung der Forschungsfragen erläutert. Daraufhin werden in **Kapitel 5** (Ergebnisse und Diskussion) die Ergebnisse und die daraus gewonnen Erkenntnisse dargelegt und diskutiert. Darauffolgend findet sich in **Kapitel 6** (Schlussfolgerung und Ausblick) eine daraus gezogene Schlussfolgerung und in **Kapitel 7** (Zusammenfassung) werden die wesentlichen Aspekte zusammengefasst.

3. Allgemeine Grundlagen

In diesem Kapitel werden die, für die Bearbeitung der Forschungsfragen relevanten, fachlichen Grundlagen dargelegt, welche den aktuellen Stand des Wissens bezüglich der Abwasserreinigung und der Klärschlammbewirtschaftung (Klärschlamm-Management) widerspiegeln.

Es gliedert sich in drei Unterkapitel. In 3.1 (Technologien der Abwasserreinigung) wird auf die technischen Möglichkeiten der Abwasserreinigung eingegangen. Das Zweite Unterkapitel 3.2 (Anfall, Behandlung und Verwertung von Klärschlamm) fokussiert sich auf die Optionen der Klärschlammbewirtschaftung und diesbezügliche Bestrebungen für die Zukunft. Im letzten Unterkapitel 3.3 (Rechtlicher Rahmen) werden die momentan in Bezug auf die Klärschlammbewirtschaftung geltenden rechtlichen Rahmenbedingungen erläutert.

3.1 Technologien der Abwasserreinigung

Abwasserreinigungsanlagen verfolgen das Ziel unerwünschte Schmutzstoffe aus dem Abwasser zu entfernen und in einem solchen Maße aufzubereiten, dass diese verwertet oder entsorgt werden können. Der Betrieb muss dabei zuverlässig ununterbrochen aufrechterhalten werden können und wirtschaftlich sein. Als unerwünschte Schmutzstoffe sind Stoffe, welche nach momentaner Auffassung nicht in übermäßigem Maße in den Vorfluter geleitet werden dürfen, zu betrachten. Die Aufbereitung dieser erfolgt im Zuge der Schlammbehandlung (GUJER, 2007).

In Österreich sind rund 17.500 Abwasserreinigungsanlagen in Betrieb. Bei diesen kommen unterschiedliche Reinigungsverfahren zur Anwendung (ÖWAV, 2019). Im Weiteren wird eine allgemeine Beschreibung der Kläranlagenbautypen angeführt, welche in Oberösterreich überwiegend zum Einsatz kommen.

3.1.1 Mechanische Verfahren

Mechanische Abwasserreinigungsanlagen wurden in der Vergangenheit oft als eigenständige Kläranlagen eingesetzt. Die häufigste Form ist die sogenannte 3-Kammer-Faulanlage. Wie in Abbildung 1 dargestellt, bestehen diese Anlagen aus drei Kammern, welche vom Abwasser durchströmt werden. Hierbei werden Schmutzstoffe durch Absetzen oder Aufschwimmen abgetrennt. Die zurückbleibenden Feststoffe, welche sich in der Anlage ansammeln, müssen in entsprechenden Zeitintervallen entfernt werden (TRAUNER, et al., 2006). Bei der Lagerung der Schmutzstoffe in der Anlage werden diese teilweise anaerob abgebaut. Es kommt im Allgemeinen jedoch nicht zu einer Stabilisierung des Schlammes, was bei der Verwertung oder Entsorgung zu beachten ist (Ö-NORM B 2502-1, 2012).

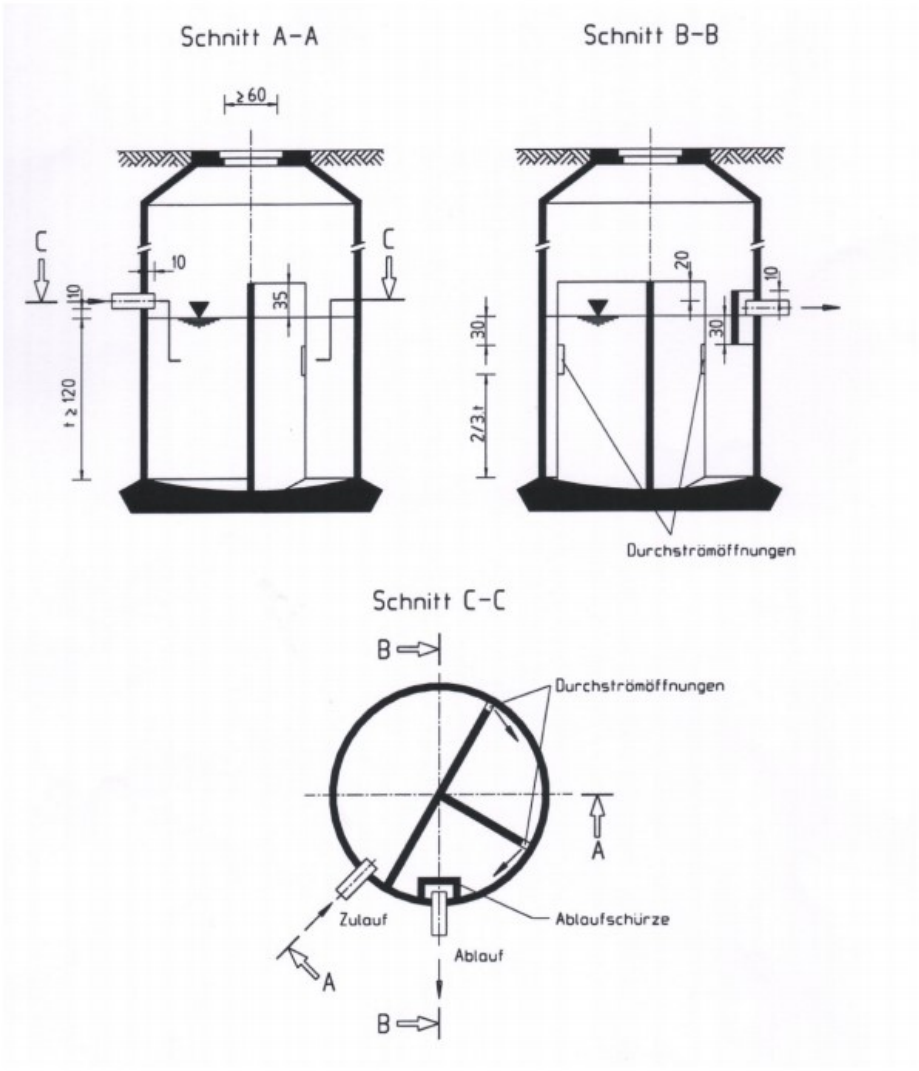


Abbildung 1: Darstellung einer 3-Kammer-Faulanlage (Ö-NORM B 2502-1, 2012)

Die ausschließlich mechanische Abwasserreinigung entspricht heutzutage nicht mehr dem Stand der Technik, jedoch ist immer noch eine nicht zu vernachlässigende Anzahl von rein mechanischen Kläranlagen in Betrieb, welche vor der Novellierung des Wasserrechtsgesetztes 1990 bewilligt wurden (LANGERGRABER, et al., 2018). So ist insbesondere bei diesen Anlagen, welche in den 1970-er und 1980-er Jahren gebaut wurden, der Bedarf einer Modernisierung gegeben (PASSER, et al., 2008).

Bei neu bewilligten Anlagen ist der Einsatz von mechanischen Abwasserreinigungsverfahren nur mehr als Vorreinigung und Vorklärung zulässig (GUJER, 2007). Hier ist es üblich, dass zunächst mit einer Rechenanlage Grobstoffe unterschiedlicher Art und Größe (je nach Stababstand) entfernt werden. Anschließend werden Sand und Fette mit einem Sand- und Fettfang mittels Sedimentation und Flotation abgetrennt. Hierauf wird durch langsame Fließgeschwindigkeiten in der Vorklärung ein Absetzen der letzten Feststoffe bewirkt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

3.1.2 Biologische Verfahren

Bei biologischen Verfahren sollen Schadstoffe mithilfe von mikrobiologischen Prozessen aus dem Abwasser abgetrennt oder in Stoffe übergeführt werden, die möglichst wenige negative Auswirkungen auf die Natur (den Vorfluter) haben. Im Zuge dessen wird versucht möglichst viele der „richtigen“ Mikroorganismen in der Reinigungsanlage zu züchten. Deren Anzahl wird in Biomasse ausgedrückt (GUJER, 2007).

Die Vermehrung dieser Mikroorganismen entspricht dem Wachstum der Biomasse. Für dieses Wachstum werden von den Organismen Nährstoffe aus dem Abwasser aufgenommen und diesem somit entzogen. Umso schneller die Biomasse wächst, umso schneller verläuft die Reinigung. Da sich dieser Prozess proportional zur Anzahl der Mikroorganismen bzw. Biomasse abspielt, ist ein exponentielles Wachstum zu beobachten (GUJER, 2007).

Für die Mikroorganismen müssen geeignete Umweltbedingungen (Milieus) zur Verfügung gestellt werden:

- Aerob: gelöster Sauerstoff verfügbar (für aeroben Abbau von organischer Substanz und Nitrifikation)
- Anoxisch: Sauerstoff nur gebunden in Form wie Nitrat NO_3^- verfügbar (für Denitrifikation)
- Anaerob: Sauerstoff weder gelöst noch gebunden verfügbar (für biologische Phosphorelimination)

Die wichtigsten Prozesse sind der Abbau von organischer Substanz, die Nitrifikation sowie die Denitrifikation. Organische Stoffe werden unter aeroben Bedingungen teilweise zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) mineralisiert und teilweise von den Mikroorganismen aufgenommen, wodurch es zum Wachstum der Biomasse kommt. Bei der Nitrifikation wird Ammonium (NH_4^+), unter Vorhandensein einer großen Menge von gelöstem Sauerstoff (O_2), zu Nitrat (NO_3^-) oxidiert. Heterotrophe Bakterien, welche die organischen Stoffe abbauen, können nicht nitrifizieren, jedoch das angefallene Nitrat in einem anoxischen Milieu zu elementarem Stickstoff (N_2) reduzieren. Dieser wird anschließend an die Atmosphäre abgegeben. Bei diesen Prozessen nehmen die Bakterien auch Nährstoffe wie Phosphor auf, welche in der Biomasse zurückbleiben (GUJER, 2007).

Die biologische Abwasserreinigung kann man grob einteilen in Belebtschlammverfahren (suspendierte Biomasse) und Biofilmverfahren (sessiler Biomasse). Während zur Ersterer Belebungsanlagen und Sequencing Batch Reactor zählen, sind Biofilmverfahren beispielsweise Tropf- oder Tauchkörperanlagen und Pflanzenkläranlagen (TRAUNER, et al., 2006).

3.1.2.1 Belebtschlammverfahren

Das 1914 in England entwickelte Belebtschlammverfahren ist das üblichste Abwasserreinigungsverfahren in den Industrienationen. Dabei wird ein Schlamm gebildet, welcher aus Mikroorganismen besteht, der sogenannte Belebtschlamm. Die darin enthaltenen Mikroorganismen können, unter den richtigen Bedingungen, die vorhergehend beschriebenen Prozesse durchführen (GUJER, 2007). So werden die Selbstreinigungsprozesse, welche unter natürlichen Umständen in Gewässern stattfinden, künstlich nachgebildet. Nachdem sich der Belebtschlamm gebildet hat, wird er absetzbar und sinkt zu Boden (Heinrich und Heinrich, 2008; zit. bei FEIGL, 2018).

Das in Abbildung 2 dargestellte Schema zeigt die notwendigen Elemente einer Belebungsanlage. Nach einer etwaigen Vorklärung wird das Abwasser in ein Belebungsbecken geführt. Hier muss darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Durchmischung von Abwasser und Belebtschlamm stattfindet, um eine Sedimentation zu verhindern und den Bakterienschlamm in dauernden Kontakt mit den Abwasserinhaltsstoffen zu halten. Außerdem braucht es ausreichend verfügbaren Sauerstoff für den mikrobiologischen Abbau organischer Substanz und die Nitrifikation. Durch eine künstliche Belüftung kann meist ebenfalls genügend Turbulenz erzeugt werden, sodass keine zusätzlichen Apparaturen für eine Durchmischung erforderlich sind. Soll eine Denitrifikation stattfinden, ist es erforderlich, dass ein anoxisches Milieu erzeugt wird. Somit kann hier keine Durchmischung mithilfe einer Belüftung bewirkt werden, sondern es bedarf zusätzlicher spezieller, meist langsam umlaufenden Propeller (GUJER, 2007). Es ist dabei darauf zu achten, dass es zu keinen Schlammablagerungen aufgrund hydraulischer Toträume kommt (Ö-NORM B 2502-2, 2003).

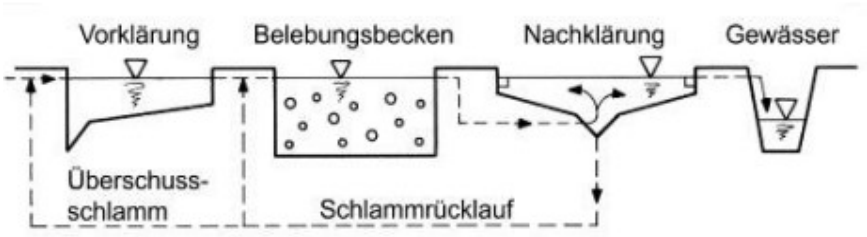


Abbildung 2: Schema einer Belebungsanlage (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013)

Das Gemisch aus Belebtschlamm und Abwasser gelangt anschließend in die Nachklärung. Hier „wandert“ der Schlamm infolge der Gravitation nach unten, wo er eingedickt wird. Ein Teil dieses Sedimentes wird in das Belebungsbecken zurückgeführt, um dort die notwendige Schlammkonzentration, welche für die entsprechende Reinigung des Abwassers notwendig ist, aufrechtzuerhalten. Diese Rückführung findet in etwa 20 - 50 Mal statt. Bei jedem Durchlauf wächst die Biomasse entsprechend dem Abbau der Schmutzstoffe, weswegen der nicht rückgeführte Schlamm dem Kreislauf, als sogenannter Überschussschlamm entnommen und der Schlammbehandlung zugeführt wird. Das nun vom Belebtschlamm, „befreite“ Wasser wird über den Überlauf dekantiert und entweder einer weiteren Reinigungsstufe zugeführt oder in den Vorfluter abgeleitet (GUJER, 2007).

Das notwendige aerobe Schlammalter bestimmt wie groß die Belebungsanlage geplant werden muss. Das Schlammalter ist dabei abhängig von den Reinigungsanforderungen (also ob mit oder ohne Denitrifikation) und davon, ob simultan eine aerobe Stabilisierung des Schlammes stattfinden soll (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013). In Kombination mit einer aeroben Schlammstabilisierung ist ein Schlammalter von mindestens 20 Tagen gefordert. Soll darüber hinaus ebenfalls eine Denitrifikation durchgeführt werden erhöht sich das Mindestschlammalter auf 25 Tage (DWA, 2016).

Die Größe von Belebungsbecken und Nachklärung wird überdies vom Absetzverhalten des belebten Schlammes bestimmt. Die Eigenschaften des Belebtschlammes beeinflussen maßgeblich welche Ausführung der Belebungsanlage die Geeignete ist (DWA, 2016).

In Abbildung 3 sind unterschiedliche Ausführungen von Belebungsbecken schematisch dargestellt. So kann es, je nach Anforderungen notwendig sein, ein großes Mischbecken für die Belebung zu bauen oder mehrere kleine, nacheinander angeordnete Mischbecken in Form einer Mischbeckenkaskade. Diese Becken können dabei pfropfenförmig durchströmt werden oder als Umlaufbecken ausgeführt sein. Um eine ausreichende Betriebssicherheit zu

gewährleisten, ist es allenfalls ratsam mehrere Straßen parallel anzuordnen. Das Ziel ist es, die wirtschaftlich optimale und betriebssicherste Variante zu wählen (SIG, 2015)

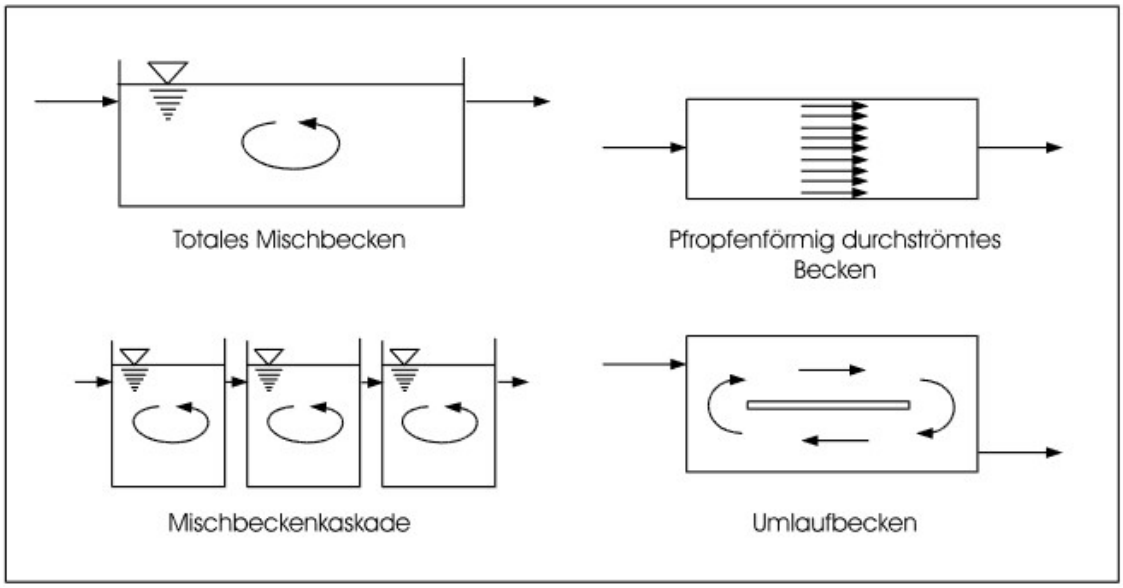


Abbildung 3: Bauformen von Belebungsverfahren (SIG, 2015)

Eine biologische Elimination von Phosphor kann nur unter einem anaeroben Milieu stattfinden. Falls solch eine biologische Phosphorelimination angestrebt wird, muss deswegen dem Belebungsbecken ein anaerobes Mischbecken vorgeschaltet werden. Dafür ist allerdings ein niedriges Schlammalter erforderlich, weswegen die biologische Phosphorelimination in Kombination mit dem von der Nitrifikation gefordertem hohem Schlammalter, an Grenzen stößt. In diesen Fällen kann eine zusätzliche Fällmitteldosierung erforderlich sein (DWA, 2016).

Mittlerweile ist basierend auf dem Belebtschlammverfahren eine Vielzahl an unterschiedlichen Konzepten entwickelt worden, welche in unterschiedlichen Varianten, je nach Fragestellung, umgesetzt werden kann (GUJER, 2007).

Belebungsanlagen im Durchlaufbetrieb

Die übliche Betriebsform einer Belebungsanlage ist die Belebungsanlage im Durchlaufbetrieb. In Abbildung 4 sind Ausführungsmöglichkeiten dieser Anlagenform zu finden.

Bei der ersten Variante ist ein unbelüftetes Becken vor dem Belebungsbecken angeordnet, in welchem ein anoxisches Milieu herrscht und somit die Denitrifikation stattfinden kann. Die Rezirkulation ist auf ein notwendiges Maß zu beschränken, da sonst ein Eintrag von gelöstem Sauerstoff droht. Es können auch mehrere Belebungsbecken, jedes mit eigener vorgeschalteter Denitrifikation, kaskadenförmig hintereinander angeordnet werden.

Vor dem Denitrifikationsbecken kann zusätzlich ein Becken für die biologische Phosphorelimination angeordnet werden, in welchem anaerobe Bedingungen vorzufinden sind (DWA, 2016).

Falls das Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis im Abwasser sehr gering ist, kann es erforderlich sein, dem Abwasser extern Kohlenstoff zuzuführen. In diesem Fall ist das Denitrifikationsbecken der Belebung nachgeschaltet (DWA, 2016).

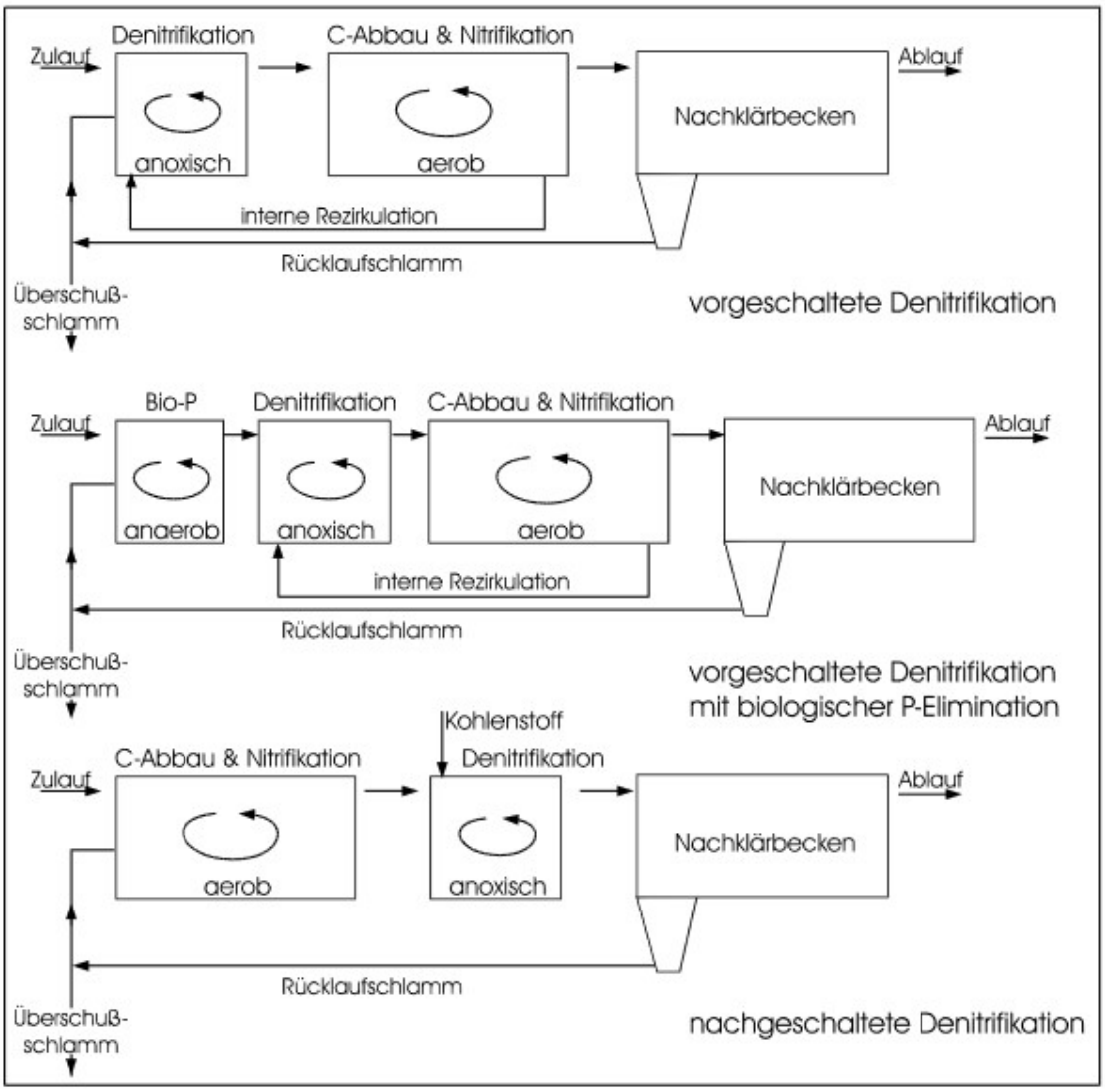


Abbildung 4: Verfahrensvarianten von Belebungsanlagen in Durchlaufbetrieb (SIG, 2015)

In Abbildung 5 ist der Grundriss einer alternativen Bauweise einer Belebungsanlage im Durchlaufbetrieb, dargestellt. Bei dieser Variante wird die Denitrifikation nicht in einem separaten Becken durchgeführt, sondern es werden aerobe und anoxische Zonen erzeugt, die das Wasser durchfließt und sich somit abwechselnd in Denitrifikation- und Nitrifikationszonen befindet. Hierfür ist ein Umlaufbecken erforderlich (DWA, 2016).

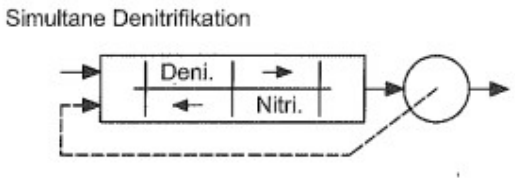


Abbildung 5: Darstellung einer simultanen Denitrifikation in einem Umlaufbecken (DWA, 2016)

Sequencing Batch Reactor

Eine Sonderform des Belebungsverfahrens ist die Anlage mit einem Sequencing Batch Reactor oder SBR-Anlage. Das sind Anlagen, welche im Aufstaubetrieb betrieben werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

Es handelt sich dabei um eine verhältnismäßig einfache Variante. Im Gegensatz zu den Verfahren im Durchlaufbetrieb, bei denen die unterschiedlichen Milieus räumlich voneinander getrennt sind, finden die Prozesse im SBR zeitlich versetzt, in einem einzigen Becken statt. Der SBR-Reaktor wird dabei sowohl als Belebungsbecken als auch als Sedimentationsbecken genutzt. Durch die Abfolge der einzelnen Prozessphasen werden beim SBR-Betrieb die gleichen Reaktionsbedingungen geschaffen, wie beim Verfahren im Durchlaufbetrieb (DWA, 2009).

In Abbildung 6 wird ein einfacher Ablauf des Betriebes einer SBR-Anlage schematisch beschrieben. Zunächst wird der Reaktor mit Abwasser beschickt. Während der Reaktionsphase wird mittels Durchmischung und Belüftung das passende Milieu eingestellt. Anschließend kommt es zum Absetzen des Belebtschlammes und das gereinigte Abwasser kann entnommen werden. Dieser Ablauf kann einmal oder mehrmals pro Tag wiederholt werden. Der anfallende Schlamm muss in regelmäßigen Abständen (z. B. halbjährlich) entfernt werden (Ö-NORM B 2502-2, 2003).

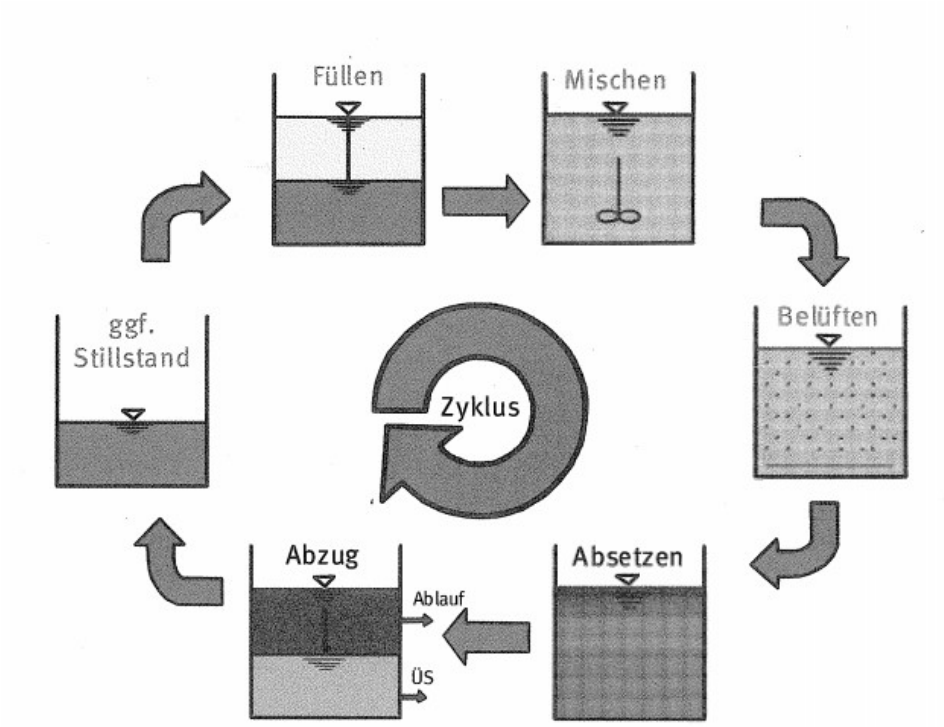


Abbildung 6: Verfahrenszyklus einer SBR-Anlage (DWA, 2009)

Vorteil dieser Methode ist, dass durch den diskontinuierlichen Betrieb eine einheitliche Verweilzeit des Abwassers je Prozessphase sichergestellt werden kann. Es handelt sich um die älteste Variante des Belebungsverfahrens und die dabei eingesetzten Reaktoren sind meist einfach aufgebaut. Sie bieten sich außerdem bei der Nachrüstung von ausschließlich mechanischen Anlagen an. Aus diesen Gründen wird ein solches Verfahren oft bei Kleinanlagen gewählt (HEINRICH UND HEINRICH, 2008; zit. bei FEIGL, 2018).

Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulturm)

An sich handelt es sich bei Belebungsanlagen mit einer anaeroben Schlammstabilisierung grundsätzlich nicht um eine eigene Abwasserreinigungsart, dennoch sollten sie im Zuge dieser Arbeit getrennt betrachtet werden, da diese Art der Klärschlammbehandlung die Möglichkeiten der nachfolgenden Klärschlammbewirtschaftung maßgeblich beeinflussen kann.

Wie bereits vorhergehend erwähnt, kann eine Stabilisierung des Klärschlammes durch ein ausreichendes Schlammalter erreicht werden. Man spricht hier von einer Langzeitbelüftung, wegen der langen Aufenthaltszeit des Belebtschlammes in aeroben Bedingungen. Die biologische Aktivität des Schlammes aus diesen Anlagen ist sehr niedrig, da die meisten organischen Stoffe bereits abgebaut worden sind. Somit gilt er als stabilisiert (GUJER, 2007).

Es ist allerdings auch möglich den anfallenden Überschussschlamm separat in einem Reaktor zu stabilisieren. In Abbildung 7 ist ein typischer Aufbau eines solchen Verfahrens schematisch dargestellt. Hier wird dem Belebtschlamm mit einer Eindickung zunächst Wasser entzogen und anschließend mit dem Primärschlamm aus der Vorklärung, dem anaeroben Faulbehälter zugeführt. (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

Das notwendige Aufheizen des eingedickten Schlammes kann mit der Nutzung von Biogas, welches während der anaeroben Stabilisierung anfällt, durchgeführt werden. Das Biogas kann außerdem genutzt werden, um elektrische Energie zu produzieren (GUJER, 2007).

Nachdem der Schlamm ausgefault ist, kommt er in einen Nachfaulraum, wo die biologischen Prozesse aufgrund der reduzierten Temperaturen gestoppt werden (GUJER, 2007).

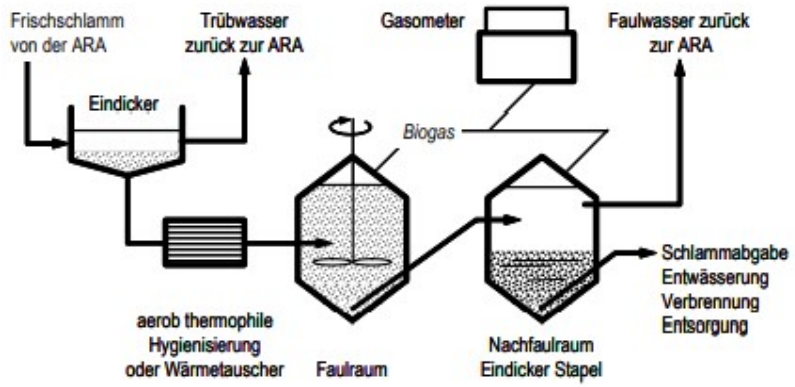


Abbildung 7: Typischer Verfahrensaufbau einer mesophilen Schlammfaulanlage (GUJER, 2007)

In Unterkapitel 3.2.2 wird noch weiter auf die möglichen Ausführungen von Faultürmen eingegangen.

Es handelt sich hierbei um das mengenmäßig wichtigste Stabilisierungsverfahren, da es nahezu auf allen großen Anlagen eingesetzt wird (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

3.1.2.2 Biofilmverfahren

Die Biofilmverfahren sind den Reinigungsprinzipien von kleinen Bächen nachempfunden. Im Gegensatz zu den freien Mikroorganismen, die den Schlamm der Belebtschlammverfahren bilden, wächst die Biomasse bei den Biofilmverfahren an einer Fläche als dünner Film auf, ähnlich wie in der Natur das Benthos auf Sedimenten, Steinen oder Blättern festsitzt. Sobald

das Abwasser über diesen hinwegrinnt findet eine Reinigung statt, indem Schmutzstoffe von den Organismen aufgenommen werden (GUJER, 2007).

Auch bei diesen gibt es unterschiedliche Ausführungsarten:

Tropfkörperverfahren

Das Tropfkörperverfahren ist eine der ältesten Methoden eine biologische Abwasserreinigung künstlich durchzuführen. Der meist zylindrische Reaktor beinhaltet etwa faustgroße Steine, welche dem Biofilm eine Oberfläche für sein Wachstum bieten. Wie in Abbildung 8 und Abbildung 9 zu sehen, muss das Abwasser vorgereinigt werden, bevor es mit einer Pumpe nach oben befördert und dann gleichmäßig auf die Oberfläche des Tropfkörpers verteilt werden kann. Während das Abwasser die Füllsteine hinabrinnt, wird es durch den dort wachsenden Biofilm gereinigt. Eine Versorgung mit Sauerstoff ist gegeben, da Luft in den Zwischenräumen des Füllmaterials zirkulieren kann (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

Nach und nach wächst der Biofilm weiter heran, bis er in Form kleiner Flocken ausgeschwemmt und anschließend in der Nachklärung vom Wasser abgetrennt wird. Der sich dort ansammelnde biologische Schlamm wird zur Vorklärung gepumpt, wo er eingedickt wird. Es kann notwendig sein, den Ablauf des Tropfkörpers zu rezirkulieren, um die Schwemmkraft des durchfließenden Wassers zu erhöhen und die Schmutzstofffracht zu verringern (GUJER, 2007).

In modernen Tropfkörperanlagen werden anstelle der Steine Kunststoffelemente eingesetzt, die sich dadurch auszeichnen, dass sie eine größere bewachsene Oberfläche pro Volumen bieten (GUJER, 2007). Sie können heutzutage als eigene einstufige Abwasserreinigungsanlagen betrieben oder alternativ als zweite Reinigungsstufe zur Nitrifikation eingesetzt werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

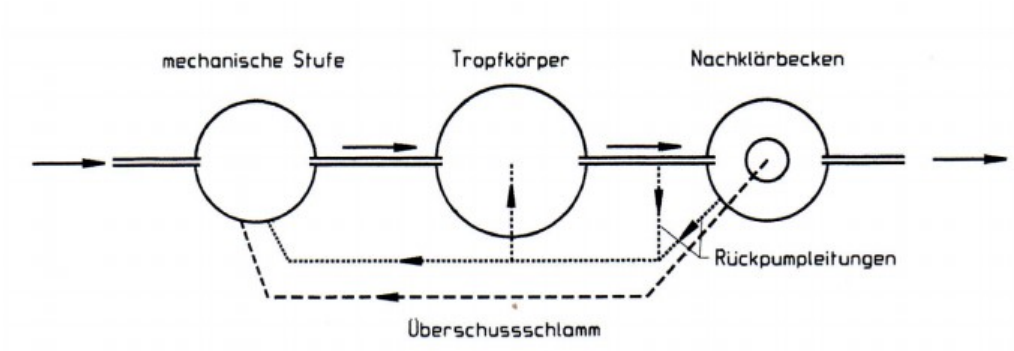


Abbildung 8: schematische Draufsicht einer Tropfkörperanlage (Ö-NORM B 2502-1, 2012)

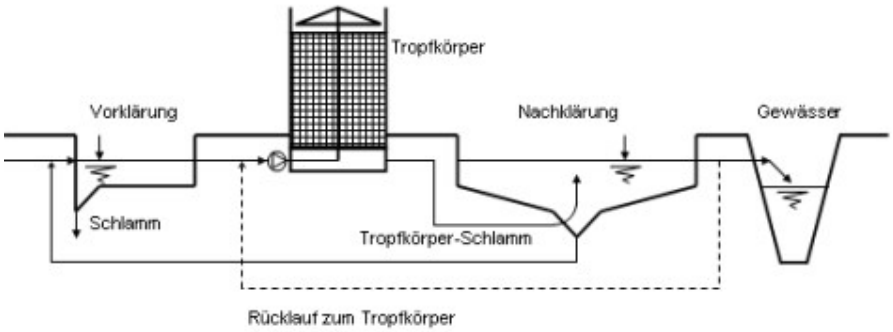


Abbildung 9: Fließschema einer Tropfköperanlage (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013)

Es muss beim Einsatz eines Tropfkörpers darauf geachtet werden, dass dieser nicht durch Frost beeinträchtigt wird. Außerdem muss ein Austrocknen mithilfe einer geeigneten Beschickungsintervalls verhindert werden (Ö-NORM B 2502-1, 2012).

Tauchkörperverfahren

Als Weiterentwicklung des Tropfkörpers, bestehen Tauchkörper aus vielen hintereinander aufgereihten Scheiben. Diese sind, wie in Abbildung 10 ersichtlich, ungefähr bis zur Hälfte in Wannen, durch welche das zu reinigende Abwasser strömt, eingetaucht. Diese Scheiben können einen Durchmesser von über drei Metern aufweisen. Auf ihnen wächst ein Biofilm, welcher für die Reinigung des Abwassers zuständig ist. Somit ähnelt das Prinzip jenem des Tropfkörpers, allerdings rotieren die Scheiben um ihre Achse, wodurch der Biofilm abwechselnd mit den Schmutzstoffen des Abwassers und dem Sauerstoff in der Luft in Kontakt kommt. So soll sichergestellt werden, dass die Mikroorganismen mit genügend Sauerstoff für die Stoffwechselprozesse versorgt sind (GUJER, 2007).

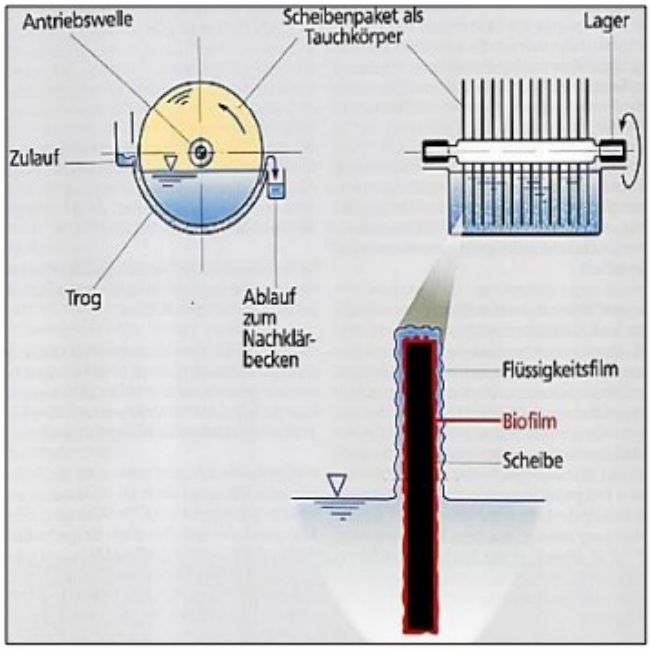


Abbildung 10: Schema der Funktionsweise eines Tauchkörpers (HEINRICH UND HEINRICH, 2008; zit. bei FEIGL, 2018)

Wie in Abbildung 11 dargestellt, ist auch bei den Tauchkörperanlagen zunächst eine Vorreinigung des Abwassers notwendig, um Ablagerungen zu verhindern. Der Schlamm in der Wanne bleibt durch die Rotation der Tauchkörper stetig in Bewegung und setzt sich somit nicht am Boden ab (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013). Dieser wird erst in der Nachklärung sedimentiert und anschließend, zusammen mit dem Primärschlamm, in der Vorklärung eingedickt (GUJER, 2007).

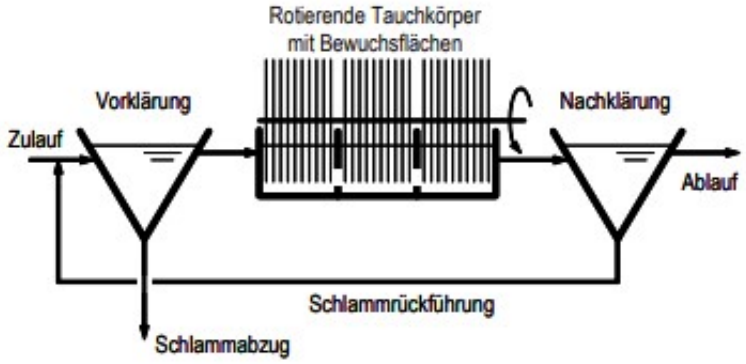


Abbildung 11: Schema einer Tauchkörperanlage (GUJER, 2007)

Wegen der großen erforderlichen Bewuchsfläche pro Einwohner, sind diese Verfahren vorwiegend bei kleinen Kläranlagen im Einsatz. Um die Betriebssicherheit zu garantieren, werden meist mehrere Walzen in abgetrennten Wannen betrieben (GUJER, 2007).

Nachteil dieser Verfahrensart ist, dass Belastungsspitzen, wegen der geringen Aufenthaltszeit des Abwassers in der Wanne, schlecht ausgeglichen werden können (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

Bepflanzter Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen)

Als Pflanzenkläranlage versteht man in der Regel eine Abwasserreinigungsanlage, die ein abgedichtetes, mit Bodenmaterial gefülltes und bepflanztes Becken als Hauptreinigungsstufe aufweist. In diesem, als Bodenfilter bezeichneten, Bodenkörper sind Mikroorganismen angesiedelt, die den Abbau der Abwasserschmutzstoffe vornehmen. Die Pflanzen selbst haben hauptsächlich physikalische Effekte. So schaffen sie mit ihren Wurzeln Porenraum, welcher die Durchlässigkeit für Wasser und Luft verbessert (TRAUNER, et al., 2006). Darüber hinaus bieten ihre Wurzeln eine Oberfläche für Mikroorganismen und durch die Vegetationsbedeckung wird der Bodenkörper vor Erosion geschützt. Der Bodenkörper selbst besteht üblicherweise aus einem abgestuften Sand-Kies-Gemisch, welches durch Filtration, Adsorption und Ionenaustausch einen zusätzlichen Beitrag zur Abwasserreinigung leistet (Ö-NORM B 2505, 2005).

Der Bodenkörper einer Pflanzenkläranlage kann entweder horizontal oder vertikal durchströmt werden. Da bei einem Horizontalfilter zwar ein Abbau der Kohlenstoffverbindungen gelingt, jedoch eine vollständige Nitrifikation nicht zu beobachten ist, entsprechen in Österreich ausschließlich vertikal durchströmte und intermittierend beschickte Bodenfilter dem Stand der Technik. Mit dieser Art des Verfahrens ist eine ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet (Ö-NORM B 2505, 2005).

Bei solchen Beeten wird das Abwasser in abgestimmten Intervallen von oben flächendecken und möglichst schwallartig auf den Bodenkörper aufgebracht. Beim Versickern wird genügend

Sauerstoff in die Bodenporen miteingebracht, wodurch dieser für die Nitrifikation zur Verfügung steht. Mithilfe eines nachgeschalteten Horizontalfilters kann eine anschließende Denitrifikation möglich sein (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

In Abbildung 12 ist der Aufbau einer solchen Anlage abgebildet. Zunächst muss das anfallende Abwasser unbedingt in einer Vorklärung von Grobstoffen befreit werden. Diese könnten ansonsten die Bodenporen verstopfen und so die Durchlässigkeit des Bodenfilters gefährden. Hierfür eignen sich beispielsweise Absetzteiche oder Mehrkammersysteme. Von dort wird das Abwasser intermittierend zum Bodenfilter gepumpt und mit möglichst gleichmäßig verteilten Ausbringungsleitungen aufgebracht. Das während dem Durchsickern gereinigte Abwasser wird mithilfe einer Drainageleitung aus dem Bodenkörper geleitet (Ö-NORM B 2505, 2005).

Um eine Intervallbeschickung zu gewährleisten muss das zu reinigende Abwasser entsprechend zwischengespeichert werden können. Hierfür dient ebenfalls die Vorklärung (Ö-NORM B 2505, 2005).

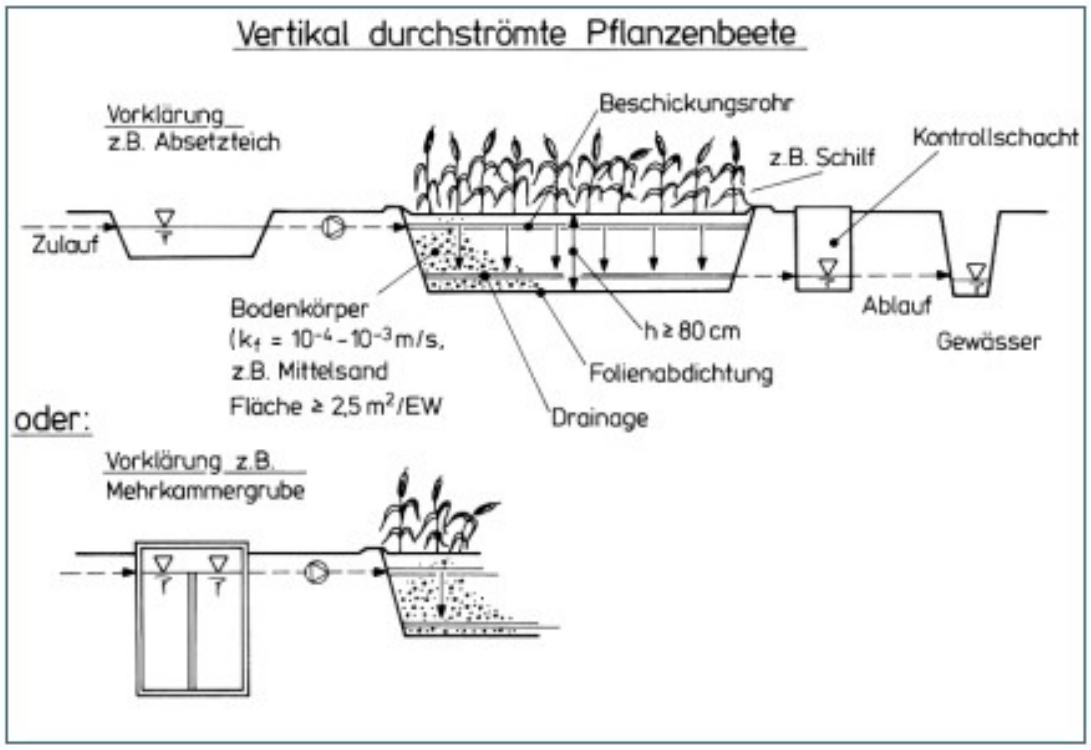


Abbildung 12: Schema eines vertikal durchströmten Bodenfilters (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013)

Die Bemessung von Pflanzenkläranlagen erfolgt nach Beetfläche pro Einwohner. Bei vertikal durchströmten Bodenfilteranlagen ist eine wirksame Fläche von mindestens 4 m² pro EW_{60} erforderlich. Durch einer Rezirkulation des gereinigten Abwassers kann die Reinigungsleistung verbessert werden (TRAUNER, et al., 2006).

Bepflanzte Bodenfilter werden als eigenständige Kläranlagen zum Großteil im ländlichen Raum, mit geringen Ausbaugrößen eingesetzt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013). Alternativ bieten sie sich für eine Nachreinigung an, welche einer Belebtschlammanlage nachgeschaltet ist (TRAUNER, et al., 2006).

3.2 Anfall, Behandlung und Verwertung von Klärschlamm

„Der Klärschlamm ist ein Spiegel unserer Aktivitäten. Wir finden darin sowohl die harmlosen als auch die bedenklichen Stoffe wieder, die in der Abwasserreinigung dem Abwasser entzogen wurden: Biomasse, Nährstoffe, Schwermetalle, naturfremde organische Verbindungen, hygienisch bedenkliche Keime, etc. Die Aufgabe der Schlammbehandlung ist, diese Schlämme in einen Zustand zu bringen, in dem entweder die Inhaltsstoffe in der Landwirtschaft genutzt oder die Reststoffe in einer Deponie endgelagert werden können. Dazu steht uns heute ein breites Spektrum von mechanischen, physikalischen, biologischen und thermischen Verfahren zur Verfügung.“ (GUJER, 2007, S. 391)

Klärschlamm dient somit als Senke für Schadstoffe (wie Schwermetallen, pathogene Organismen und hormonell wirksame Substanzen) in Abwasserreinigungsanlagen. Andererseits enthält er auch Nährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel und Kalk, welche von Pflanzen für das Wachstum benötigt werden (OLIVIA, et al., 2009). Er macht in etwa 1 % des Volumens des behandelten Abwasserdurchflusses aus (IMHOFF, et al., 2007).

3.2.1 Anfall von Klärschlamm

Klärschlamm fällt an, wenn Mikroorganismen Abwasserinhaltstoffe abbauen und dabei wachsen. Dieses Wachstum der Biomasse findet stetig während der Abwasserreinigung statt, sodass der Kläranlage entweder kontinuierlich oder in regelmäßigen Abständen Biomasse in Form von Überschussschlamm entzogen werden muss (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013).

Bei Imhoff et al. (2007) wird der spezifische Klärschlammanfall wie folgt angegeben:

- Primärschlamm: 40 [g/(E*d)]
- Ausgefaulter Schlamm 50 [g/(E*d)]
- Aerob stabilisierter Schlamm 55 [g/(E*d)]

Dabei ist zu beachten, dass es sich um einen Richtwert handelt und hier teilweise, je nach Situation, Abänderungen notwendig sein können. So wird darauf hingewiesen, dass diese Werte stark davon abhängen, ob es sich beim Einzugsgebiet um einen ländlichen oder städtischen Raum handelt und ob die Abwasserbeseitigungsanlagen als Trenn- oder Mischsystem ausgeführt sind. Zum Beispiel sind bei urbanen Räumen mit hohem Anteil an gewerblichen Abwässern Zuschläge zu berücksichtigen (IMHOFF, et al., 2007).

Von Lindtner (2008) wird überdies ein Normalbereich für den spezifischen Klärschlammanfall pro Einwohnerwert von 35 – 50 [g TS/(EW_{60}*d)] genannt, welcher sich mit den von Imhoff (2007) genannten Werten gut deckt.

Das Vermeiden des Anfalles von Klärschlamm, gemäß der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie (siehe Unterkapitel 3.3), kann an sich nicht angestrebt werden, da in diesem, wie vorhergehend bereits beschrieben, die Schadstoffe aus dem Abwasser akkumuliert werden. In Bezug auf Klärschlamm können Maßnahmen als Abfallvermeidung verstanden werden, die den Schadstoffeintrag in das Abwasser reduzieren und dadurch den Umgang mit dem anfallenden Klärschlamm erleichtern. So haben beispielsweise viele Schwermetalle wie Blei, Kupfer und Zink künstliche Oberflächen als Emissionsquelle. Durch die Verwendung anderer Materialien (z. B. Ersetzen von Bleirohren oder Verwendung von nicht zinkhaltigen Dachmaterialien) kann ein Eintrag dieser Schwermetalle in das Abwasser reduziert werden (OLIVIA, et al., 2009).

Im Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020 wird der österreichweite Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen im Jahr 2017 mit rund 238.000 Tonnen Trockensubstanz beziffert. Diese werden unterschiedlichen Verwertungspfaden zugeführt (ÖWAV, 2019).

Abbildung 13 stellt mögliche Pfade beim Umgang mit anfallenden Klärschlammmengen dar. Einer Behandlung (z. B. Eindickung, Entwässerung und Trocknung) folgt eine Verwertung (z. B. Landwirtschaft, Kompostierung oder Verbrennung), bei der ein möglicher Nutzen aus dem Klärschlamm gezogen wird. Bei der Verbrennung kann es anschließend erforderlich sein, die zurückbleibende Asche zu entsorgen (Deponierung), was aus heutiger Sicht lediglich als Zwischenlagerung, welcher eine spätere Verwertung folgt, zu verstehen ist.

Es wird erkennbar, dass eine Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft sowohl von ausschließlich eingedickten als auch von entwässerten oder getrockneten Schlämmen möglich ist. Für die restlichen Verwertungspfade ist zumindest eine Behandlung in Form einer Entwässerung des hygienisierten Klärschlammes notwendig.

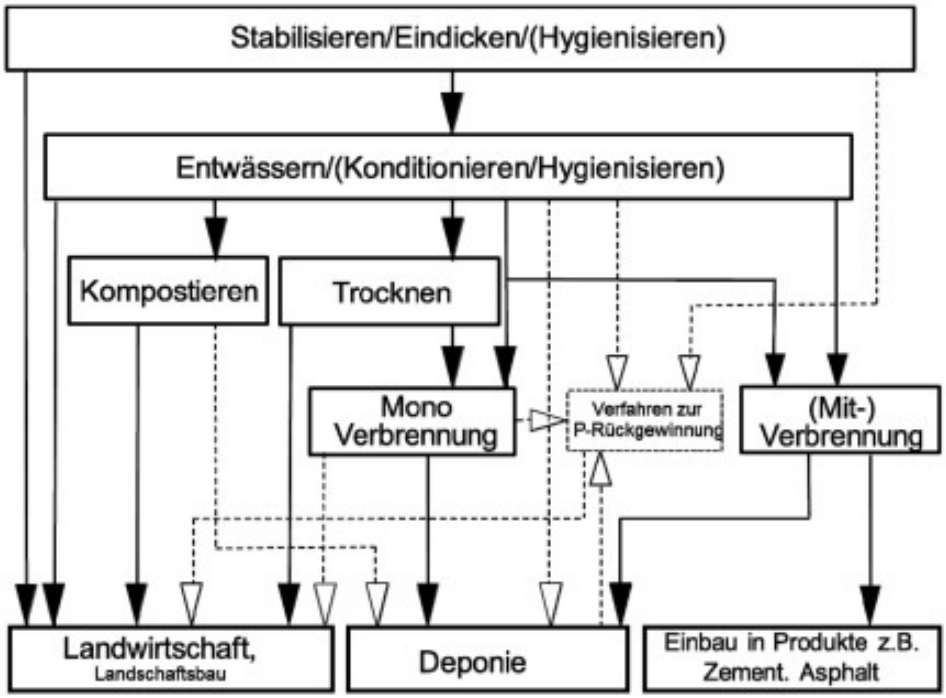


Abbildung 13: Mögliche Kombinationen von (Vor-)Behandlungs-, Verwertungs- und Entsorgungsschritten für Klärschlamm (ÖWAV, 2014)

Anschließend werden die Behandlung und Verwertung insbesondere in Bezug auf die in Oberösterreich eingesetzten Verfahren kurz vorgestellt.

3.2.2 Behandlung

Da Klärschlamm eine hohe Konzentration von abbaubaren Stoffen enthält, die dementsprechend zu viel biologischer Aktivität führen, kommt es zu anaeroben Bedingungen, innerhalb des aus dem Reinigungsprozess abgezogenen Klärschlamms. Man spricht hier von instabilem Klärschlamm, in welchem sich flüchtige, stark riechende organische Säuren bilden.

Ziele der Klärschlammbehandlung sind somit (OLIVIA, et al., 2009):

- Das Klärschlammvolumen zu reduzieren
- Eine Hygienisierung des Schlammes, um das Einbringen von Keimen in die Umwelt zu vermeiden
- Überführung in eine Form, in der er gelagert und in die Umwelt zurückgeführt werden kann

Für die Behandlung stehen unterschiedliche Verfahren zur Verfügung:

Klärschlammstabilisierung

Wie in Unterkapitel 3.1 (Technologien der Abwasserreinigung) bereits beschrieben, ist eine Stabilisierung des Klärschlammes notwendig, um die darin ablaufenden biologischen Prozesse unter kontrollieren Bedingungen durchzuführen. So können schnell zersetzbare organische Substanzen nicht später zu Geruchsproblemen führen (GUJER, 2007).

Die bereits beschriebene anaerobe Schlammfaulung in einem mesophilen (Temperaturen zwischen 15 und 45 Grad°) Faulturm bewirkt, dass mikrobiologische Prozesse um ein Vielfaches schneller ablaufen als unter normalen Bedingungen. Außerdem hat sie den Vorteil, dass mit dem entstehendem Biogas Energie erzeugt werden kann (GUJER, 2007).

Bei den eingesetzten Verfahren kann unterschieden werden zwischen (DWA, 2014a):

- Offene oder geschlossene Faulung von flüssigem Schlamm
- Unbeheizte oder beheizte Faulung von flüssigem Schlamm
- Beheizte oder unbeheizte Faulung von entwässertem Schlamm

Da das bei der Faulung entstehende Methan ein starkes Treibhausgas ist und man deswegen die freie Emission von diesem verhindern muss, ist die Ausführung als offener Faulbehälter nicht mehr üblich. Bei der Faulung ist Wärme ein entscheidender Faktor, der die ablaufenden Prozesse maßgeblich beschleunigen kann, wodurch das notwendige Fassungsvolumen des Behälters reduziert wird. Aus diesem Grund sind unbeheizte Faulbehälter nur in warmen Klimazonen sinnvoll. Wegen dem langsamen Wärme- und Stofftransport innerhalb von entwässertem Klärschlamm, sind Faulbehälter für entwässerten Klärschlamm derzeit noch nicht üblich, obwohl dieser nur einen Bruchteil des Volumens einnimmt und derartige Reaktoren bereits bei der Stabilisierung biogener Abfälle zum Einsatz kommen (DWA, 2014a).

Alternativ kann mit einem ausreichendem Schlammalter (20 - 25 d) eine aerobe Stabilisierung des Schlamms während der Abwasserreinigungsprozesse, innerhalb des Belebungsbeckens bewirkt werden (DWA, 2016).

Es gibt darüber hinaus auch die Möglichkeit die Stabilisierung des konzentrierten Schlammes in einem eigenen Reaktor aerob mesophil durchzuführen. Die Aufenthaltszeit ist hier ebenfalls mit 25 Tagen angegeben (GUJER, 2007). Das Wachstum wird hierbei so gering, dass die organischen Schlammanteile aerob stabilisiert werden (IMHOFF, et al., 2007). Es handelt sich dabei um ein recht einfaches Verfahren, unter Umständen kann aber der Eintrag von viel Sauerstoff notwendig sein (GUJER, 2007).

Eine Klärschlamm-Desintegration kann bei der Durchführung der Stabilisierung behilflich sein, da sie zum einen die Schlammmasse verringert und zum anderen Schlammeigenschaften, wie das Absetzverhalten oder das Schäumen von Blähschlämmen, verbessert. Man versteht darunter eine Zerkleinerung der Klärschlämme durch physikalische, chemische oder biologische Verfahren (MÜLLER, 2003).

Klärschlammentwässerung und -trocknung

Primäres Ziel bei der Klärschlammentwässerung ist die Reduktion des Klärschlammvolumens (GUJER, 2007). Das hat für die Lagerung und den Transport offensichtliche Vorteile. Allerdings hat die Trennung der Trockenmasse vom Wasseranteil heutzutage auch den Zweck ein heizwertreiches Produkt zu erzeugen (MELSA, 1998; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

In den meisten Fällen ist die Entwässerung als Behandlung bloß ein Zwischenschritt, dem eine weitere Behandlungs- oder Verwertungsmethode folgt. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten diese durchzuführen. Mithilfe von Konditionierungsmitteln, welche die Bildung von Flocken im Klärschlamm fördern, wird der Schlamm auf die Entwässerung vorbereitet. Beispiele für maschinelle Entwässerungen sind der Dekanter, welcher die flüssige Phase des Klärschlammes mithilfe von Zentrifugen von den festen Bestandteilen abtrennt, oder die Filterpresse, die mit Druck das Wasser aus dem Klärschlamm presst (GUJER, 2007).

Bei kleinen Kläranlagen, auf welchen nur eine geringe Menge Schlamm anfällt, kann die Anschaffung einer eigenen Entwässerungsanlage betrieblich oder wirtschaftlich nicht sinnvoll sein. In diesem Fall ist der Einsatz von mobilen Schlammentwässerungsanlagen eine passende Lösung. Diese können entweder von einem externen Unternehmen angemietet oder von einem Zusammenschluss mehrerer Kläranlagen angeschafft werden. Es ist darauf zu achten, dass eine ausreichende Stromversorgung sichergestellt wird. Außerdem kann der Einsatz dieser mobiler Entwässerungsaggregate Einfluss auf die Abwasserreinigung haben, da es während der Entwässerung zu Stoßbelastungen mit Schlammwasser kommt. Es kann erforderlich sein, das entwässerte Schlammwasser zwischenzuspeichern (DWA, 2013).

Vor allem bei kleinen Anlagen eignet sich das extensive Trocknungsverfahren mithilfe eines Trockenbeetes. Der Schlamm wird dabei auf einer Filterschicht aus Sand ausgebracht und dort getrocknet, während er Wasser an das Sandbett abgibt, welches dort über eine Drainage abgeleitet wird (GUJER, 2007).

Beim Einsatz dieser Entwässerungsmethoden sind, auch mit der Verwendung von Konditionierungsmitteln, bestenfalls 45 % Trockensubstanzgehalt erreichbar. Um den Anteil der Trockensubstanz weiter zu erhöhen, kann darüber hinaus eine Trocknung durchgeführt werden. Dadurch ist es möglich den Klärschlamm auf 90 %Trockenmasse zu entwässern. Der Heizwert dieses Klärschlammes liegt bei 8.000 - 10.000 kJ/kg und ist damit dem von Braunkohle ähnlich (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007).

Man unterscheidet zwischen der Teil- und der Volltrocknung. Eine Teiltrocknung liegt vor, wenn der Trockensubstanzgehalt zwischen 30 und 85 % liegt. Liegt der Anteil an Trockenrückstand über diesen 85 %, dann spricht man von vollgetrocknetem Klärschlamm. Nach einer Volltrocknung ist er stabil und kann problemlos gelagert und transportiert werden (DWA, 2019).

Für eine weitergehende Verwertung des Klärschlammes in einer Verbrennung sind unterschiedliche Trockensubstanzgehalte notwendig. Während Wirbelschichtöfen in der Regel mit einer thermischen Teiltrocknung ausgestatten sind und deshalb teilweise nur Trockensubstanzgehalte von 30 % fordern, werden 55 % für eine Rostverbrennung. Bei der thermischen Verwertung in einem Zementwerk sind sogar Trockensubstanzgehalte von über 90 % gefordert (DWA, 2019).

In Abbildung 14: sind die üblichen Verfahren zur Klärschlammtrocknung dargestellt. Je nach verfügbarer Prozesswärme lässt sich einteilen in:

- **Konvektionstrocknung:**

  Der Wärmeträger ist das Trocknungsgas. Diese Wärme wird dem Trocknungsgut (Klärschlamm) abgegeben, welcher Wasserdampf freisetzt. Dieser Wasserdampf wird anschließend vom Trocknungsgas aufgenommen und abtransportiert (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007).

- **Kontakttrocknung:**

  Über eine Kontaktfläche wird dem Klärschlamm Wärme übertragen. Der Wärmeträger selbst hat somit keinen Kontakt zum Klärschlamm. Dabei ist eine stetige Durchmischung des Trockengutes notwendig. Der abgegebene Wasserdampf wird mit einem Luftzug abtransportiert (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007).

- **Strahlungstrocknung:**

  Wärme wird mittels Infrarotlicht oder Elektromagnetismus direkt auf den Klärschlamm übertragen. Der durch die Erwärmung entstehende Wasserdampf wird mit der Leckluft abtransportiert (SCHREFF & HARBIG, 2007; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

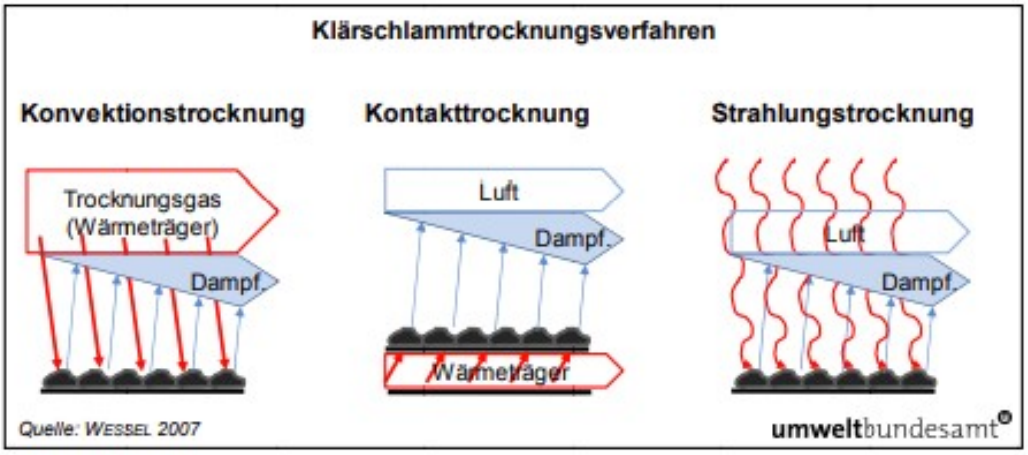


Abbildung 14: Verfahren zur Klärschlammtrocknung (WESSEL, 2007; zit. bei OLIVIA, et al., 2009)

Eine spezielle Form der Strahlungstrocknung ist die solare Trocknung. Hier wird der Klärschlamm in einem Glashaus gelagert und dort durch die Sonneneinstrahlung erwärmt. Das verdunstende Wasser wird an die Außenluft abgegeben. Da so nur geringere Temperaturen erreicht werden können, ist für die Trocknung mehr Zeit (durchschnittlich 10 Tage) notwendig. Deswegen muss die Trocknungsanlage entsprechend größer dimensioniert werden. Durch regelmäßiges Wenden des Klärschlammes kann der Vorgang beschleunigt werden (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2007).

Die Apparate zum Trocknen sind ein erheblicher Kostenfaktor und kommen somit nur bei größeren Kläranlagen zum Einsatz. Der getrocknete Schlamm ist danach hygienisiert und kann mit seinem hohen Trockensubstanzgehalt längere Zeit gestapelt werden. Er kann anschließend einer weiteren Verwertung, wie der landwirtschaftlichen oder der thermischen Verwertung, zugeführt werden (GUJER, 2007).

Behandlung in einer mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA)

In Abbildung 15 ist der schematische Aufbau einer MBA dargestellt. Diese dient prinzipiell der Vorbehandlung von Abfällen. Klärschlamm kann dafür anderen Siedlungsabfällen, aber nur bis zu einem maximalen Anteil von einem Drittel, beigemischt werden (OLIVIA, et al., 2009).

Primäres Ziel der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung ist die zu deponierende Materialmenge zu minimieren. Nach einer Zerkleinerung werden jene Stoffe durch Siebung in Fraktionen unterteilt. Jene Stoffe, die eine biologische Behandlung stören würden, werden als Grob-, Schwer oder Störstoffe ausgeschieden. Des Weiteren werden die Stoffe mit einem hohen Heizwert als Heizwertreiche Fraktion separiert und der Nutzung als Ersatzbrennstoff zugeführt. Die Feinfraktion wird in einer biologischen Aufbereitung aerob aufbereitet und anschließend deponiert. Der aeroben biologischen Aufbereitung kann eine anaerobe Faulung vorgeschaltet sein, mit dem Ziel Biogas zu erzeugen (DWA, 2014b).

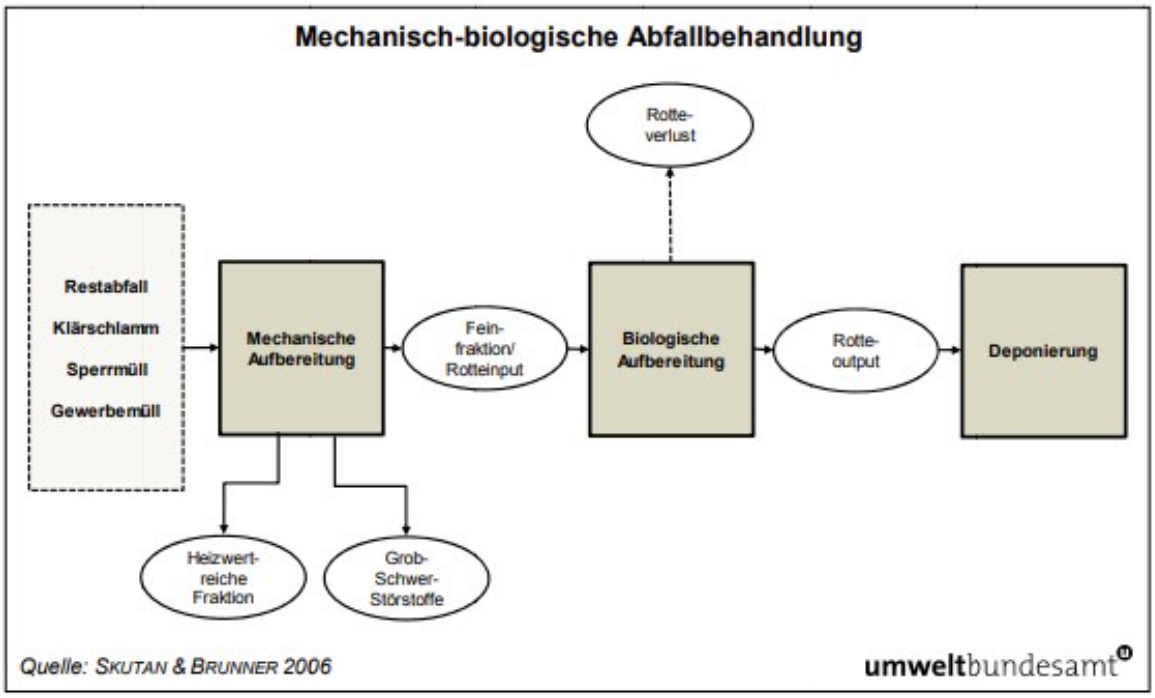


Abbildung 15: Schema einer Anlage zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (SKUTAN & BRUNNER, 2006; zit. bei OLIVIA, et al., 2009)

Das Beimengen von Klärschlamm bei der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung hat den Vorteil, dass Klärschlämme über ausreichend biologisch abbaubares Material verfügen und außerdem zur Feuchtigkeitsversorgung beitragen (FRICKE et al., 2002; zit. bei OLIVIA, et al., 2009). Weiters ist die Klärschlammbehandlung in einer MBA in der Regel kostengünstiger als in Verbrennungsanlagen. Die normalerweise dezentralere Lage der MBA-Anlagen reduziert überdies die notwendigen Transportwege (OLIVIA, et al., 2009).

Da die in einer MBA-Anlage behandelten Abfälle deponiert werden, gehen jedoch die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe verloren. Es kann durch die Beimengung von Klärschlamm, wegen dem erhöhten Stickstoffinput und der damit verbundenen Entstehung von Ammoniak, zu einer erhöhten Geruchsbelastung kommen (OLIVIA, et al., 2009).

3.2.3 Verwertung

Da Klärschlamm als Abfall zählt, aber, wie vorhergehend bereits beschrieben, nicht vermieden werden kann, ist nach der Abfallhierarchie gemäß der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008) eine Verwertung der anfallenden Klärschlämme anzustreben.

Verwertung ist ein Verfahren, bei dem Abfälle (Klärschlamm) in umweltgerechter Weise einem sinnvollen Zweck zugeführt werden und somit ein anderes Material, das ansonsten für die Erfüllung dieser Funktion eingesetzt worden wäre, ersetzen. Das Vorbereiten von Abfällen, damit diese ein anderes Material ersetzen können, gilt ebenfalls als Verwertung. Im Gegensatz dazu ist die Entsorgung (Beseitigung) ein Verfahren, bei welchem die Abfälle keinem zulässigen Zweck zugeführt werden (ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ, 2002).

Bei der Verwertung unterscheidet man grundlegend zwischen einer stofflichen und einer energetischen Nutzung des Klärschlammes (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013). Bei einer stofflichen Verwertung sollen die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor, Schwefel und Calcium in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden, und dabei zum Beispiel der landwirtschaftlichen Produktivitätssteigerung nutzen oder zur ökologischen Verbesserung von Flächen (Humusbildungspotential) dienen (ÖWAV, 2014). Alternativ kann Klärschlamm stofflich auch als Rohstoff in Industriezweigen (z. B. als Porosierungsmittel in der Ziegelindustrie) eingesetzt werden. Bei der energetischen Verwertung wird Klärschlamm in einer Verbrennung inertisiert (um deponierfähig zu werden) bei gleichzeitiger Nutzung seines Energiegehaltes (KROISS, 2007; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Eine (vorübergehende) Deponierung des behandelten Klärschlammes ist nur dann zulässig, wenn es im Moment keine wirtschaftlich und technisch mögliche Verwertungsoption gibt (GFK INGENIEURE GMBH, 2006).

Die in Oberösterreich aktuell praktizierten Möglichkeiten einer Klärschlammverwertung sind im Folgenden erläutert:

Landwirtschaftliche Verwertung

„Die landwirtschaftliche Verwertung kommunaler Klärschlämme ist eine natürliche und ökonomisch sinnvolle Form der vollständigen Rückführung von organischer Substanz und Nährstoffen in den bio- und geochemischen Stoffkreislauf, soweit den Erfordernissen eines vorsorgenden Boden-, Wasser- und Verbraucherschutzes Rechnung getragen wird. Sie entspricht dem Verwertungsgebot des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und trägt damit zur wirksamen Einsparung von Ressourcen bei.“ (GFK INGENIEURE GMBH, 2006)

Bei der landwirtschaftlichen Verwertung handelt es sich um einen einfachen Verwertungspfad, der überdies mit verhältnismäßig geringen Kosten verbunden ist (ÖWAV, 2019). Die im Klärschlamm enthaltenen Nährstoffe können nachweisbar dazu führen, dass große Ertragszuwächse erzielt werden (SCHAAF, 1986; zit. bei SCHAAF, 2003). Insbesondere die im Klärschlamm enthaltenen Elemente Stickstoff und Phosphor sind für Pflanzen essenziell und eine Beigabe dieser kann das Pflanzenwachstum fördern. Darüber hinaus hilft der hohe Anteil organischer Substanz dem Boden bei der Humusbildung, was vor allem für viehlose Betriebe, die nicht auf die Ausbringung von Gülle zur Bodenverbesserung zurückgreifen können, von Vorteil ist (OLIVIA, et al., 2009).

Bei der Bestimmung der Klärschlammmenge, welche über mehrere Jahre ausgebracht wird, soll der Phosphorbedarf der Pflanze der entscheidende Faktor sein. Bei dieser

Ausbringungsmenge wird jedoch der Stickstoffbedarf der Pflanze nicht gedeckt, welcher auf andere Weise substituiert werden muss (ÖWAV, 2014).

Der stabilisierte und entseuchte Klärschlamm kann entweder in flüssiger oder teilentwässerter Form auf den landwirtschaftlich genutzten Boden aufgebracht werden (OLIVIA, et al., 2009). In Zeitperioden, in denen keine Ausbringung erfolgt (Winter oder Vegetationsperioden) muss der Schlamm zwischengespeichert werden (MELSA, 1998; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Vor allem im ländlichen Raum, wo viele kleine und mittelgroße Kläranlagen in Betrieb sind und die Ausbringung direkt vor Ort erfolgen kann, ist diese Form der Verwertung wegen der dadurch resultierenden kurzen Transportwege von Vorteil (BANK, 1994; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Jedoch ist die Ausbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlichen Flächen nicht unproblematisch. Die während der Abwassereinigung im Klärschlamm angesammelten Schadstoffe können sich durch die landwirtschaftliche Verwertung im Boden anreichern. Um eine solche Schadstoffakkumulation mit (Mikro-)Verunreinigungen, pathogenen Keimen und Schwermetallen zu verhindern, gibt es strenge Anforderungen an Klärschlamm und Boden, welche erfüllt werden müssen, damit eine Klärschlammausbringung zulässig ist (ÖWAV, 2014). Problematisch sind sowohl chemische Verbindungen, persistente organische Schadstoffe als auch Resistenzen verursachende Antibiotika, welche nicht von Standardanalyseverfahren erfasst werden. Aus Kostengründen kann keine Untersuchung auf alle möglichen Stoffe erfolgen, womit immer ein Restrisiko verbleibt (AMT DER SALZBURGERER LANDESREGIERUNG, 2001; zit. bei OLIVIA, et al., 2009). Darüber hinaus ist Klärschlamm eine Senke für Mikroplastik, welches auf diesem Wege in die Nahrungskette eingetragen werden kann (BMNT, 2017).

Wegen dieser Risiken verbleibt außerdem die Haftungsfrage. Landwirtinnen und Landwirte fordern, dass diese bei den Abgebern des Klärschlammes liegen soll, wie das Amt der Salzburger Landesregierung (2001; zit. bei OLIVIA, et al., 2009) berichtet.

Aufgrund dieser ungeklärten Probleme ist der landwirtschaftliche Einsatz von Klärschlamm in Österreich von Einschränkungen betroffen und in den Bundesländern Salzburg, Steiermark und Wien sogar gänzlich untersagt (VANAS, 2016).

Dennoch werden österreichweit rund 20 % der anfallenden kommunalen Klärschlammtrockenmasse (aus Abwasserreinigungsanlagen ab einer Ausbaugröße von 2.000 EW_{60}) auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht (BMK, 2020).

Kompostierung

Bei der Klärschlammkompostierung handelt es sich um ein aerob-thermophiles Verfahren, bei dem der entwässerte Schlamm stabilisiert und mithilfe von Mikroorganismen zu humusbildender Substanz umgebaut wird (DWA, 2014a). Die organische Substanz wird dabei, unter Kohlendioxidabgabe, verwertet. Das Endprodukt, der Humus, ist Nährstofflieferant und fungiert als Bodenverbesserungsmittel (KÜGLER, et al., 2004).

Um eine gewisse Porosität herzustellen, wird der Klärschlamm zunächst mit einem Strukturmittel (wie z. B. Sägespänen) vermengt. Damit kann gewährleistet werden, dass das gesamte Haufwerk genügend mit Luftsauerstoff versorgt wird und es wird verhindert, dass sich anaerobe Zonen bilden (DWA, 2014a).

Meistens wird für die Kompostierung des Gemisches ein zweistufiges Verfahren gewählt. Zunächst wird in der Intensiv- oder Vorrotte, bei Temperaturen von über 60 Grad (thermophil),

eine Desinfektion erreicht. Hier findet eine intensive bakterielle Abbautätigkeit statt. Die eigentliche Humifizierung erfolgt erst in der sogenannten Nachrotte, wo das biologische zunächst noch sehr aktive Material über lange Zeiträume (Monate) stabilisiert wird (DWA, 2014a). Der fertige Humus muss abgesiebt werden und kann als „Kompost gemäß Kompostverordnung“ verkauft werden (KÜGLER, et al., 2004). Er kann im Landschaftsbau, Gartenbau und in der Landwirtschaft Anwendung finden (OLIVIA, et al., 2009).

Die Nährstoffe im Klärschlamm können so ebenfalls im Kreislauf behalten werden, wobei der Klärschlamm hygienisiert wird. Für den Einsatz auf landwirtlichen Flächen muss der Kompost Grenzwerte aus der Kompostverordnung einhalten (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010). Im Vergleich zum direkten Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft, geht es beim Einsatz von Kompost allerdings mehr um die bodenverbessernden Eigenschaften als um die reine Nährstoffzugabe (ZESSNER, 2002; zit. bei OLIVIA, et al., 2009). Darüber hinaus werden die im Klärschlamm sonst löslichen Schwermetalle durch die Humifizierung gebunden und sind damit den Pflanzen nicht mehr im selben Maße verfügbar (BANK, 1994; zit. bei OLIVIA, et al., 2009)

Mit der Kompostierung des Klärschlammes geht allerdings auch ein erhöhter maschineller Aufwand einher, welcher sich auf die Kosten auswirkt. Die Frage bezüglich des Schadstoffeintrages bleibt offen (OLIVIA, et al., 2009).

Vererdung

Die Vererdung ist eine Simulation der Prozesse, welche sich bei der natürlichen Bodenbildung abspielen. Die beiden Prozessabläufe der natürlichen und der künstlichen Bodenbildung sind in Abbildung 16 dargestellt. Es wird veranschaulicht, dass beide Prozesse auf den selben Quellen basieren. Während jedoch die natürlichen Bodenbildungsprozesse (deutlich langsamer) im Boden selbst ablaufen, nimmt die künstliche Bodenbildung den Umweg über die Nutzung der Rohstoffe in Industrie und Gewerbe, woraufhin die dabei entstehenden Rückstände einer Vererdung zugeführt werden. Mithilfe der künstlichen Vererdung kann somit, entsprechend der Prinzipien der modernen Abfallwirtschaft, aus Abfallprodukten wie Klärschlamm die wichtige und begrenzte Ressource Boden künstlich erzeugt werden (HAIDER, et al., 2003).

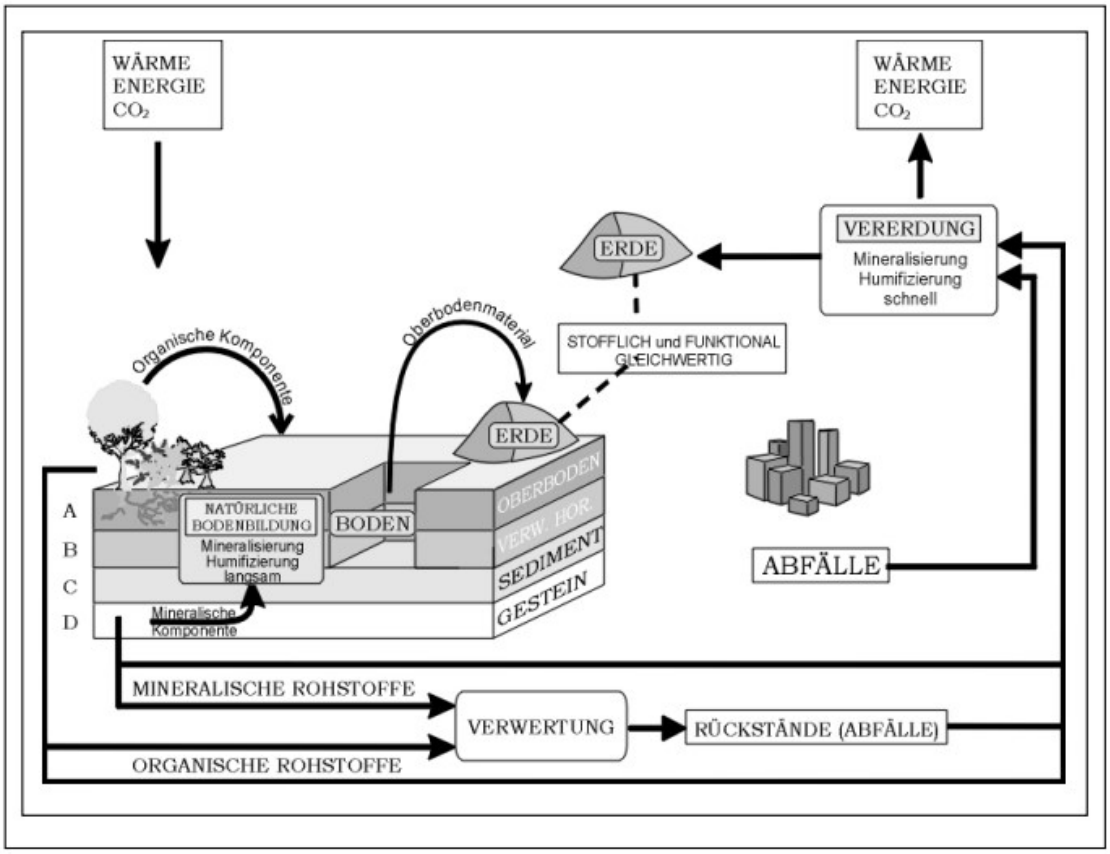


Abbildung 16: Ablauf der natürlichen und simulierten Bodenbildung (HAIDER, et al., 2003)

Eine Herstellung von Erden kann mit zwei unterschiedlichen Verfahren erfolgen. Zum einen können Erden durch Vermischen rein mineralischer Materialien erzeugt werden. Zum anderen gibt es die Möglichkeit zu mineralischen Materialien organische hinzuzumischen und damit biologische Prozesse auszulösen. In diesem Fall spricht man von Vererdung (ROLLAND, 2001; zit. bei KÜGLER, et al., 2004). Als solch ein organisches Material kommt auch Klärschlamm in Frage (KÜGLER, et al., 2004).

Ein mögliches spezielles Verfahren der Vererdung ist die Klärschlammvererdung mit Schilf. Bei dieser Methode wird ein mit Schilf bepflanztes Becken, während der Vegetationsperiode, wöchentlich mit aerob stabilisiertem Schlamm beschickt. Dafür kann ein bestehendes Trockenbeet verwendet, oder ein neues Becken in Folien- (siehe Abbildung 17) oder Betonbauweise gebaut werden. Dabei ist es ratsam mindestens zwei Becken zur Verfügung zu haben, da man diese in bestimmten Zeitintervallen räumen muss (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010). Das Becken ist mit einer Filterschicht aus Sand und Kies ausgeführt, die zur Dränage der Anlage notwendig ist (OLIVIA, et al., 2009).

Das Schilf spielt während der ablaufenden Prozesse eine wichtige Rolle. Durch die Durchwurzelung kann Sauerstoff auch in die unteren Bereiche gelangen. Darüber hinaus hilft es dabei den Klärschlamm zu entwässern. Weiters begünstigen die, durch Wind verursachten, Halmbewegungen die Rissbildung im Klärschlamm, wodurch zusätzlicher Sauerstoffeintrag ermöglicht wird (KÜGLER, et al., 2004). Nach dem Absterben verbleiben die Pflanzenreste im Becken und helfen beim Strukturaufbau der Erde.

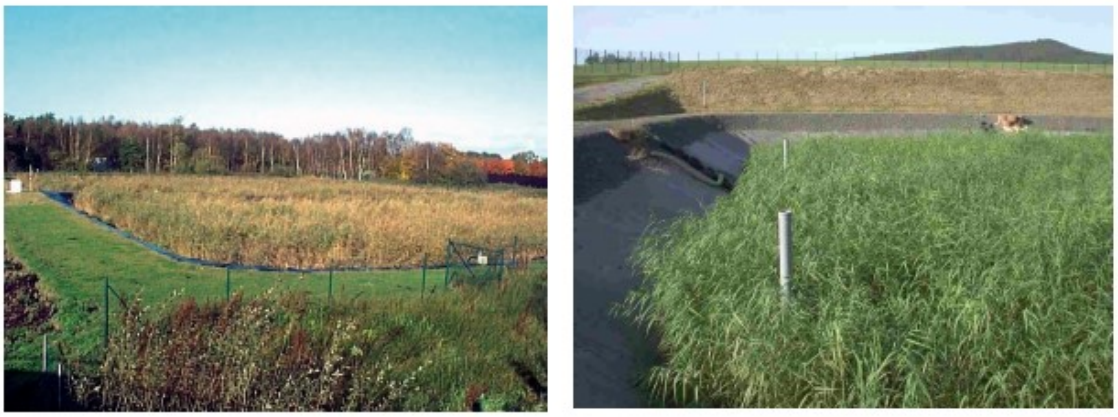


Abbildung 17: Beispiel Klärschlammvererdungsbecken in Folienbauweise (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010)

Der Klärschlamm verliert, bei der über Jahre dauernden Behandlung, seine ursprüngliche Struktur. Die so erzeugte Erde kann für Rekultivierungen verwendet werden, solange sie den Qualitätsanforderungen des Bundesabfallwirtschaftsplans entsprechen (BMNT, 2017). Sie können eingesetzt werden in (HAIDER, et al., 2003):

- Verkehrswegebau
- Hochwasserschutzbau
- Rekultivierung von Kiesgruben, Steinbrüchen, etc.
- Retentions- und Speicherbecken
- Wiederaufforstung
- Versickerung und Reinigung von Straßenabwässern
- Deponieabdeckungen
- Abdeckung von kontaminierten Böden (Altlasten)

Dabei geht es nicht mehr primär um die Nährstoffzugabe, sondern es handelt sich um einmalige Aufbringungen, bei der man die wertvolle Ressource Boden ersetzt (ZESSNER, 2002; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Vorteile sind folgende zu nennen (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010):

- Geringer Energiebedarf des Verfahrens
- Nährstoffe reichern sich während der Vererdung im Endprodukt an. Nur Stickstoff wird ausgewaschen.
- Eine positive Veränderung der physikalischen Eigenschaften. So ergibt sich eine krümelig-erdige Struktur anstatt des fließfähigen Schlamms. Es erhöht sich der Trockensubstanzgehalt auf bis zu über 30 % und der organische Anteil sinkt auf ebenfalls rund 30 %. Außerdem ist der Geruch als erdig beschreibbar.
- Im Endprodukt sind keine Fäkalkeime und Wurmeier mehr enthalten, sondern es findet eine Besiedelung mit Bodenbakterien statt.

Probleme ergeben sich erfahrungsgemäß vor allem durch eine fehlende Berücksichtigung der vorherrschenden klimatischen Verhältnisse und ein Fehlen oder Unterdimensionieren des erforderlichen Schlammspeichers. Außerdem reichern sich nicht nur Nährstoffe, sondern auch die im Klärschlamm befindlichen Schwermetalle in der entstehenden Erde an (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010).

Die Kosten sind stark von Übernahmegebühren und Erlösen für das Endprodukt abhängig. Die reinen Betriebskosten können mit ungefähr 40 - 80 € pro Tonne feuchten Schlamms beziffert werden (HAIDER, et al., 2003).

Thermische Verwertung

Man unterscheidet bei der thermischen Verwertung, je nach Verbrennungsanlage, eingesetztem Verfahren und Endresultat grundsätzlich zwischen (ÖWAV, 2014):

- Einem reinem Behandlungsverfahren, um Klärschlamm zu inertisieren.
- Einer energetischen Verwertung, bei der der Heizwert des Klärschlammes genutzt wird.
- Einer stofflichen Verwertung, bei der Klärschlamm entweder in ein Endprodukt eingebunden wird (Zementherstellung) oder Rohstoffe aus der Klärschlammasche gewonnen werden und somit wieder für die Verwendung zur Verfügung stehen (Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammasche)

Als Vorteile einer thermischen Verwertung von Klärschlamm können angeführt werden (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010):

- Zerstörung der organischen Schadstoffe
- Inertisierung und Hygienisierung des Abfalls
- Abtrennung anorganischer Schadstoff
- Gewichts- und Volumenreduktion
- Emissionsreduktion treibhausgasrelevanter Gase
- Möglichkeit der Energiegewinnung
- „Recycling“ des Phosphors (ÖWAV, 2014)

Allerdings werden die Kosten für eine thermische Verwertung im Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020 im Vergleich mit anderen Verwertungspfaden als mitunter am höchsten angegeben (ÖWAV, 2019).

Die thermische Verwertung von Klärschlamm kann in unterschiedlichen Anlagen erfolgen, die sich durch die zu verbrennenden Stoffe und den Hauptzweck der Verbrennung unterscheiden (OLIVIA, et al., 2009):

- Abfallverbrennungsanlagen: Diese haben den Hauptzweck Abfälle thermisch zu verwerten. Dabei kann auch eine energetische Nutzung erfolgen.
- Mitverbrennungsanlagen: Dabei kann entweder die Energieerzeugung oder Produktion stofflicher Erzeugnisse (z. B. Ziegelindustrie) im Vordergrund stehen.
- Klärschlammmonoverbrennungsanlagen: In diesen wird ausschließlich Klärschlamm verbrannt.

Darüber hinaus gibt es noch die Möglichkeiten der Vergasung und Pyrolyse, welche in Österreich aber derzeit nicht zur Anwendung kommen (ÖWAV, 2014).

Abfallverbrennungsanlagen

Der anfallende Klärschlamm kann in Abfallverbrennungsanlagen mitbehandelt werden. Hierbei sind jedoch erhebliche verfahrenstechnische Nachteile zu beachten. Das enthaltene Wasser im Klärschlamm muss zusätzlich verdampft werden, während die Haus- und Gewerbeabfälle ohnehin nicht sehr heizwertreich sind (GFK INGENIEURE GMBH, 2006).

Grundsätzlich würden die Abfallverbrennungskapazitäten der in Betrieb, Planung oder Bau befindlichen Abfallverbrennungsanlagen Österreichs ausreichen, um zusätzlich zu allen anderen Abfällen die gesamt anfallende Klärschlammmenge Österreichs zu verarbeiten. Jedoch sind diese Anlagen sehr ungleichmäßig verteilt, wodurch es zu langen Transportwegen kommen kann (OLIVIA, et al., 2009).

Sollten die vorhandenen Infrastrukturen die erforderlichen Kapazitäten bereitstellen können, ist diese Art der Verwertung in jedem Fall in Betracht zu ziehen. Bedacht werden muss, dass aus den dabei entstehenden Aschen und Schlacken kein Phosphor rückgewonnen werden kann (GFK INGENIEURE GMBH, 2006).

Mitverbrennungsanlagen

Sollte Klärschlamm nicht in einer Abfallverbrennungsanlage, sondern in einer industriellen Feuerungsanlage verbrannt werden, dann spricht man von Mitverbrennung. Dort kann er mit anderen Abfällen als Regel- oder Zusatzbrennstoff fungieren oder in die dortigen Erzeugnisse miteingebunden werden (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010).

Typisch ist die Anwendung in einem Kohlekraftwerk. Hierfür wird der entwässerte Klärschlamm mit einer systemintegrierten Trocknung getrocknet (GFK INGENIEURE GMBH, 2006), wonach sein Heizwert (9 -18 MJ/kg TS) dem von Braunkohle ähnlich ist. Allerdings unterscheiden sich die Zusammensetzungen von Braunkohle und getrocknetem Klärschlamm erheblich (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010). Der potenzielle Einsatz von Klärschlamm in Kohlekraftwerken wird mit 5 % der Kohlemenge geschätzt (Umweltbundesamt, 2001; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

In einem Ziegelwerk können sie nicht nur als Ersatzbrennstoff, sondern auch als Porosierungsmittel eingesetzt werden (Umweltbundesamt, 2000, 2001; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Eine weitere Möglichkeit ist die Mitverbrennung in einem Zementwerk. Dabei kommt es zu einer Steigerung der Durchsatzmenge, da der Klärschlamm zu einer Absenkung des Heizwertes führt. Nachteil ist, dass die im Klärschlamm enthaltenen anorganischen Stoffe (insbesondere Phosphor) hier verloren gehen, da die Klärschlammasche in den Zement eingebunden wird (ÖWAV, 2014).

Auch in der Zellstoff-, Papier-, Span-, und Faserplattenindustrie wird Klärschlamm gemeinsam mit Papierfaserstoffen verbrannt.

Ein Vorteil der Mitverbrennung ist darin zu sehen, dass in Österreich viele Standorte vorhanden sind, welche sich dafür anbieten und somit Transportwege kurz gehalten werden können (OLIVIA, et al., 2009). Nachteil ist, dass an den Klärschlamm generell sehr hohe Anforderungen gestellt werden, wie ein Trockensubstanzgehalt von über 80 %, eine krümelige Struktur und ein Freisein von Verunreinigungen und Rückständen (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010).

Klärschlammmonoverbrennungsanlagen

Wie der Name schon andeutet, handelt es sich bei der Klärschlammmonoverbrennung um die thermische Verwertung alleinig von Klärschlamm. Meistens findet dafür ein Wirbelschichtofen Anwendung. In Abbildung 18 ist ein Verfahrensschema der größten auf diese Weise betriebenen Anlage Österreichs, der Simmeringer Haide der Fernwärme Wien, abgebildet. Im Wirbelschichtreaktor wird der getrocknete Klärschlamm durch eine senkrecht strömende und 850-950 Grad heiße Verbrennungsluft verbrannt. Die flugfähigen Aschepartikel werden nach oben hinausgetragen, während die Grobstoffe zum Boden der Brennkammer sinken und dort abgezogen werden (OLIVIA, et al., 2009).

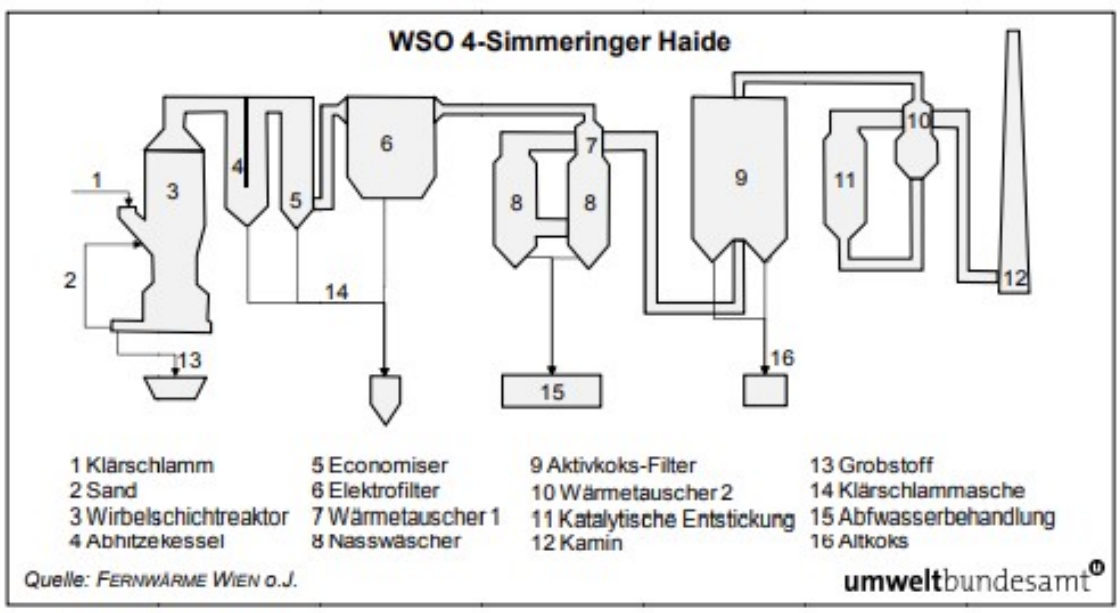


Abbildung 18:Vereinfachtes Verfahrensfließbild des Wirbelschichtofens WSO 4-Simmeringer Haide (FENRWÄRME WIEN o.J; zit. bei OLIVIA, et al., 2009)

Um die selbstgängige Verbrennung im definierten Temperaturbereich zu ermöglichen, muss der Heizwert des Klärschlamms zunächst mittels Trocknung angehoben werden. Für diese Trocknung kann die während der Verbrennung gewonnene Energie genutzt werden. In manchen Fällen kann darüber hinaus ein energetischer Nutzen aus der Monoverbrennung gezogen werden (GFK INGENIEURE GMBH, 2006).

Bei einer energetischen Nutzung des Klärschlammes durch eine thermische Verwertung ist es nicht sinnvoll diesen zuerst in einem Faulturm ausfaulen zu lassen, da dadurch die organische Substanz reduziert und damit der Heizwert des Klärschlammes herabgesetzt wird (GUJER, 2007).

Insbesondere wenn die Schadstoffgehalte des Klärschlamms eine anderwärtige Verwertung nicht zulassen, handelt es sich bei der Monoverbrennung um die bestverfügbare Technologie zur Klärschlammbehandlung (FAULSTISCH & BARON, 2008; zit. bei OLIVIA, et al., 2009).

Nachteil sind die auch im Vergleich mit anderen Verbrennungsanlagen hohen Kosten, die für die Klärschlammmonoverbrennung anfallen (GFK INGENIEURE GMBH, 2006). Außerdem stehen nur wenige dieser Anlagen zur Verfügung (OLIVIA, et al., 2009), wodurch sich lange Transportwege ergeben und die Wahl eines solchen Verfahrens unmöglich sein kann.

Die bei der Monoverbrennung entstehende Klärschlammasche kann genutzt werden, um Phosphor den Pflanzen wieder verfügbar zu machen. Es gibt einerseits die Möglichkeit die Asche direkt auf die landwirtschaftlichen Flächen aufzubringen. Dabei ist längerfristig mit einer fast vollständigen Ausnutzung des Phosphors zu rechnen. Die Klärschlammasche muss dafür den Regeln für sachgerechte Dünger entsprechen, jedoch gibt es in Österreich noch keinen rechtlichen Rahmen für diese Variante, weswegen sie hierzulande momentan noch nicht eingesetzt wird. Anderseits gibt es die Möglichkeit der Phosphorgewinnung aus der Asche, wobei je nach Verfahren unterschiedliche Nutzungspotentiale (zwischen 35 und 98 %) angegeben werden. Ziel ist es, ein Produkt zu erzeugen, welches mit Handelsdünger konkurrenzfähig ist und als solches wirtschaftlich vertrieben werden kann (ÖWAV, 2014).

Verfuhr zu benachbarter Kläranlage

Da die direkte Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftliche Flächen durch den rechtlichen Rahmen (siehe Unterkapitel 3.3) immer weiter erschwert wird, kann eine Behandlung oder Verwertung der anfallenden Klärschlammmengen, insbesondere bei kleinen Kläranlagen, wirtschaftlich unmöglich sein (ATV, 1997).

Eine mögliche Lösung ist die Verfuhr der anfallenden Klärschlammmengen zu einer benachbarten Kläranlage, wo diese anschließend verwertet werden. Für die Zugabe gibt es unterschiedliche Varianten. Der Schlamm kann entweder in den Abwasserstrom eingebracht werden, wofür allerdings ein Schlammspeicher verfügbar sein muss. Alternativ kann er dem Schlammstrom zugeführt werden, wobei darauf zu achten ist, dass die biologische Stufe auf das zusätzlich anfallende Schlammwasser eingestellt werden kann (ATV, 1997).

Als Richtwert für die Menge des zugeführten Schlammes können 20m³/d je 10.000 EW_{60} Ausbaugröße angegeben werden. Dabei muss allerdings sowohl die biologische Stufe als auch die Faulstufe größer dimensioniert werden (ATV, 1997).

Deponierung

Gemäß der Deponierverordnung dürfen unbehandelte Klärschlämme seit 2009 nicht mehr deponiert werden (BMNT, 2017). Erst nach einer Inertisierung können sie unter Einhaltung der in Tabelle 1 aufgelisteter Grenzwerte einer Deponierung zugeführt werden (VANAS, 2016).

Tabelle 1:Ausgewählte Grenzwerte für unterschiedliche Deponieunterklassen für nicht gefährliche Abfälle (GRECH et al., 2009; zit. bei VANAS, 2016)

Parameter	Einheit	Reststoffe		Massenabfall	
		Gesamt	Eluat	Gesamt	Eluat
Elektrische Leitfähigkeit	ms/m		1.000		
pH-Wert			6 – 12		6 – 13
Abdampfrückstand	mg/kg		60.000		100.000
Arsen (As)	mg/kg	5.000	2	500	25
Blei (Pb)	mg/kg		10	5.000	50
Cadmium (Cd)	mg/kg	5.000	1	30	5
Chrom gesamt (Cr)	mg/kg		10	8.000	70
Chrom VI (Cr)	mg/kg				20
Quecksilber	mg/kg	20[1)]	0,1	20	0,5
Zink	mg/kg		50	5.000	200
Ammonium-N	mg/kg		300		10.000
Cynaide (CN)	mg/kg		1		20
Kohlenwasserstoff-Index	mg/kg	5.000	100	20.000	200
Org. Anteil als TOC	mg/kg	50.000	500	50.000[2)]	2.500[2)]

1) Wenn Hg in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen vorliegt, ist ein Quecksilbergehalt bis maximal 100 mg/kg TM zulässig. Liegt Hg in Form schwerlöslicher sulfidischer Verbindungen vor und wurde der Abfall stabilisiert oder immobilisiert, ist ein Quecksilbergehalt bis maximal 3.000 mg/kg TM zulässig.

2) TOC gilt nicht für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle. Ausnahmen für Abfälle gemäß § 7 Z 7 DeponieVO 2008

3.2.4 Mittel und langfristige Ziele beim Umgang mit Klärschlamm in Österreich

Seit Jahrzehnten ist der Einsatz von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Flächen als Düngemaßnahme umstritten. Vor allem Bedenken ausgelöst durch die BSE-Krise, hormonell wirksame Stoffe, ausgeschiedene Antibiotika, Schwermetallanreicherung im Boden usw. haben dazu geführt, dass der landwirtschaftlichen Verwertung oft skeptisch gegenübergestanden wird. So ist diese beispielsweise in der Schweiz bereits untersagt (OLIVIA, et al., 2009).

In der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplan (BMNT, 2017) wird die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen als in Zukunft nicht gesichert beschrieben. Zusätzlich wird im ÖWAV-Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“ ein Ausstieg nicht nur aus der direkten landwirtschaftlichen Verwertung, sondern auch aus Verwertungspfaden wie der Kompostierung und Vererdung für Kläranlagen einer Ausbaugröße von über 100.000 $EW_{60,}$ empfohlen (ÖWAV, 2014).

Aus diesen Gründen wird die direkte landwirtschaftliche Verwertung von kommunalen Klärschlamm in Zukunft eine immer kleiner werdende Rolle spielen (KRETSCHMER, et al., 2018). Dadurch kann es allerdings zu Nährstoffdefiziten kommen, welche normalerweise durch die Zugabe des Klärschlammes ausgeglichen werden.

Insbesondere Phosphor ist für Pflanzen, Tier und Mensch unentbehrlich. Er kann nicht verbraucht oder hergestellt werden, sondern durchläuft als Element unterschiedliche Phasen im Phosphorkreislauf (IMHOFF, et al., 2007). Somit muss dieser substituiert werden, wofür Rohphosphor aus Phosphatlagerstätten genutzt wird (KROISS, 2003). Schätzungen zufolge sind die Lagerstätten, in denen momentan Phosphor wirtschaftlich abgebaut werden kann, in 90 – 100 Jahren erschöpft (KÜGLER, et al., 2004).

Damit diese Ressourcen nicht weiter aufgebraucht werden, während man gleichzeitig den im Klärschlamm enthaltenen Phosphor deponiert, gilt es diesen in sauberer Form aus dem Abwasser, dem Klärschlamm oder dessen Asche zu extrahieren (GUJER, 2007).

In Abbildung 19 sind unterschiedliche Verwertungspfade dargestellt, über welche Phosphor aus Klärschlamm der Landwirtschaft zugeführt werden kann. So kann dieser entweder auf konventionelle Art direkt einer landwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden oder über Umwege wie einer Kompostierung oder Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung.

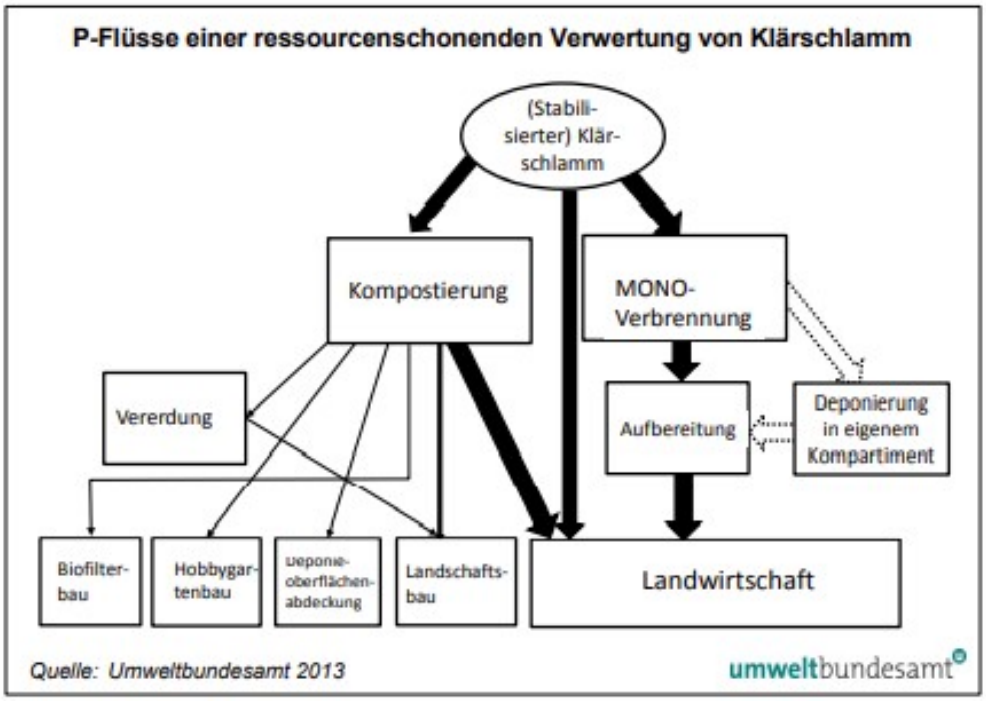


Abbildung 19: Flüsse des in Klärschlamms enthaltenen Phosphors nach Verwertungspfaden (LAMPERT, et al., 2014)

In der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans wird das Ziel definiert *„eine Phosphorrückgewinnung aus kommunalen Klärschlämmen unter weitgehender Zerstörung bzw. Schaffung verlässlicher Senken für die im Klärschlamm enthaltenen Schadstoffe zu erreichen“* (BMNT, 2017, S.260). So sollen 65 bis 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. In Zusammenhang dazu werden als mögliche Technologien bzw. Verfahren genannt (BMNT, 2017):

- Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsasche
- Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser
- Phosphorrückgewinnung aus dem Schlammwasser
- Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm

Allgemein wird in der Phosphorrückgewinnung aus der bei der Monoverbrennung entstehenden Klärschlammasche viel Potential gesehen. Hierfür kann die Asche auch solange gespeichert werden, bis wirtschaftlich geeignete Verfahren für die Rückgewinnung des darin enthaltenen Phosphors entwickelt und verbreitet sind (IMHOFF, et al., 2007).

Betreiber von Kläranlagen größer 50.000 EW_{60} sind aufgerufen *„zeitnah Planungsprozesse für deren zukünftige Phosphorrückgewinnung zu starten. Dabei sind selbstverständlich die*

bisherige individuelle Strategie der Klärschlammbewirtschaftung und die dazu erst in jüngerer Zeit getätigten Anlageninvestitionen zu berücksichtigen." (BMNT, 2017, S.261)

Das bedeutet aber keines Falls, dass kleinere Kläranlagen sich nicht ebenfalls mit dieser Thematik befassen müssen. Um zu erreichen, dass 85 % des kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden, muss das mit dem Klärschlamm aller kommunaler Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von über 15.000 EW_{60} geschehen. Somit müssen auch zukünftige Konzepte für diese in großer Zahl vorhandenen Anlagen entwickelt werden (KRETSCHMER, et al., 2018).

Um einen möglichst reibungslosen Systemwechsel herbeizuführen, ist es erforderlich, zunächst Anreiz- bzw. Fördersysteme zu etablieren und mittelfristig gesetzliche Regelungen mit angemessenen Übergangsfirsten zu schaffen (ÖWAV, 2014).

Bei der Thematik darf nicht vergessen werden, dass auch andere, für die Landwirtschaft notwendige Stoffe durch diese neue Art der Klärschlammbewirtschaftung nun dem Boden nicht mehr zugegeben werden und deshalb auf anderem Wege ebenfalls substituiert werden müssen (KRETSCHMER, et al., 2018).

3.3 Rechtlicher Rahmen des Umganges mit Klärschlamm

Nachfolgend sind Gesetze, Richtlinien und sonstige Regelwerke angeführt, welche bei der Klärschlammverwertung maßgebend werden können. In Tabelle 2 ist dargestellt auf welche Verwertungspfade diese einen Einfluss haben. Zu beachten ist, dass es hierbei nicht immer vollständig möglich ist eine scharfe Abgrenzung zu finden. Bei der Verfuhr zu einer benachbarten Kläranlage gelten die gleichen rechtlichen Rahmenbedingungen, als wäre der Klärschlamm an dieser Anlage selbst angefallen. Aus diesem Grund wird dieser Verwertungspfad hier nicht gesondert berücksichtigt. Die Deponierung von (unbehandeltem) Klärschlamm wird aufgrund der geringen Relevanz ebenfalls nicht explizit berücksichtigt.

Tabelle 2: Geltungsbereich der Rahmenbedingungen bei der Klärschlammverwertung (eigene Darstellung)

Rahmenbedingungen	Verwertungspfade			
	Landwirtschaft	Kompostierung	Verbrennung	Vererdung
EU Ebene				
Europäische Klärschlammrichtlinie	X			
Abfallrahmenrichtlinie	X	X	X	X
Wasserrahmenrichtlinie	X			
Europäische Nitratrichtlinie	X			
UVP-Richtlinie			X	
EU Richtlinie über Industrieemissionen			X	
IPPC-Richtlinie			X	
REACH - Verordnung			X	
Nationale Ebene				
Abfallwirtschaftsgesetz	X	X	X	X
Wasserrechtsgesetz	X			
Abfallverbrennungsverordnung			X	
Aktionsprogramm zur Umsetzung der Nitratrichtlinie	X			
Bundeskompostverordnung	X	X		
Düngemittelgesetz	X	X		
Düngemittelverordnung	X			
Forstgesetz	X			
Landesebene				
OÖ Bodenschutzgesetz	X			
OÖ Klärschlammverordnung	X			
Sonstige Regelwerke und Leitfäden				
Bundesabfallwirtschaftsplan	X	X	X	X
OÖ Abfallwirtschaftsplan	X	X	X	X
ÖWAV Positionspapier Klärschlamm	X	X	X	X
ÖPUL	X	X		
AMA-Gütesiegel	X	X		

Bei der Entsorgung von Klärschlamm ist darüber hinaus die Deponieverordnung von Relevanz.

Die im Zusammenhang mit dieser Arbeit stehenden Passagen werden nachfolgend kurz vorgestellt.

3.3.1 Europäische Rahmenbedingungen

Europäische Richtlinien werden auf EU-Ebene erlassen und weisen, anders als Verordnungen, keine direkte Gesetzeskraft auf, sondern müssen von den Mitgliedsstaaten innerhalb gewisser Fristen, mittels nationaler Gesetze und Verordnungen, umgesetzt werden. Ob die Umsetzung vollständig erfolgt, wird von der Kommission geprüft (MOSER, 2003).

3.3.1.1 Die Europäische Klärschlammrichtlinie 86/278

„Diese Richtlinie bezweckt, die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft so zu regeln, dass schädliche Auswirkungen auf Böden, Vegetation, Tiere und Menschen verhindert und zugleich eine ordnungsgemäße Verwendung von Klärschlamm gefördert werden." (EU-RAT, 1986)

Die Verwertung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft ist laut europäischer Klärschlammrichtlinie gerechtfertigt, solange diese die Qualität der Böden und die der landwirtschaftlichen Erzeugnisse nicht gefährdet. Aus diesem Grund werden, die in Tabelle 3 ersichtlichen, Grenzwerte angegeben. Sollten die Bodengrenzwerte bei den betroffenen Flächen überschritten werden, muss es verboten werden dort Klärschlämme aufzubringen (EU-RAT, 1986).

Außerdem muss sichergestellt werden, dass diese Grenzwerte nicht als Folge einer Klärschlammaufbringung überschritten werden. Hierfür werden Konzentrationsgrenzwerte für die verwendeten Schlämme in Form von jährlich zulässigen Konzentrationshöchstwerten oder jährlichen Schwermetallmengen, welche im Mittel über einen Zeitraum von zehn Jahren eingebracht werden dürfen, angegeben (EU-RAT, 1986).

Des Weiteren werden Umfang, Häufigkeit und zu untersuchende Parameter für die Analyse von Klärschlämmen und Böden geregelt, um den Schutz von Boden sowie Oberflächen- und Grundwässern beim Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft zu gewährleisten. Diese aufgenommenen Informationen müssen gespeichert und in regelmäßigen Abständen von drei Jahren der Europäischen Kommission übermittelt werden. Kleine Anlagen sind zum Teil davon ausgenommen, sollte dort nur Brauchwasser aus Haushalten behandelt werden (EU-RAT, 1986).

Tabelle 3: Boden- und Klärschlammgrenzwerte der Richtlinie 86/278 (MOSER, 2003)

EU-RL-86/278	**Boden**	**Klärschlamm**	
Schwermetall	mg/kg TS	mg/kg TS	g/ha.a
Zn	150 – 300	2.500 – 4.000	30.000
Cu	50 – 140	1.000 – 1.750	12.000
Pb	50 – 300	750 – 1.200	15.000
Ni	30 – 75	300 – 400	3.000
Cd	1,0 – 3,0	20 – 40	150
Hg	1,0 – 1,5	16 – 25	100

Mitgliedstaaten dürfen selbst auch strengere Maßnahmen ergreifen, müssen diese aber der Kommission mitteilen. Das wurde auch wegen diverser Probleme, wie der Schadstoffanreicherung in den Böden, in einigen Mitgliedsstaaten getan (OLIVIA, et al., 2009).

In Österreich obliegt die Umsetzung den Bundesländern (BMLRT, 2017).

3.3.1.2 Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG

Mit der Abfallrahmenrichtlinie sollen zum einen schädliche Auswirkungen durch Abfälle (wie kommunale Abwässer) verhindert und zum anderen die Effizienz der Ressourcennutzung in Hinblick auf eine Kreislaufwirtschaft erhöht werden (EU-RAT, 2008).

Genannte Richtlinie definiert die Abfallhierarchie mit folgender Prioritätenreihenfolge (EU-RAT, 2008):

1. Vermeidung von Abfällen
2. Vorbereitung auf Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwertung (für die Klärschlammverwertung von Bedeutung)
5. Beseitigung (Entsorgung)

In Österreich wurde sie mit dem Abfallwirtschaftsgesetz 2002 in nationales Recht umgesetzt (BMLRT, 2017). → siehe Punkt 3.3.2.1

3.3.1.3 Wasserrahmenrichtlinie

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie wurde im Jahr 2000 erlassen und hat das Ziel die aquatische Umwelt zu erhalten und zu verbessern. Hierbei wird der Fokus auf die Qualität und Quantität gelegt. Eine Einleitung von gefährlichen Stoffen soll vermieden werden, womit der Abwasserreinigung bei dem Erhalt und der Wiederherstellung eines guten Zustandes der Gewässer, eine tragende Rolle zukommt. Sie wird mit dem österreichischen Wasserrechtsgesetz, welches ursprünglich aus dem Jahre 1959 stammt, umgesetzt (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2009)

3.3.1.4 Europäische Nitratrichtlinie

Die europäische Nitratrichtlinie wurde im Dezember 1991 beschlossen und soll Gewässerverunreinigungen mit Nitrat, welche aus landwirtschaftlichen Quellen hervorgehen, verhindern. Die Aufbringung von Düngemitteln in der Landwirtschaft wird dabei als Hauptursache genannt (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2010).

Somit spielt sie bei der Aufbringung von Klärschlamm auf (landwirtschaftlich genutzte) Böden eine wichtige Rolle, weil sichergestellt werden muss, dass es in Folge zu keiner Verunreinigung mit Nitrat kommt (ZINGERLE, 2018).

Die gegenständliche Richtlinie wird in Österreich mit dem österreichischem Aktionsprogramm Nitrat 2008 umgesetzt (OLIVIA, et al., 2009) →siehe Punkt 3.3.2.5

3.3.1.5 UVP-Richtlinie 2011/92/EU

Die Richtlinie zur Umweltverträglichkeitsprüfung soll sicherstellen, dass ein Projekt auf dessen Auswirkungen auf Menschen, Flora, Fauna, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Sachgüter und kulturelles Erbe geprüft wird, falls dieses erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt haben könnte. Die betroffene Öffentlichkeit ist dabei unbedingt miteinzubeziehen. Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 150.000 EW_{60} sowie Verbrennungsanlagen gehören zu diesen zu prüfenden Projekten (EU-RAT, 2011).

3.3.1.6 Europäische Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen

Die Europäische Industrieemissionenrichtlinie besagt, dass die Mitgliedstaaten Maßnahmen ergreifen müssen, um sicherzustellen, dass keine Anlagen ohne geeignete Genehmigung betrieben werden, sollte der Betrieb dieser Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Zu diesem Zweck müssen Emissionsgrenzwerte eingehalten und außerdem ein System zur Prüfung der gesamten Bandbreite an möglichen Umweltauswirkungen dieser Anlagen eingeführt werden (EU-RAT, 2010).

Zu diesen Anlagen zählen auch Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen.

3.3.1.7 Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung-Richtlinie 2008/1/EG - Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)

Bei der Genehmigung von Anlagen, welche in die Kategorie der IPPC-Anlagen fallen, müssen alle Auswirkungen auf die Medien Luft, Wasser, und Boden betrachtet werden. Es müssen allerdings nur jene kritischen Teile der Anlage genehmigt werden, welche in diesen Anlagentypus fallen. Es muss sichergestellt werden, dass alle geeigneten und wirtschaftlich verhältnismäßigen Maßnahmen zum Umweltschutz getroffen werden und es werden Emissionsgrenzwerte festgelegt, wodurch eine Verschmutzung der Umwelt verhindert werden soll (WIRTSCHAFTSKAMMER WIEN, 2018).

Die betroffenen Anlagen schließen ebenfalls Monoverbrennungs- und Abfallverbrennungsanlagen mit ein. Somit hat die gegenständliche Richtlinie Einfluss auf die thermische Verwertung von Klärschlamm (EU-RAT, 2008).

3.3.1.8 Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)-Verordnung

Stoffmengen von über eine Tonne pro Jahr, die in die EU importiert, hier produziert oder gehandelt werden, müssen bei der Europäischen Chemikalienagentur gemeldet werden. So auch Produkte, die bei der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm erzeugt werden, da hier in der Regel eine Stoffumwandlung stattfindet (NIKODEM, et al., 2018).

3.3.2 Nationale rechtliche Rahmenbedingungen

Die Umsetzung der Europäischen Richtlinien erfolgt in Österreich sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene. Beim Umgang mit Klärschlamm sind unterschiedliche Bundesgesetze von Bedeutung (OLIVIA, et al., 2009).

Folgend werden die in diesem Zusammenhang Wichtigsten vorgestellt.

3.3.2.1 Abfallwirtschaftsgesetz 2002

Wie die EU-Abfallrahmenrichtlinie vorschreibt, soll in erster Linie der Anfall von Abfall durch geeignete Herstellungs-, Bearbeitungs-, Verarbeitungs- und Vertriebsformen und überdies hinaus durch ein abfallvermeidungsbewusstes Verhalten der Verbraucher vermieden werden (ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ, 2002).

Bei Klärschlamm handelt es sich jedoch um eine Schadstoffsenke, weswegen er grundsätzlich nicht vermieden werden kann. Allerdings kann die anfallende Klärschlammmenge mit einer optimierten Schadstoffabtrennung reduziert werden (OLIVIA, et al., 2009).

Außerdem kann die Schadstofffracht des Abwassers durch eine Verringerung des Eintrages von potenziellen Schadstoffen reduziert werden. Hier spricht man von qualitativer Vermeidung (MOSER, 2003).

Die dennoch anfallenden Klärschlammmengen sollen einer Verwertung zugeführt werden, sofern dies ökologisch und technisch möglich ist. Sollte es keine Möglichkeit für eine geeignete Verwertung geben, muss der Klärschlamm so behandelt werden, dass er möglichst reaktionsarm abgelagert werden kann (MOSER, 2003).

Außerdem ist im AWG die Genehmigung von IPPC-Behandlungsanlagen wie Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen geregelt (ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ, 2002).

3.3.2.2 Wasserrechtsgesetz 1959

Anfallende Abwässer müssen ordnungsgemäß gereinigt werden, um eine Verschmutzung der Gewässer zu verhindern. Darüber hinaus ist die Klärschlammausbringung in Oberflächengewässer verboten (OLIVIA, et al., 2009).

Eine Klärschlammverwertung, welche negative Auswirkungen auf die Beschaffenheit von Gewässern haben könnte, ist nur mit Bewilligung zulässig. Somit bedarf es für die Ausbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Nutzflächen einer wasserrechtlichen Bewilligung, sollte die maximal zulässige Ausbringungsmenge von 175 kg N/ha*a (ohne Gründecke) bzw. von 210 kg N/ha*a überschritten werden (BMLRT, 2018).

3.3.2.3 Deponieverordnung

In der Deponieverordnung werden Anforderungen an die abzulagernden Stoffe formuliert. Es ist überdies nicht zulässig unterschiedliche Abfälle zu vermischen oder zu vermengen, sollte das erforderliche Untersuchungen oder Behandlungen erschweren oder sollten ausschließlich damit die Kriterien für eine Deponierung erfüllt werden (OLIVIA, et al., 2009).

Nach der Deponierverordnung ist die Deponierung von Klärschlämmen seit 01.01.2009 nicht mehr zulässig (BMNT, 2017).

3.3.2.4 Abfallverbrennungsverordnung (AVV)

Die Verbrennung von Abfällen wird in Österreich durch die Abfallverbrennungsverordnung geregelt. Sie soll sicherstellen, dass durch die Verbrennung oder Mitverbrennung von Abfällen keine negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt entstehen. Außerdem soll der Betrieb von Verbrennungs- und Mitverbrennungsanlagen so gestaltet werden, dass möglichst wenige Emissionen auftreten (BMLFUW & BMFJ, 2020).

Bei der thermischen Behandlung von Klärschlamm in Monoverbrennungsanlagen stellt die AVV eine wesentliche Hürde dar (ZINGERLE, 2018).

3.3.2.5 Österreichisches Aktionsprogramm zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie

Das österreichische Aktionsprogramm zur Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie ist wirksam für das gesamte Bundesgebiet. Es definiert Zeiträume, in denen die Ausbringung von Düngemitteln verboten ist, sowie Verfahren für die Ausbringung. Außerdem schreibt es Höchstmengen an eingesetzten Düngemitteln je Fläche und eine Dokumentation der Nährstoffzufuhr vor (BMLFUW, 2016).

3.3.2.6 Bundeskompostverordnung

Diese Verordnung beschreibt die Anforderungen an das Ausgangsmaterial, welches für die Kompostierung verwendet wird. Außerdem definiert sie die Grenzwerte, welche Komposte erfüllen müssen, um in der Landwirtschaft eingesetzt werden zu dürfen (OLIVIA, et al., 2009).

Gemäß Kompostverordnung ist Klärschlamm, mit der Deklaration als Kompost, nicht mehr als Abfall zu bewerten (BMLRT, 2017).

3.3.2.7 Düngemittelgesetz 1994

Im Düngemittelgesetz wird es ausgeschlossen, dass Mittel, welche Klärschlamm, Klärschlammkompost oder Fäkalien enthalten, als Düngemittel zugelassen und als solche in Verkehr gebracht werden (DÜNGEMITTELGESETZ, 2020).

3.3.2.8 Düngemittelverordnung 2004

Die österreichische Düngemittelverordnung besagt, dass Düngemittel keine Gefahr für die Bodenfruchtbarkeit, die pflanzliche, tierische und menschliche Gesundheit und die Umwelt darstellen dürfen. Im Zuge dessen weist sie Frachtgrenzwerte aus (BMLFUW, 2020).

3.3.2.9 Forstgesetz 1975

Laut österreichischem Forstgesetz ist eine Ablagerung von Klärschlamm auf Waldflächen nicht zulässig (OLIVIA, et al., 2009).

3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen auf Landesebene in Oberösterreich

In Österreich fällt der Bodenschutz in die Kompetenz der Länder. Dieser hat maßgeblichen Einfluss auf die Möglichkeiten der Klärschlammverwertung und somit gibt es in jedem Bundesland unterschiedliche Regelungen, ob, unter welchen Umständen und in welchem Ausmaß die landwirtschaftliche Verwertung von anfallendem Klärschlamm zulässig ist (LAMPERT, et al., 2014).

In Salzburg, Tirol und Wien gibt es ein generelles Verbot für die Ausbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft (OLIVIA, et al., 2009).

In Oberösterreich ist die landwirtschaftliche Verwertung von kommunalen Klärschlamm grundsätzlich erlaubt, nur eine Aufbringung auf Grünland ist verboten (LAMPERT, et al., 2014).

3.3.3.1 Oberösterreichisches Bodenschutzgesetz

Das oberösterreichische Bodenschutzgesetz 1991 definiert die Anforderungen, sowohl an den aufzubringenden Klärschlamm als auch an die Ackerfläche, welche für eine landwirtschaftliche Verwertung erfüllt werden müssen. Dafür werden Grenzwerte für Schadstoffgehalte im Klärschlamm und im Boden angegeben (HÖLZL, 2003).

Außerdem wird die Maximalmenge, welche ausgebracht werden darf, auf 10 Tonnen Trockensubstanz pro Hektar beschränkt (HÖLZL, 2003). Für, in Senkgruben und Kleinkläranlagen anfallenden, Klärschlamm (Trockensubstanzanteil unter 35 %) ist eine Maximalmenge von 50 m³, welche pro Jahr auf einen Hektar landwirtschaftlich genutzten Boden aufgebracht werden darf, angedacht (TRAUNER, et al., 2006).

Überdies hinaus wird auch erläutert, unter welchen Voraussetzungen es verboten ist, Klärschlamm landwirtschaftlich zu verwerten. So ist es zum Beispiel unzulässig, Klärschlamm

auf Almböden oder Flächen, die für den Gemüseanbau verwendet werden, auszubringen (HÖLZL, 2003).

3.3.3.2 Oberösterreichische Klärschlammverordnung

Auf Basis des Bodenschutzgesetzes, werden mit der oberösterreichischen Klärschlammverordnung die Schadstoffgrenzwerte im Klärschlamm und im Boden wie folgt verordnet (OÖ. KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG, 2020):

Tabelle 4:Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm, in mg/kg TS (§ 1 Oö. Klärschlammverordnung). (OLIVIA, et al., 2009)

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom	AOX
Grenzwerte	5	400	80	400	1.600	7	400	500

Tabelle 5: Schadstoffgrenzwerde im Boden (§ 2 Oö. Klärschlammverordnung). (OLIVIA, et al., 2009)

Parameter	Cadmium	Kupfer	Nickel	Blei	Zink	Quecksilber	Chrom
Grenzwerte (in mg/kg luftgetrockneter Boden)	0,5	60	60	100	150	0,5	100

3.3.4 Sonstige Regelwerke und Leitfäden

Neben den gesetzlichen Rahmenbedingungen gibt es auch andere Regelwerke und Leitfäden, welche bei der Klärschlammbewirtschaftung einschränken können.

3.3.4.1 Bundesabfallwirtschaftsplan

Mindestens alle sechs Jahre wird, gemäß Abfallwirtschaftsgesetz 2002, vom zuständigen Bundesministerium für Landwirtschaft, Region und Tourismus (Stand Oktober 2020) ein Bundesabfallwirtschaftsplan verfasst. Dieser soll den momentanen Bestand der Abfallwirtschaft Österreichs darlegen und im Zusammenhang damit zukünftige Maßnahmen, Strategien und Programme formulieren, welche sich an den Zielen des AWG 2002 orientieren und unmittelbar rechtsverbindliche Wirkung haben (BMLRT, 2017).

Von den Bundesländern werden in regelmäßigen Abständen wiederum eigene Abfallwirtschaftspläne, wie der oberösterreichische Abfallwirtschaftsplan 2017, erstellt. (siehe Punkt 3.3.4.2)

Klärschlamm kann mit Stoffen, wie schwer biologisch abbaubaren organischen Verbindungen, Schwermetallen, Nanomaterialien, pathogenen Mikroorganismen oder hormonell wirksamen Substanzen belastet sein, weswegen eine Aufbringung von belasteten Klärschlämmen generell auszuschließen ist. Außerdem darf es durch eine landwirtschaftliche Nutzung von Klärschlämmen nicht zur übermäßigen Anreicherung von Schadstoffen in der Umwelt kommen (BMLRT, 2017).

In kommunalem Klärschlamm sind nicht nur Schadstoffe enthalten, sondern auch eine Reihe von Nährstoffen. So zum Beispiel große Mengen an Phosphor, welcher als begrenzte, nicht substituierbare aber für die Landwirtschaft unabdingbare Ressource gilt. Somit wird empfohlen mittel- bis langfristig die Nutzung von Phosphor aus Klärschlamm zu intensivieren (ÖWAV,

2014). Die Ziele in diesem Zusammenhang wurden bereits in Unterkapitel 3.2.4 (Mittel und langfristige Ziele beim Umgang mit Klärschlamm in Österreich) beschrieben.

3.3.4.2 Oberösterreichischer Abfallwirtschaftsplan

In den Zuständigkeitsbereich der Länder fallen die Organisation und Durchführung der Sammlung und Behandlung nicht gefährlicher Siedlungsabfälle (PÜRMAYR, et al., 2017).

Obwohl der Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft durch gesetzliche Regelungen und anderer Anforderungen (z. B. AMA-Gütesiegel) erschwert wird, ist die jährlich auf Ackerflächen ausgebrachte Menge angestiegen. Das ist mit den hohen Nährstoffgehalten im Klärschlamm zu erklären. Ziel sollte es sein, diese Nährstoffe, insbesondere Phosphor, nutzbar zu machen und die Problematik mit Schadstoffen, die gegebenenfalls im Klärschlamm enthalten sind, weiter zu untersuchen (PÜRMAYR, et al., 2017).

3.3.4.3 ÖWAV-Positionspapier „Klärschlamm als Ressource“

Die landwirtschaftliche Verwertung kann nicht als in Zukunft gesicherter Verwertungspfad eingestuft werden, da er durch viele Richtlinien und gesetzliche Regelungen reglementiert ist und das Thema der potenziellen Risiken immer mehr in den Fokus rückt. Somit müssen alternative Möglichkeiten untersucht werden, die im Klärschlamm enthaltene und essenzielle Ressource Phosphor in der Nahrungsmittelproduktion einzusetzen (ÖWAV, 2014).

Zwar kann unter den momentanen Bedingungen bei der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm mit volkwirtschaftlichen Mehrkosten gerechnet werden, dennoch sollte, im Sinne des Vorsorgeprinzips, mittel- und langfristig eine Bewirtschaftung des Phosphors im Klärschlamm angestrebt werden. So soll der Klärschlamm auf Kläranlagen mit einer Ausbaugröße > 100.000 EW_{60} in den nächsten 15 - 20 Jahren nicht mehr der landwirtschaftlichen Verwertung (inkl. Kompostierung und Vererdung), sondern einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Das soll durch ein geeignetes Anreiz- und Fördersystem gelingen (ÖWAV, 2014).

3.3.4.4 ÖPUL 2015

Das Österreichische Programm zu Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL) besteht aus mehreren Maßnahmen (BMLRT, 2020). In der Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ wird die Verwendung von ertragssteigernden Betriebsmitteln eingeschränkt, womit sich ein Ausbringungsverbot für Klärschlamm und Klärschlammkompost ableiten lässt (HÖLZL, 2020).

3.3.4.5 AMA-Gütesiegel

Bei einem, mit dem AMA-Gütesiegel zertifiziertem Betrieb, darf keine Ausbringung von Klärschlamm oder kompostiertem Klärschlamm stattfinden. Das betrifft die gesamte Fläche von Betrieben mit Kälberaufzucht, Rinder- Kälbermast und Mutterkuhhaltung, Schaf- und Ziegenhaltung, Schweinehaltung und Haltung von Kühen (HÖLZL, 2020).

4. Material und Methoden

4.1 Material

Für die Bearbeitung der jeweiligen Forschungsfragen (Inventarisierung, Klärschlammanfall, Verwertungspfade) können folgende Datensätze als Datengrundlage herangezogen werden:

4.1.1 Abwasserreinigungsanlagen in Oberösterreich

Um einen vollständigen Überblick über den aktuellen Bestand an oberösterreichischen Kläranlagen zu bekommen, werden die Daten (Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) aller oberösterreichischer Kläranlagen benötigt. Insbesondere jene Anlagen einer Ausbaugröße von 501 - 1.999 EW_{60} sind hierbei von Interesse, da diese bisher noch in keiner gesammelten Aufstellung zentral erfasst wurden.

Vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung „Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft“ wurde 2020 ein Datensatz zur Verfügung gestellt, der anlagenbezogene Daten (z. B. Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt, Status und Reinigungsart, etc.) der oberösterreichischen Anlagen mit einer Ausbaugröße von > 49 EW_{60} beinhaltet (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a). Des Weiteren wurde eine zusätzliche Auflistung der Standortkoordinaten dieser Anlagen übermittelt (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020b).

Außerdem liegt dem Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz ein Datensatz aus dem Jahr 2019 vor, der ebenfalls vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung zur Verfügung gestellt wurde. Darin enthalten sind entsprechende Informationen zu allen Anlagen Oberösterreichs bis zu einer maximalen Ausbaugröße von 500 EW_{60} (ab 1 EW_{60}) inklusive ihrer Standortkoordinaten (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019).

Es konnte auch jener Datensatz aus dem Jahr 2016, welcher von Engstler (2020) als Datengrundlage für die von ihr verfasste Masterarbeit „Evaluation of the treatment performance of small wastewater treatment plants in Upper Austria“ verwendet wurde, gesichtet werden. Für die weitere Bearbeitung wurden jedoch die vorhin beschriebenen aktuellen Datensätze aus den Jahren 2019 und 2020 herangezogen.

Für eine Kartendarstellung wurden außerdem die shp-Dateien von Bundesländergrenzen (SYNERGIS INFORMATIONSSYSTEME GMBH, 2018) und Grenzen der oberösterreichischen Bezirke (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2013) genutzt.

4.1.2 Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich

Neben den Anlagendaten (Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) ist auch ein weiterer Datensatz mit den Informationen über den Klärschlammanfall (in m³ und Tonnen Trockensubstanz) und den zugehörigen Verwertungs- und Behandlungspfaden im Jahr 2019 beim Amt der Oberösterreichischen Landesregierung vorhanden, welcher ebenfalls für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt wurde (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c). Die darin enthaltenen Daten werden jährlich vom Land Oberösterreich erhoben.

Allerdings weist dieser Datensatz gewisse Lücken (insbesondere bei Kläranlagen geringerer Ausbaugrößen) auf. Von den kommunalen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße < 50 EW_{60} sind keinerlei Informationen bezüglich des Klärschlammanfalles vorhanden. In den jährlichen

Fremdüberwachungsberichten wird bei Anlagen dieser Ausbaugröße ausschließlich erfragt, ob der anfallende Klärschlamm ordnungsgemäß entsorgt wird, weitere Informationen müssen nicht angegeben werden. Diese fehlenden Daten müssen im Zuge der Bearbeitung dieser Masterarbeit ergänzt werden.

Für die Auswertungen wurden zudem ausschließlich jene Anlagen berücksichtigt, welche kommunales Abwasser behandeln. Vor allem durch die großen Klärschlammmengen, die in der Papier- und Zellstoffindustrie anfallen, wären die Ergebnisse ansonsten nicht mehr gut vergleichbar.

4.1.3 Klärschlammverwertungspfade in Oberösterreich

Für die Untersuchung der Verwertungsmöglichkeiten für anfallenden Klärschlamm stellt prinzipiell ebenfalls der im Unterkapitel 4.1.2 (Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich) beschrieben Datensatz die Grundlage dar. In diesem Datensatz sind Informationen über die im Jahre 2019 gewählten Verwertungspfade enthalten.

Für die weitere Bearbeitung wurden zusammenfassend folgende Datensätze des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung herangezogen:

- Datensatz zu den Anlagen > 49 EW_{60}
- Datensatz zu den Anlagen ≤ 500 EW_{60} (inkl. Standortkoordinaten)
- Datensatz mit den Standortkoordinaten der Anlagen > 49 EW_{60}
- Datensatz mit den erfassten Klärschlammdaten

4.2 Methoden

Im Anschluss werden die Methoden und Vorgangsweisen erläutert, welche zur Beantwortung der in Kapitel 2 (Zielsetzung und Aufgabenstellung) angeführten Forschungsfragen dienen.

4.2.1 Inventarisierung der Abwasserreinigungsanlagen

Für die Erstellung eines vollständigen Datensatzes, in dem alle oberösterreichischen Kläranlagen inkl. der relevanten (Stamm-)Daten vorhanden sind, werden die in Unterkapitel 4.1.1 (Abwasserreinigungsanlagen in Oberösterreich) beschriebenen Datensätze in einer einzigen Exceldatei zusammengefasst. Dabei werden die Informationen zur Bezeichnung, Bundesnummer (ID-Nummer), Reinigungstechnologie, Bewilligungszeitpunkt und Lage aller Kläranlagen zusammengeführt.

Um eine differenzierte Auswertung bzw. strukturierte Darstellung der Daten zu ermöglichen, werden die Abwasserreinigungsanlagen folgenden Größenklassen zugeteilt:

Größenklasse I	≤ 50 EW_{60} → Kleinkläranlagen (KKA)
Größenklasse II	51 - 500 EW_{60} → kleine Kläranlagen
Größenklasse III	501 - 1.999 EW_{60}
Größenklasse IV	2.000 - 19.999 EW_{60}
Größenklasse V	20.000 - 49.999 EW_{60}
Größenklasse VI	≥ 50.000 EW_{60}

Die Größenklassen I und II orientieren sich in Anlehnung an Feigl (2018) an der Unterteilung für Kleinkläranlagen und kleinen Kläranlagen. Die Größenklasse III definiert sich dadurch, dass bis

zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Gesamtaufstellung der Kläranlagen dieser Größe durchgeführt worden ist. Ab einer Ausbaugröße von 50.000 EW_{60} sind Anlagenbetreiber vom Bundesabfallwirtschaftsplan dazu angehalten, auf jeden Fall weiterführende Überlegungen in Bezug auf deren künftige Klärschlammverwertung (beispielsweise Monoverbrennung) anzustellen (BMNT, 2017). Nach Kretschmer et al. (2018) reichen die Anlagen ≥ 50.000 EW_{60} allerdings nicht aus, um die Ziele des Bundesabfallwirtschaftsplanes zu erreichen. Deswegen wird bei 20.000 EW_{60} eine zusätzliche Grenze zwischen Größenklasse IV und V gezogen.

Darüber hinaus erfolgt auch eine Einordnung der Kläranlagen hinsichtlich der angewendeten Reinigungstechnologien (Verfahrens- bzw. Bautypen). Dabei orientiert sich diese Arbeit an den Ausführungen von Langergraber et al. (2018) bzw. Engstler et al. (2020). Es wird zwischen folgenden sechs Verfahren unterschieden:

- Belebung im Durchlaufbetrieb mit aerober Schlammstabilisierung
- Aufstauverfahren – SBR (sequencing batch reactor)
- Belebung mit anschließender anaerober Schlammstabilisierung (Faulturm)
- Pflanzenkläranlagen
- Sonstiges
- Mechanisch (bei Anlagen einer Ausbaugröße ≤ 500 EW_{60})

Eine Beschreibung dieser Kläranlagentypen ist in Unterkapitel 3.1 (Technologien der Abwasserreinigung) zu finden. Bei Anlagen der Kategorie „mechanisch“ handelt es sich um Anlagen, welche ausschließlich mit einer mechanischen Reinigungsstufe ausgestattet sind. In der Kategorie „Sonstiges“ wurden Anlagen zusammengefasst, die nur einen sehr kleinen Anteil der Gesamtausbaugröße ausmachen. Dazu zählen beispielsweise Tropfkörper- und Tauchkörperanlagen.

Für eine lage- bzw. planmäßige Darstellung der Standorte der Kläranlagen werden die Standortskoordinaten vom Land Oberösterreich genutzt. Diese sind als „Gauß-Krüger-Koordinaten“ vorhanden und müssen noch in ihrem Rechtswert um +450.000 korrigiert werden, da Oberösterreich im M31 Streifen des Bundesmeldenetzes liegt. Die Anlagendaten werden anschließend gemeinsam mit den entsprechenden Koordinaten in ein csv-Format übergeführt und in QGIS importiert. Anhand der EW_{60} werden die Anlagen in Größenklassen gruppiert, um sie mithilfe unterschiedlicher Farben erkenntlich zu machen.

Um die geografische Lage besser ersichtlich zu machen, werden außerdem die oberösterreichischen Landes- und Bezirksgrenzen dargestellt und im Hintergrund mittels OSM-Plugin eine Open-Street-Map eingeblendet.

4.2.2 Quantifizierung des kommunalen Klärschlammanfalls

Für die Untersuchungen zum Klärschlammanfall werden die Klärschlammmengen des in Unterkapitel 4.1.2 (Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich) beschriebenen Datensatzes des Landes Oberösterreich den Kläranlagen in der zuvor erstellten Exceldatei zugeordnet.

Wie bereits erläutert, ist der Klärschlammanfall nicht für alle Kläranlagen verfügbar. Aus diesem Grund müssen die Anfallsmengen gegebenenfalls abgeschätzt werden. Dabei wird wie folgt vorgegangen:

In einem ersten Schritt wird mithilfe der vorhandenen Daten ein mittlerer spezifischer Klärschlammanfall je EW_{60} und Jahr in kg [kg/(EW_{60}*a)] für die einzelnen Reinigungstechnologien (Bautypen) je nach Größenklassen errechnet. Anschließend wird den Kläranlagen, für welche der Klärschlammanfall nicht verfügbar ist, der zuvor ermittelte spezifische Klärschlammanfall (der Reinigungstechnologie und Größenklasse, die dieser Kläranlage entsprechen) zugeteilt. Durch Multiplikation mit der bekannten Ausbaugröße ergibt sich schlussendlich ein jährlicher Klärschlammanfall. Um das Verfahren einer Plausibilitätskontrolle zu unterziehen, werden die abgeleiteten spezifischen Klärschlammwerte mit Werten aus der Literatur verglichen.

Diese Vorgangsweise kann allerdings nicht bei der Größenklasse I (≤ 50 EW_{60}) angewendet werden, da hier von keiner Anlage Informationen zu den Klärschlammmengen verfügbar sind. Da diese Größenklasse eine vergleichsweise kleine Gesamtausbaugröße hat und es sich somit auch um anteilsmäßig geringfügige Klärschlammmengen handelt, wird hier vereinfacht der spezifische Klärschlammanfall der nächstgrößeren Größenklasse II für die Abschätzung genutzt. So wird beispielsweise der mittlere spezifische Klärschlammanfall der Belebungsanlagen aus der Größenklasse II ebenfalls für Anlagen dieses Bautyps in Größenklasse I angesetzt.

Eine weitere umfassende Datenlücke zeigt sich für den Klärschlammanfall in Pflanzenkläranlagen und mechanischen Kläranlagen. Bei diesen fällt ausschließlich Primärschlamm an. Bei Imhoff et al. (2007) wird der Primärschlammanfall in Belebungsanlagen mit rund 70 % des Belebtschlammanfalls angegeben. Daran orientiert, wird der spezifische Klärschlammanfall der Pflanzenkläranlagen und mechanischen Abwasserreinigungsanlagen anhand der Belebungsanlagen der gleichen Ausbaugröße unter Berücksichtigung eines Faktors 0,7 ermittelt.

4.2.3 Erhebung der Klärschlammverwertungspfade

Um die aktuelle Situation der Klärschlammverwertung in Oberösterreich darstellen zu können, werden die Klärschlammmengen, entsprechend dem Datensatz des Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung, einzelnen Verwertungspfaden zugeteilt. Bei Anlagen, deren anfallende Klärschlammmengen nicht bekannt ist, ergeben sich hier ebenfalls Datenlücken, welche im Zuge dieser Arbeit jedoch nicht geschlossen werden können und einer gesonderten Untersuchung bedürfen.

Das Land Oberösterreich unterscheidet zwischen folgenden Verwertungspfaden:

- Landwirtschaftliche Verwertung
- Kompostierung
- Verbrennung
- Sonstiges

Um zu konkretisieren, um welche Verwertungspfade es sich bei „Sonstiges“ handelt, wird eine qualitative und leitfadengestützte Interviewbefragung bei den betroffenen Kläranlagenbetreibern durchgeführt. Anhand der dabei gewonnenen Erkenntnisse wird vorherige Auflistung in Unterkapitel 5.3.1 (Aktuelle Klärschlammverwertungspfade) ergänzt. Im Zuge der Befragungen werden auch gleich die Motive für die Wahl des Verwertungspfades erfragt.

Mit einer zweiten Interviewbefragung der Betreiber von Kläranlagen, deren Klärschlamm in eine Verbrennung geführt wird, soll zudem erhoben werden, in welchen Verbrennungsanlagen eine

solche Klärschlammverwertung zum momentanen Zeitpunkt möglich ist und aus welchen Beweggründen (Motiven) sich diese Kläranlagenbetreiber bereits jetzt für eine thermische Verwertung entschieden haben.

Diese leitfadengestützten Interviews sollen mündlich über den telefonischen Weg stattfinden. Wenn dies nicht möglich ist, werden die Hintergrundinformationen und Fragen schriftlich per E-Mail mit der Bitte um Beantwortung überstellt. Je nach Gesprächsbereitschaft des Interviewpartners ist eine Dauer der Interviews von rund 5 bis 15 min geplant. Aus Gründen des Datenschutzes werden die gewonnen Informationen in der weiteren Bearbeitung anonymisiert. Die Kontaktinformationen von den Gesprächspartnern (Amtsleitern, Kläranlagenbetreibern oder Klärwärtern unterschiedlicher Kläranlagen) müssen vorab recherchiert werden.

Um eine wissenschaftliche Vergleichbarkeit und objektive Betrachtung der Interviews zu gewährleisten, wird vorab ein Leitfaden in Form eines Fragebogens verfasst. Um dem Interviewpartner einen besseren Einblick in die Hintergründe der Befragung zu bieten, wird außerdem eine kurze Zusammenfassung über die Ziele der Masterarbeit erstellt, die dem Befragten (falls dieser das wünscht) vorab zugeschickt werden und bei/nach der Befragung als zusätzliche Informationen dienen kann. Als Grundlage für die spätere Auswertung wird während der Interviews ein Stichwortprotokoll geführt.

Die zwei Interviewbefragungen und deren Auswertung werden anschließend noch kurz spezifisch erläutert:

Klärschlammverwertungspfade der Kategorie „Sonstiges“

Die Befragung wird bei Anlagen durchgeführt, welche kommunale Abwässer behandeln, nicht von der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans erfasst werden (also eine Ausbaugröße von ≤ 50.000 EW_{60} aufweisen) und laut dem Datensatz des zuständigen Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung Klärschlamm dem Verwertungspfad „Sonstiges“ zuführen.

Wie bereits beschrieben, soll hier aufgezeigt werden, worum es sich bei dem Verwertungspfad „Sonstiges“ handelt und welche Gründe ausschlaggebend für die Wahl dieses Pfades waren.

Im Leitfaden für diese Befragungen sind folgende Fragen angeführt:

1. In welche Verwertungspfade wird Klärschlamm aus dieser Anlage geführt?
2. Warum hat sich diese Anlage für diesen Verwertungspfad entschieden?

Die dazugehörige Hintergrundzusammenfassung ist in Unterkapitel 13.1 zu finden. Eine Protokollvorlage, welche während des Gesprächs stichwortartig ausgefüllt wird, ist in Unterkapitel 13.2 angeführt.

Die Darstellung der Gründe (Motive) für die Wahl der jeweiligen Verwertungspfade erfolgt, indem die genannten Motive den eingeschlagenen Verwertungspfaden zugeteilt und als Gesamtanzahl von Nennungen aufsummiert werden.

Thermische Verwertung von Klärschlamm

Diese Befragung konzentriert sich ebenfalls auf die Kläranlagen, welche nicht vom Bundesabfallwirtschaftsplan berücksichtigt werden (also mit einer Größenklasse von < 50.000 EW_{60}) und Klärschlamm explizit einer thermischen Verwertung zuführen. Damit soll eruiert werden, wo die thermische Verwertung in Oberösterreich derzeit durchgeführt werden kann, und warum man sich für diesen Verwertungspfad entschieden hat.

Der Leitfaden für diese Interviews umfasst dabei folgende Fragen:

1. Warum hat sich die Anlage für diesen Verwertungspfad entschieden?
2. Wo wird der Klärschlamm thermisch verwertet?
3. Was für eine Art von Verbrennungsanlage ist das (Monoverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage, was wird gegebenenfalls mitverbrannt)?

Die dafür zusammengefassten Hintergründe zur Masterarbeit und eine Protokollbeilage sind in den Unterkapiteln 13.3 und 13.4 ersichtlich.

Bei der Auswertung werden die genannten Beweggründe zusammengefasst, um eine Anzahl von Nennungen zu ermitteln.

Um die thermische Verwertung des Klärschlammes in einen räumlichen Bezug zu setzen, wird auch hier die Geoinformationssoftware QGIS verwendet. Indem die Anlagendaten regelbasierend gefiltert werden, werden ausschließlich jene Anlagen gezeigt, welche Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen. Darüber hinaus werden die Verbrennungsanlagen Oberösterreichs händisch in die Karte eingetragen.

5. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse gliedern sich in drei Teile, die sich an den in Kapitel 2 definierten Zielen (Forschungsfragen) dieser Arbeit orientieren. Neben der Beschreibung der Ergebnisse wird eine Diskussion dieser durchgeführt, und im Anschluss an jedes Unterkapitel wird in einem kurzen Zwischenfazit das Wichtigste nochmals zusammengefasst.

5.1 Bestand an kommunalen Kläranlagen

Ergebnis der Bearbeitung des in Kapitel 2 definierten 1. Zieles ist ein Datensatz, in dem die Daten aller oberösterreichischen Kläranlagen zentral zusammengefasst und ausgewertet sind. Die Erstellung und Bearbeitung dieses Datensatzes ist bereits in Unterkapitel 4.2.2 (Quantifizierung des kommunalen Klärschlammanfalls) erläutert. Zwar sind in diesem Datensatz auch industrielle Kläranlagen enthalten, für die weitere Analyse wurden allerdings, wie vorhergehend bereits erwähnt, nur die Daten der kommunalen Anlagen berücksichtigt.

5.1.1 Gesamtübersicht

In der folgenden Tabelle 6 ist die Anzahl der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs aller Größenklassen und Verfahrenstypen dargestellt.

Gesamt sind in Oberösterreich 2.782 kommunale Kläranlagen in Betrieb. Der am häufigsten vertretenen Bautyp ist dabei der SBR. Ein Drittel (926 Stück) der kommunalen Anlagen verwendet diese Technologie zur Reinigung der anfallenden Abwässer. Mit leicht über 29 % (814 Stück) sind Belebungsanlagen (im Durchlaufbetrieb und mit aerober Schlammstabilisierung) am zweitöftesten anzutreffen. Der Verfahrenstyp der Pflanzenkläranlage befindet sich an, von der Anlagenanzahl her, dritter Stelle. 551 solche Anlagen befinden sich in Oberösterreich in Betrieb, was knapp 20 % der kommunalen Kläranlagen entspricht.

Tabelle 6: Anzahl aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

Anlagenanzahl	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe je Größen-klasse	%
≤ 50 EW	659	859	-	536	152	308	2.514	90,4%
51-500 EW	35	57	-	15	5	-	112	4,0%
501-1.999 EW	30	7	-	-	1	-	38	1,4%
2.000-19.999 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%		

In Abbildung 20 wird visuell verdeutlicht, dass die Anzahl der Anlagen mit steigender Ausbaugröße deutlich abnimmt. Während es in Oberösterreich über 2.500 Anlagen der Ausbaugröße ≤ 50 EW_{60} gibt, sind es nur 15 Anlagen ≥ 50.000 EW_{60}. Jedoch ist eine kleine Ausnahme dieses Trends erkennbar. Während 38 Kläranlagen der Größenklasse III in Betrieb sind, sind es 86 Anlagen der Größenklasse IV.

Man erkennt auch, dass Belebungsanlagen in allen Größenklassen zur Anwendung kommen. Im Gegensatz dazu ist eine rein mechanische Abwasserreinigung, welche seit der Novellierung des Wasserrechtsgesetzes im Jahr 1990 auch nicht mehr dem Stand der Technik entspricht (LANGERGRABER, et al., 2018), nur mehr bei KKA anzutreffen. 308 solcher Anlagen, also über 11 % der oberösterreichischen Abwasserreinigungsanlagen, sind bis heute in Betrieb. Sollte man sich in Zukunft zum Ziel setzten, die Abwasserreinigung vollständig an den Stand der Technik anzupassen, kann demensprechend vor allem bei Anlagen dieser Größenklasse, welche in erster Linie im ländlichen Raum anzutreffen sind, mit Handlungsbedarf gerechnet werden.

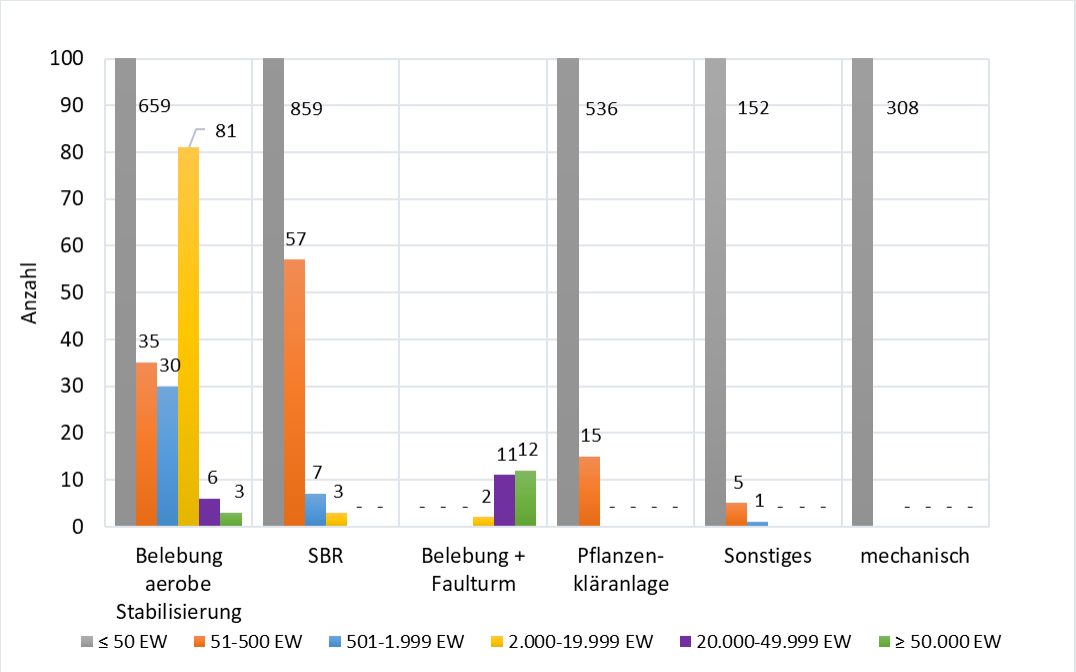


Abbildung 20: Anzahl aller Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

In Abbildung 21 sind die Verteilungen der Technologietypen je Größenklasse abgebildet. Auffallend ist, dass bei Größenklassen geringerer Ausbaugröße ein breiteres Spektrum von Typen verwendet wird. Von Größenklasse I zu Größenklasse IV steigt der Anteil der Belebungsanlagen mit einer aeroben Schlammstabilisierung stetig an. In den nachfolgenden Größenklassen V und VI ist die Belebungsanlage mit einer anaeroben Schlammstabilisierung in einem Faulturm das vorherrschende Verfahren.

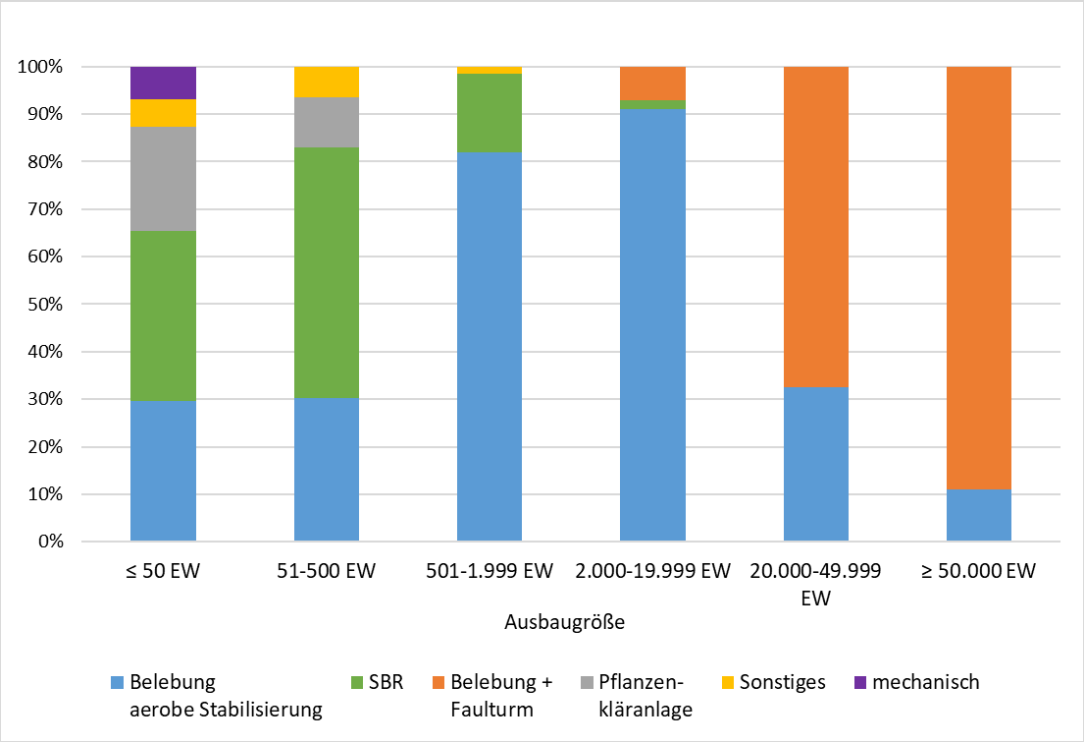


Abbildung 21:Verteilung der eingesetzten Anlagentechnologien je Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

Tabelle 7 zeigt die Ausbaugrößen verteilt auf die Technologietypen je Größenklasse. Die oberösterreichischen Kläranlagen haben eine insgesamte Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60}. Klar ersichtlich ist, dass ein Großteil des in Oberösterreich anfallenden kommunalen Abwassers in Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung behandelt wird. Über 70 % der kommunalen Abwässer werden auf diese Weise von nicht einmal 1 % der Kläranlagen gereinigt. Es handelt sich hierbei hauptsächlich um die größten Anlagen in Oberösterreich, die vor allem in Städten (z. B. Linz, Wels, etc.) angesiedelt sind. An zweiter Stelle kommt die Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung.

Zwar ist ein Drittel der Kläranlagen als SBR gebaut, diese Anlagen verfügen aber nur über knapp 1 % der gesamten Ausbaukapazitäten. Damit wird verdeutlicht, dass es sich hier lediglich um kleine Anlagen handelt.

Tabelle 7: Ausbaugröße aller kommunaler Kläranlagen nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

Ausbaugröße [EW_{60}]	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges	mechanisch	Summe je Größen-klasse	%
≤ 50 EW	9.103	10.977	-	6.746	1.729	2.128	30.683	0,9%
51-500 EW	5.589	9.707	-	1.958	1.188	-	18.442	0,5%
501-1.999 EW	36.655	7.317	-	-	700	-	44.672	1,3%
2.000-19.999 EW	450.145	9.700	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	8.704	3.617	2.128	3.494.557	
%	26,5%	1,1%	72,0%	0,2%	0,1%	0,1%		

In Abbildung 22 findet sich eine Visualisierung dieser Werte. Hier verdeutlicht sich nochmals, dass ein Großteil des Abwassers in Belebungsanlagen mit Faulturm gereinigt wird.

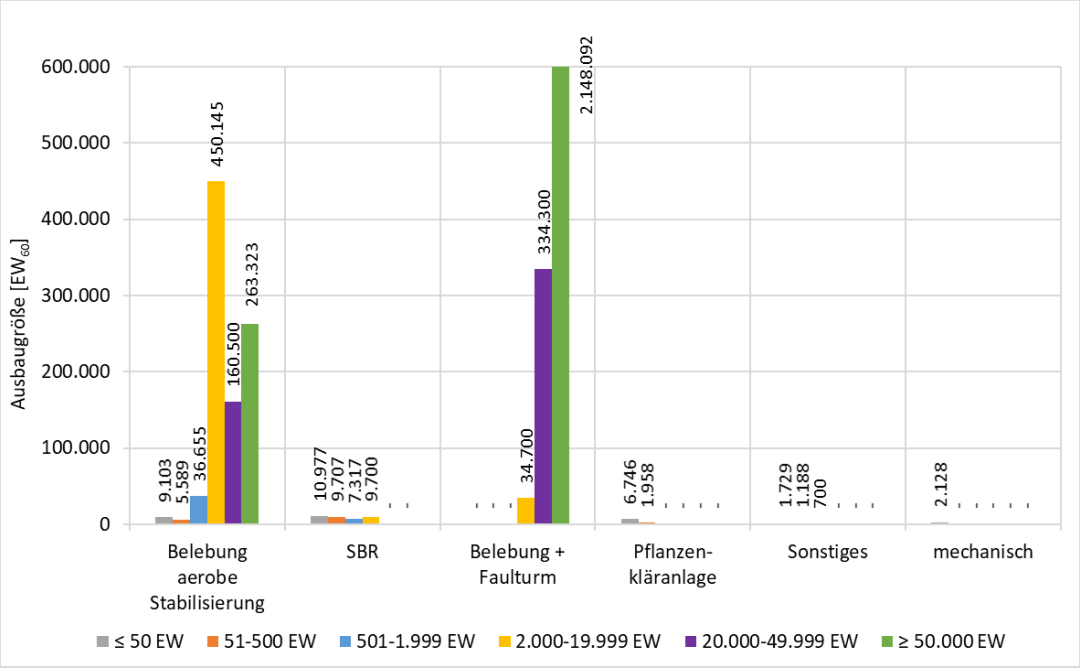


Abbildung 22: Ausbaugröße aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

Wie bereits zuvor angedeutet, zeigt ein Vergleich der aufsummierten Anzahl und Ausbaugrößen je Größenklasse in Abbildung 23, dass zwar über 90 % (2.626 Stück) der Anlagen Oberösterreichs eine Ausbaugröße ≤ 500 EW_{60} haben, diese aber nur etwa 2 % (rund 50.000 EW_{60}) der gesamten Ausbaugröße ausmachen. Dem gegenüber stehen 1 % (15 Stück) der Anlagen mit einer Ausbaugröße ≥ 50.000 EW_{60}, welche beinahe 70 % (rund 2,4 Mio. EW_{60}) des in Oberösterreich anfallenden kommunalen Abwassers reinigen.

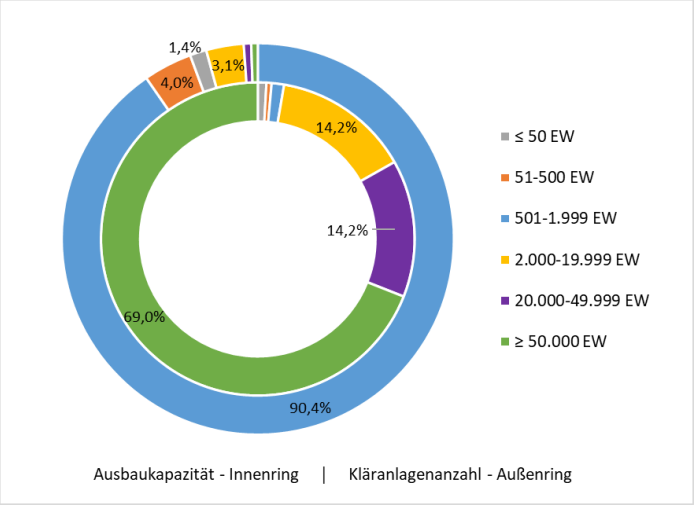


Abbildung 23: Vergleich Kläranlagenanzahl und Ausbaugrößen je Größenklasse in %; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

In Abbildung 24 sind die Standorte der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs dargestellt. Es fällt auf, dass in den gebirgigen Regionen im Süden Oberösterreichs weniger Anlagen in Betrieb sind als beispielsweise im nördlich befindlichen Mühlviertel. Die Anlagen der Größenklasse I werden, zwecks der Übersichtlichkeit, in einer eigenen Karte in Unterkapitel 5.1.2 (Anlagen der Größenklasse I (≤ 50 EW_{60}) dargestellt.

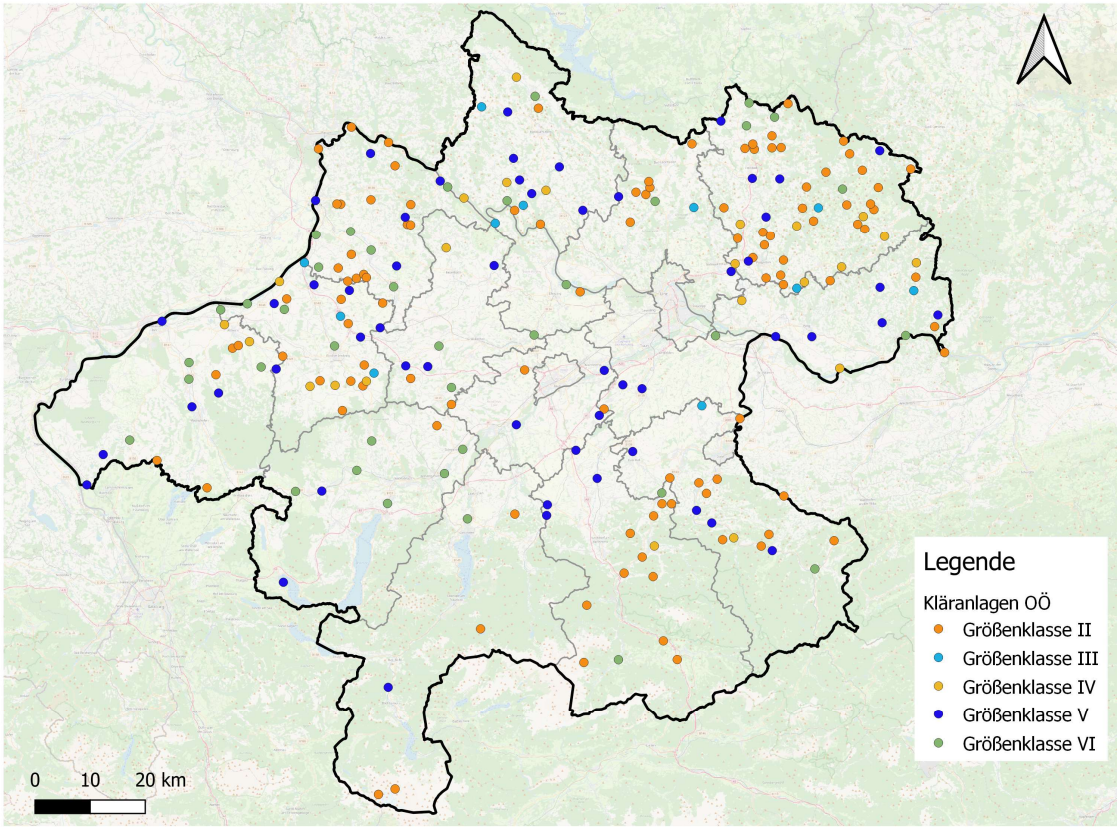


Abbildung 24: Standorte der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklassen (II – VI); eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020b)

In Folge wird auf die einzelnen Größenklassen eingegangen, um einen detaillierten Einblick zu schaffen.

5.1.2 Anlagen der Größenklasse I (≤ 50 EW_{60})

In Oberösterreich werden 2.514 Kläranlagen (90,4 %) der Größenklasse I zugeordnet. Diese verfügen über knapp 1 % der Gesamtausbaugröße (rund 31.000 EW_{60}). Wie in Tabelle 8 gezeigt, ist bei den Anlagen mit einer maximalen Ausbaugröße von 50 EW_{60} der mit 36 % am häufigsten vertretenen Bautyp der des SBR. Außerdem häufig vertreten sind Anlagen als Belebungsanlage (30 %) und Pflanzenkläranlagen (22 %).

Obwohl, wie schon erwähnt, die Behandlung von kommunalen Abwässern durch eine rein mechanische Abwasserbehandlung (z. B. 3-Kammer-Faulanlage) nicht mehr dem Stand der Technik entspricht (Amt der OÖ. Landesregierung, 2006), gibt es in Oberösterreich immer noch über 300 solcher Anlagen. Das entspricht einem Anteil von 12 % der Größenklasse I. Wie in Tabelle 8 zu sehen, behandeln diese aber nur in etwa 7 % des gereinigten Abwassers, welches

zu den Anlagen mit einer Ausbaugröße ≤ 50 EW_{60} geführt wird. Folglich handelt es sich hierbei durchschnittlich um sehr kleine Anlagen.

Tabelle 8: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse I; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges	mechanisch
Anzahl	659	859	-	536	152	308
EW_{60}	9.103	10.977	-	6.746	1.729	2.128
Anteil Anlagenanzahl	26%	34%	0%	21%	6%	12%
Anteil EW	30%	36%	0%	22%	6%	7%

Die Prozentwerte ergeben hier in Summe nicht 100 %. Diese Abweichung ist auf einen Rundungsfehler zurückzuführen.

Die Standorte der KKA Oberösterreichs werden in Abbildung 25 gezeigt. Auch bei den Anlagen dieser Größenklasse ist eine geringere Anzahl im Süd-Westen als im Norden und Osten erkennbar.

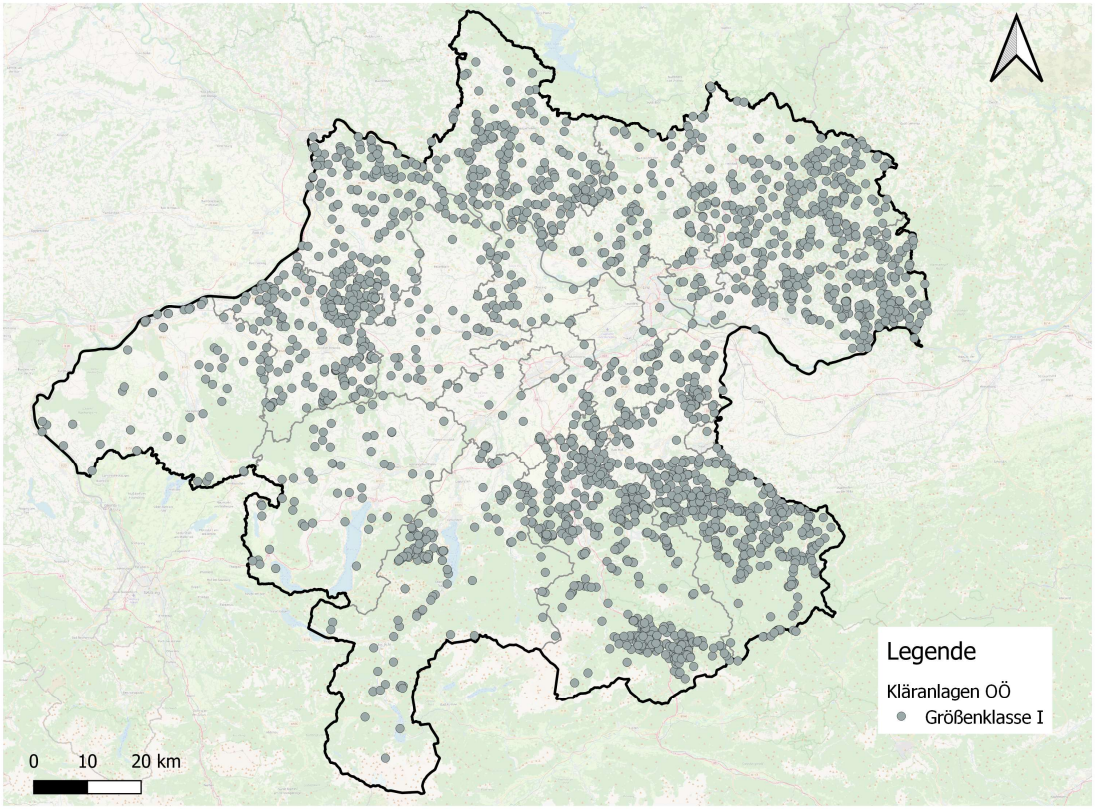


Abbildung 25: Standorte der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs der Größenklassen I); eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020b)

5.1.3 Anlagen der Größenklasse II (51 - 500 EW_{60})

112 (4,0 %) der Kläranlagen gehören der Größenklasse II, welche eine Gesamtausbaugröße von rund 18.500 EW_{60} (0,5 %) aufweist, an. Auch bei diesen ist der SBR der vorherrschende

Anlagentyp. Wie in Tabelle 9 ersichtlich, sind über die Hälfte aller Anlagen in dieser Technologie ausgeführt. Knapp ein Drittel der Anlagen mit einer Ausbaugröße von 51 - 500 EW_{60} sind Belebungsanlagen.

Im Vergleich zur Größenklasse I ist der prozentuelle Anteil der Pflanzenkläranlagen mit nur mehr 11 % deutlich geringer. Mechanische Anlagen gibt es ab einer Anlagengröße von 51 EW_{60} nicht mehr.

Tabelle 9: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse II; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges
Anzahl	35	57	-	15	5
EW_{60}	5.589	9.707	-	1.958	1.188
Anteil Anlagenanzahl	31%	51%	0%	13%	4%
Anteil EW	30%	53%	0%	11%	6%

Die Prozentwerte ergeben hier in Summe nicht 100 %. Diese Abweichung ist wieder auf einen Rundungsfehler zurückzuführen.

5.1.4 Anlagen der Größenklasse III (501 - 2.000 EW_{60})

In Größenklasse III können 38 oberösterreichische Kläranlagen (1,4 %) eingeordnet werden, von welchen das Abwasser von fast 45.000 EW_{60} (1,3 %) gereinigt werden. Wie in Tabelle 10 erkennbar, ist ein Großteil der untersuchten Kläranlagen mit einer Ausbaugröße 500 - 1.999 EW_{60} als Belebungsanlage ausgeführt. Bei der Betrachtung der gereinigten Abwassermengen je Anlagenbautyp ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Menge des gereinigten Abwassers mittels Belebungsanlage im Durchlaufbetrieb überwiegt auch hier. Weniger als ein Fünftel des anfallenden Abwassers wird mit einer anderen Technologie gereinigt.

Es gibt in Oberösterreich ab einer Ausbaugröße von über 500 EW_{60} keine Anlagen mit einem bepflanzten Bodenfilter (Pflanzenkläranlage) als Hauptreinigungsstufe.

Tabelle 10: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse III; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges
Anzahl	30	7	-	-	1
EW_{60}	36.655	7.317	-	-	700
Anteil Anlagenanzahl	79%	18%	0%	0%	3%
Anteil EW	82%	16%	0%	0%	2%

5.1.5 Anlagen der Größenklasse IV (2.000 - 19.999 EW_{60})

86 Kläranlagen (3,1 %) gehören der Größenklasse IV an, die zusammen über eine Ausbaugröße von knapp 500.000 EW_{60} (14,2 %) verfügen. Das zu den Anlagen der Größenklasse IV geführte kommunale Abwasser wird fast vollständig mittels „Belebung“ gereinigt. Nur fünf Kläranlagen dieser Ausbaugröße sind in einer anderen Technologie

ausgeführt. Von diesen sind drei SBR Anlagen und zwei verfügen über einen Faulturm zur anaeroben Stabilisierung des Klärschlammes. (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse IV; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges
Anzahl	81	3	2	-	-
EW_{60}	450.145	9.700	34.700	-	-
Anteil Anlagenanzahl	94%	3%	2%	0%	0%
Anteil EW	91%	2%	7%	0%	0%

Die Prozentwerte ergeben hier in Summe nicht 100 %. Diese Abweichung ist wieder auf einen Rundungsfehler zurückzuführen.

5.1.6 Anlagen der Größenklasse V (20.000 – 49.999 EW_{60})

Die 17 Kläranlagen (0,7 %) der Größenklasse V reinigen gesamt das Abwasser von rund 500.000 EW_{60} (14,2 %). Von diesen sind knapp zwei Drittel als Belebungsanlagen mit anaerober und ein Drittel als Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung ausgeführt.

Tabelle 12: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse V; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges
Anzahl	6	-	11	-	-
EW_{60}	160.500	-	334.300	-	-
Anteil Anlagenanzahl	35%	0%	65%	0%	0%
Anteil EW	32%	0%	68%	0%	0%

5.1.7 Anlagen der Größenklasse VI (≥ 50.000 EW_{60})

Bei den restlichen 15 Anlagen (0,6 %), mit einer gemeinsamen Ausbaugröße von rund 2,4 Mio EW_{60} (69,0 %), ist die Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung (Faulung) noch vorherrschender. Zwölf Anlagen dieses Technologietyps sind in Größenklasse VI in Betrieb.

Tabelle 13: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse VI; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges
Anzahl	3	-	12	-	-
EW_{60}	263.323	-	2.148.092	-	-
Anteil Anlagenanzahl	20%	0%	80%	0%	0%
Anteil EW	11%	0%	89%	0%	0%

5.1.8 Zwischenfazit

Zusammengefasst gibt es in Oberösterreich 2.782 kommunale Kläranlagen, die in Summe eine Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60} haben. Der Großteil dieser Reinigungsleistung fällt auf die Anlagen der Größenklasse VI. Über 70 % der kommunalen Abwässer werden dabei in Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung behandelt.

Bei den Kläranlagen der Größenklassen I und II ist eine höhere Varietät der Bauarten zu erkennen. Diese meist im ländlichen Raum anzutreffenden Anlagen haben zwar eine deutlich geringere Gesamtausbaugröße, sie sind jedoch in sehr großer Zahl in Betrieb und machen so fast 95 % der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs aus.

Der nicht mehr dem Stand der Technik entsprechenden Technologietyp der (alleinigen) mechanischen Abwasserreinigung (z. B. 3-Kammer-Faulanlage) ist nur mehr bei den kleinsten Kläranlagen der Größenklasse I im Einsatz.

5.2 Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen

Das zweite Ziel dieser Arbeit ist, wie in Kapitel 2 (Zielsetzung und Aufgabenstellung) erläutert, den Anfall von Klärschlamm zu ermitteln. Dies soll in Bezug auf die jeweilige Größenklasse der Kläranlagen und die dort eingesetzte Reinigungstechnologie betrachtet werden.

Wie in Unterkapitel 4.1.2 (Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich) beschrieben, wird der Klärschlammanfall vom Land Oberösterreich nur bei einer begrenzten Anzahl von Kläranlagen erfasst und musste so für die restlichen Anlagen ergänzt/abgeschätzt werden. Dabei wurde je nach Datengrundlage unterschiedlich vorgegangen (siehe Unterkapitel 4.2.2 - Quantifizierung des kommunalen Klärschlammanfalls). Auch hier wurde ausschließlich der Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs berücksichtigt. Um die Plausibilität zu prüfen werden die ermittelten spezifischen Klärschlammanfallsmengen mit Literaturwerten verglichen.

5.2.1 Gesamter kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich

Tabelle 14 zeigt, dass pro Jahr rund 38.000 Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm in den oberösterreichischen kommunalen Kläranlagen anfallen. Wie die gereinigte Abwassermenge ist konsequenterweise auch die anfallende Klärschlammmenge bei Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung am höchsten, da dieser Verfahrenstyp vor allem von Kläranlagen der Größenklasse VI gewählt wird. Knapp 60 % der Schlammtrockensubstanzmenge fallen in diesen Anlagen an.

Bei einem Blick auf den mittleren spezifischen Klärschlammanfall je nach eingesetzten Reinigungsverfahren wird ersichtlich, dass hier Unterschiede vorliegen. Bei Betrachtung des spezifischen Klärschlammanfalls fällt auf, dass dieser bei Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung um rund 15 % geringer als bei Belebungsanlagen mit einer anaeroben Stabilisierung bzw. SBR-Anlagen ausfällt. Jedoch wird darüber hinaus die Standardabweichung angeführt, um die Interpretation der Werte zu erleichtern. Wird diese berücksichtigt kann festgestellt werden, dass die Unterschiede der spezifischen Klärschlammanfallsmengen von Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung, SBR- Anlagen und Belebungsanlagen mit anaerober Stabilisierung nicht signifikant sind.

Sowohl von Pflanzenkläranlagen als auch von mechanischen Abwasserreinigungsanlagen sind keine Daten bezüglich des Klärschlammanfalls vorhanden. Hier mussten somit sämtliche Werte rechnerisch ergänzt werden.

Tabelle 14: Jährlicher Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019)

	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges	mechanisch	**Summe**
Anzahl	814	926	25	551	158	308	2.782
EW_{60}	925.315	37.701	2.517.092	8.704	3.617	2.128	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%	
kg TS Klärschlamm/(EW*a)	10,7	13,2	12,7	7,3	19,9	7,3	**11,0**
Standardabweichung ±	2,6	0,9	6,6	0,0	0,8	0,0	**3,6**

Bei einem Vergleich der ermittelten spezifischen Klärschlammanfälle mit den Werten aus der Literatur muss berücksichtigt werden, dass bei Lindtner (2008) ausschließlich Belebungsanlagen mit aerober und anaerober Stabilisierung betrachtet wurden. Bei diesen ist man in Oberösterreich im unteren Bereich des angegebenen Rahmens angesiedelt. Von Imhoff et al. (2007) werden deutlich höhere spezifische Klärschlammanfälle genannt als sich in den aktuellen Untersuchungen ergeben. Das kann damit zusammenhängen, dass die Werte bei Imhoff et al. (2007) auf schon älteren Daten aus dem Jahr 1983 basieren. Außerdem kann eine Ursache für die Differenz sein, dass im Zuge dieser Arbeit die Betrachtung alleine auf Oberöstereich liegt und hier möglicherweise eine andere Situation als in Deutschland vorliegt. Jedoch muss die Standardabweichung bei dem Vergleich miteinbezogen werden. So wird erkennbar, dass die Werte der Belebungsanlagen mit anaerober Schlammstabilisierung und die Kläranlagen der sonstigen Technologietypen im von Immhof et al. (2007) genannten Bereich liegen.

Tabelle 15: Literaturwerte für Klärschlammanfall auf Abwasserreinigungsanlagen (eigene Darstellung; Werte nach Imhoff et al. (2007) und Lindtner (2008))

Literaturwerte für Klärschlammanfall	g TS/(EW*d)	kg TS/(EW*a)
Lindtner		
Normalbereich spez-TS-Fracht stabilisierter Schlamm	35 - 50	**12,8 - 18,3**
Imhoff et al.		
Belebungsanlage mit Faulraum	50	**18,3**
Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisation	55	**20,1**

In Tabelle 16 wurden die angefallenen Klärschlammmengen auf die einzelnen Größenklassen aufgeteilt. Ein Großteil des Klärschlammes fällt in kommunalen Kläranlagen einer Ausbaugröße von ≥ 2.000 EW_{60} an. Wie bei den gereinigten Abwassermengen ist konsequenterweise auch der Klärschlammanfall in den Anlagen einer Ausbaugröße von ≥ 50.000 EW_{60} am größten.

In Anbetracht der in Kapitel 3.2.4 (Mittel und langfristige Ziele beim Umgang mit Klärschlamm in Österreich) beschriebenen mittel- und langfristigen Bestrebungen beim Umgang mit Klärschlämmen, wird deutlich, dass bei Anlagen einer Ausbaugröße von über 20.000 EW_{60} das größte Potential für die Entwicklung neuer Konzepte der Klärschlammbewirtschaftung liegt, da

in diesen über drei Viertel der Gesamtklärschlammmenge anfallen. Somit zeigt sich allerdings auch, dass es nicht allein ausreicht, alternative Verwertungskonzepte für Anlagen einer Ausbaugröße von über 50.000 EW_{60} zu implementieren, sondern zumindest die Anlagen ab 20.000 Einwohnerwerten betrachtet werden sollten, da sonst nur rund 58 % der anfallenden Klärschlammmengen berücksichtigt werden. Selbst die untere Grenze des vom Bundesabfallwirtschaftsplans definierten Ziels, 65 bis 85 % des kommunalen Klärschlamms einer Phosphorgewinnung zuzuführen, lässt sich somit alleinig mit den Anlagen der Größenklasse VI nicht erreichen. Damit wird bestätigt, dass die nur an Betreiber von Kläranlagen einer Ausbaugröße von über 50.000 EW_{60} gerichtete Forderung des Bundesabfallwirtschaftsplans (BMNT, 2017) alternative Konzepte zu entwickeln nicht weitreichend genug erscheint (vergl. KRETSCHMER, et al., 2018).

Tabelle 16: Jährlicher Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

Klärschlammmenge [t TS] pro Jahr	Belebung aerobe Stabilisierung	SBR	Belebung + Faulturm	Pflanzen-kläranlage	Sonstiges	mechanisch	**Summe**	%
≤ 50 EW	95	145	-	49	35	15	**339**	0,9%
51-500 EW	58	128	-	14	24	-	**225**	0,6%
501-1.999 EW	433	63	-	-	7	-	**503**	1,3%
2.000-19.999 EW	5.913	137	218	-	-	-	**6.268**	16,4%
20.000-49.999 EW	3.133	-	5.689	-	-	-	**8.822**	23,1%
≥ 50.000 EW	1.708	-	20.292	-	-	-	**21.999**	57,7%
gesamt [t TS]	11.340	474	26.198	63	66	15	**38.156**	

Um einen besseren Vergleich des spezifischen Klärschlammanfalls pro EW_{60} herzustellen, wurde dieser in Tabelle 17 nochmals für die einzelnen Größenklassen errechnet.

Tabelle 17: Spezifischer Klärschlammanfall pro EW_{60} in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklasse und Anlagentyp; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019)

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	10,4	13,2	-	7,3	20,0	-
501-1.999 EW	11,7	9,2	-	-	10,3	-
2.000-19.999 EW	12,6	14,2	6,3	-	-	-
20.000-49.999 EW	20,0	-	17,1	-	-	-
≥ 50.000 EW	7,0	-	9,8	-	-	-

In Abbildung 26 sind diese Daten inklusive der Standardabweichungen nach Größenklassen und Technologietyp grafisch dargestellt. Auffallend ist, dass der spezifische Klärschlammanfall bei Belebungsanlagen (mit aerober bzw. anaerober Schlammstabilisierung) mit der Anlagengröße stetig zunimmt, von Größenklasse V auf Größenklasse VI aber deutlich abfallende spezifischer Klärschlammmengen erkennbar sind. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese sehr großen Anlagen oft auch Abwässer von Indirekteinleitern übernehmen und reinigen. Die Zusammensetzung solcher industriellen Abwässer unterscheidet

sich häufig erheblich von den kommunalen Abwässern, womit sich ein variierender Klärschlammanfall erklären lassen könnte.

In Größenklasse II (51 - 500 EW_{60}) ist bei „Sonstigen“ Reinigungsverfahren ein doppelt so hoher spezifischer Klärschlammanfall zu verzeichnen, wie in Größenklasse III (501 - 1.999 EW_{60}). Diese Daten sind jedoch schwer vergleichbar, da es sich hier um mehrere unterschiedliche Kläranlagenbauarten handelt, für die der Klärschlammanfall hauptsächlich rechnerisch ergänzt werden musste.

Bei den Anlagen des Bautyps SBR fällt auf, dass es in Größenklasse III (501 - 1.999 EW_{60}) zu einem geringeren spezifischen Klärschlammanfall kommt als in den Größenklassen II (51 - 500 EW_{60}) und IV (2.000 - 19.999 EW_{60}). Dabei muss berücksichtigt werden, dass in Oberösterreich lediglich drei SBR-Anlagen der Größenklasse VI in Betrieb sind, wodurch der bei diesen ermittelte spezifische Klärschlammanfall möglicherweise nicht repräsentativ ist.

Es kann festgestellt werden, dass die Unterschiede der spezifischen Klärschlammanfallsmenge von Belebungsanlagen mit aerober Schlammstabilisierung, SBR- Anlagen und Belebungsanlagen mit anaerober Stabilisierung, unter Berücksichtigung der Standardabweichung, auch in den einzelnen Größenklassen größtenteils nicht signifikant sind.

Dass sich bei verschiedenen Größenklassen mitunter idente Werte ergeben, ist mit der Ergänzung des spezifischen Klärschlammanfalls zu erklären (siehe Unterkapitel 4.2.2 - Quantifizierung des kommunalen Klärschlammanfalls).

Wenn bei einem Balken keine Standardabweichung dargestellt ist, dann ist diese dort 0, weil hier nur idente Werte vorhanden sind.

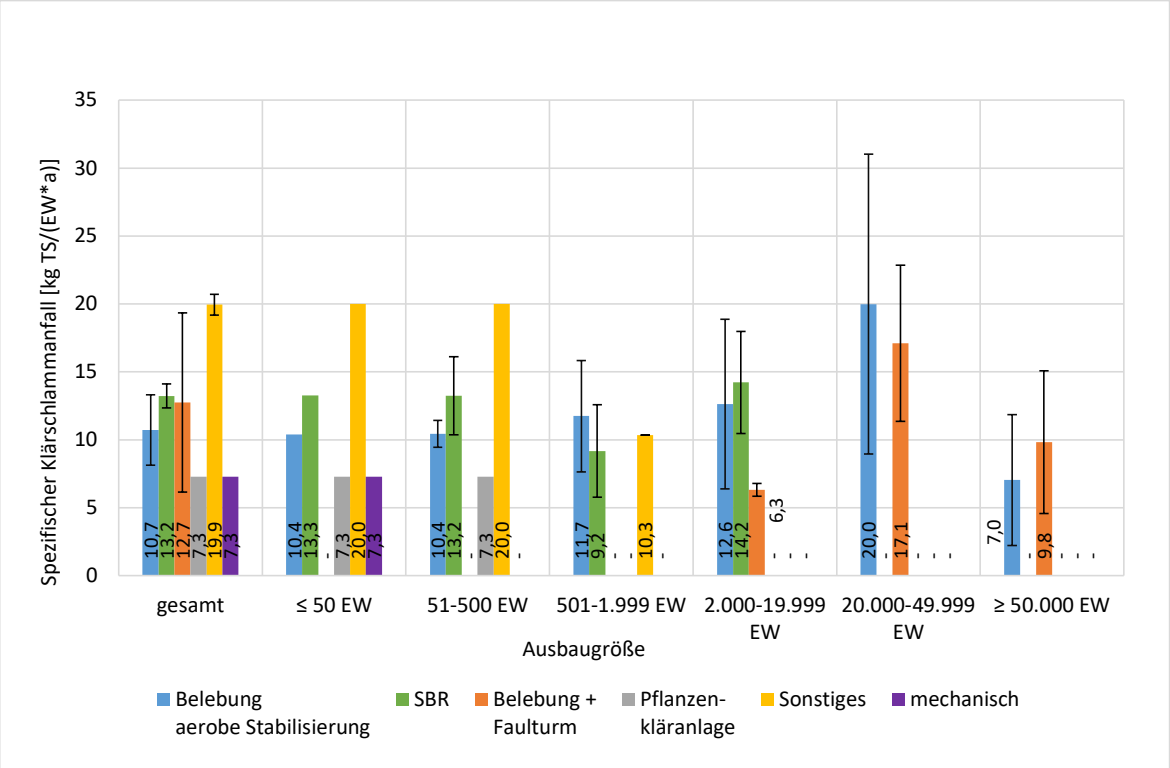


Abbildung 26: spezifischer Klärschlammanfall pro EW_{60} je Bautyp und Größenklasse ; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019)

5.2.2 Zwischenfazit

Die Klärschlammmenge aus Abwasserreinigungsanlagen der Größenklassen V und VI machen rund 80 % der gesamt anfallenden Trockensubstanz aus. Da es sich hierbei außerdem um nur verhältnismäßig wenige Anlagen handelt (siehe Kapitel 5.1 – Bestand an kommunalen Kläranlagen) hat die Ausarbeitung von neuen Konzepten in Bezug auf den Umgang mit den anfallenden Klärschlammmengen und auf eine mögliche Phosphorrückgewinnung hier sicherlich Priorität.

Im Kontrast dazu stehen die deutlich zahlreicheren Anlagen der Größenklassen I - III auf denen zwar nur rund 3 % des kommunalen Klärschlamms anfällt, welche sich aber ebenfalls an den zukünftig strengeren rechtlichen und technischen Rahmen anpassen werden müssen und aufgrund ihrer großen Anzahl nicht außer Acht gelassen werden dürfen.

Zumindest der anfallende Klärschlamm der Kläranlagen in den Größenklassen IV, V und VI müssen einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden, um die vorgegebenen Ziele der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans (BMNT, 2017) zu erfüllen.

5.3 Verwertungspfade von Klärschlamm

Folgend sind die Ergebnisse der Analyse von den in Oberösterreich gewählten Klärschlammverwertungspfade angeführt. Wie in Kapitel 4.2.3 beschrieben, wurde hierfür der zur Verfügung gestellte Datensatz des Landes Oberösterreich herangezogen und mittels Interviewbefragungen vervollständigt. So wurden auch Beweggründe der Kläranlagenbetreiber für die Wahl der Verwertungsart eruiert.

5.3.1 Aktuelle Klärschlammverwertungspfade

In Tabelle 18 und Tabelle 19 kann zunächst das Ergebnis der Untersuchung des vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung zur Verfügung gestellten Datensatzes betrachtet werden. Hier wird zwischen den vier Verwertungsarten landwirtschaftliche Verwertung, Kompostierung, thermische Verwertung („Verbrennung“) und „Sonstiges“ unterschieden. Für die Untersuchung konnten die Daten von 153 oberösterreichischen Kläranlagen, die sich auf die Größenklassen II-VI verteilen, herangezogen werden. Weil manche Kläranlagen Klärschlamm in mehr als einen Verwertungspfad führen, unterscheidet sich die Gesamtanzahl der Anlagen in Tabelle 18 von diesen 153. Da von keiner Anlage der Größenklasse I Daten verfügbar waren, konnten diese bei der Untersuchung der Daten nicht berücksichtigt werden, deren Verwertungsmenge ist somit als „–" angeführt.

Tabelle 18: Anzahl der Kläranlagen aus welchen Klärschlamm den jeweiligen Verwertungspfaden zugeführt wurde inkl. Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

	Gesamt	Landwitschaft	Kompostierung	Verbrennung	Sonstiges
≤ 50 EW	-	-	-	-	-
51-500 EW	6	6	-	-	-
501-1.999EW	34	25	1	1	7
2.000-19.999 EW	94	56	12	5	21
20.000-49.999 EW	17	10	1	2	4
≥ 50.000 EW	17	10	2	3	2
gesamt	168	107	16	11	34

Zwar ist klar ersichtlich, dass ein Großteil des in Oberösterreich anfallenden Klärschlammes immer noch der Landwirtschaft zugeführt wird, aber ebenfalls wird rund ein Drittel der Trockensubstanz thermisch verwertet. Dieser thermisch verwertete Anteil wäre unter Berücksichtigung der drei Betriebe der Papier- und Zellstoffindustrie (Lenzing AG, Laakirchen Papier AG und UPM-Kymmene Austria GmbH) um ein Vielfaches größer (plus rund 60.000 Tonnen Trockensubstanz) und würde die Ergebnisse damit nicht vergleichbar machen.

Tabelle 19: Verwertungsmenge des Klärschlammes nach Verwertungspfad; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

TS in Tonnen	Gesamt	Landwitschaft	Kompostierung	Verbrennung	Sonstiges
≤ 50 EW	-	-	-	-	-
51-500 EW	34	34	-	-	-
501-1.999 EW	454	352	6	13	83
2.000-19.999 EW	6.139	4.623	559	172	785
20.000-49.999 EW	8.222	7.009	135	659	420
≥ 50.000 EW	21.297	9.035	944	11.206	112
gesamt	36.147	21.054	1.643	12.050	1.399
Anteil gesamt		55,4%	4,3%	31,7%	3,7%

Um zu ermitteln, um welche Verwertungspfade es sich bei „Sonstiges“ handelt, wurde eine qualitative und leitfadengestützte Interviewbefragung bei den betroffenen Kläranlagenbetreibern durchgeführt. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse wurden in allen folgenden Ergebnissen bereits berücksichtigt.

33 Anlagen verfügen über eine Ausbaugröße von maximal 50.000 EW_{60} und haben im Jahr 2019 Klärschlamm dem Verwertungs- bzw. Entsorgungspfad „Sonstiges“ zugeführt. Bei 32 von diesen konnte eine Befragung durchgeführt werden.

Grundsätzlich teilt sich die Kategorie „Sonstiges“ in fünf verschieden Verwertungsmethoden. Diese sind Tabelle 20 aufgelistet. Die Befragung ergab, dass beinahe die Hälfte der Anlagen, welche laut zuständigem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung ihren Klärschlamm „sonstig“ verwerten, ihren Klärschlamm schlussendlich auf landwirtschaftlichen Flächen ausbringen. Der Klärschlamm, welcher im Jahr 2019 auf diesen Anlagen angefallen ist, konnte jedoch nicht vollständig ausgebracht werden (z. B. im Winter) und wurde deswegen auf der Anlage zwischengelagert. Diese Mengen wurden der Kategorie „Sonstiges“ zugeordnet, obwohl diese eigentlich keinem alternativen Verwertungspfad zugeführt wurden.

Zwei der Befragten gaben an, dass Klärschlamm aus ihren Anlagen der thermischen Verwertung zugeführt. Deren anfallenden Klärschlammmengen wurden aus unbekannten Gründen ebenfalls der der Kategorie „Sonstiges“ zugeordnet.

Bei den restlichen erfassten Methoden handelt es sich um:

- die Verfuhr zu einer nahen gelegenen Kläranlage
- die Verwertung in einer Vererdungsanlage
- die Behandlung und Verwertung durch ein externes Unternehmen (Zellinger GmbH)

Tabelle 20: Klärschlammverwertungspfade der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen

	Gesamt	Landwirtschaft	Nachbarkläranlage	Vererdung	Extern	Verbrennung
501-1.999 EW	6	1	2	-	3	-
2.000-19.999 EW	21	8	1	4	6	2
20.000-49.999 EW	4	4	-	-	-	-
≥ 50.000 EW	1	1	-	-	-	-
gesamt	32	14	3	4	9	2
Anteil		44%	9%	13%	28%	6%

In Abbildung 27 sind diese Ergebnisse nochmals grafisch dargestellt. Wenn man die befragten Anlagen, welche Klärschlamm ausschließlich in die Landwirtschaft führen, außer Acht lässt, dann ist die Behandlung und Verwertung über ein externes Unternehmen die gängigste Variante aus der Kategorie „Sonstiges“. Neun Anlagen in Oberösterreich, oder 28 % der befragten Anlagen, haben diese Option als die von ihnen gewählte angegeben. Von allen Anlagen wurde hier die Firma Zellinger GmbH als durchführendes Unternehmen angeführt. Diese presst, falls erforderlich, den anfallenden Klärschlamm vor Ort, führt ihn zu einer Trocknungsanlage und bringt ihn anschließend zu einer thermischen Verwertung.

Vier der befragten Anlagen haben an ihrem Standort eine Vererdungsanlage. Des Weiteren führen drei Anlagen ihren Klärschlamm zu einer benachbarten Anlage, wo dieser mitverwertet wird. Darüber wird der Klärschlamm von 2 Kläranlagen der Kategorie „Sonstiges“ thermische verwertet.

Vier Anlagen führen ihren Klärschlamm mehr als einem Verwertungspfad zu. Hierbei handelt es sich um Anlagen, die ihren Klärschlamm grundsätzlich auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ausbringen aber zeitweise zu wenige Abnehmer finden. Die nicht von Landwirten abgenommenen Klärschlammmengen, werden zu einer größeren Kläranlage in der Umgebung gebracht, der Verbrennung zugeführt oder von der externen Firma Zellinger GmbH abgeholt. Diese sind in Tabelle 20 zwar bei den „alternativen“ Pfaden jedoch nicht bei der landwirtschaftlichen Verwertung berücksichtigt.

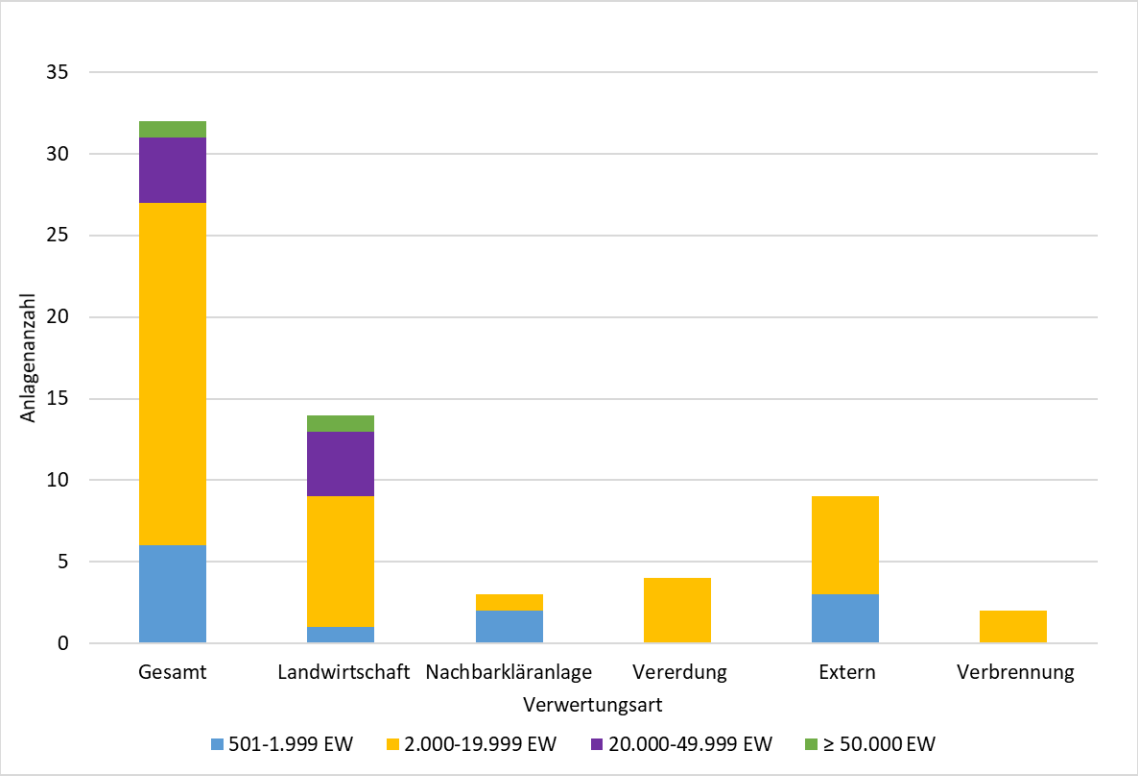


Abbildung 27: gewählte Klärschlammverwertungspfade der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen

Ein Vergleich mit den in Tabelle 21 tabellarisch dargestellten Klärschlammmengenanteilen zeigt mitunter starke Unterschiede zu der Verteilung der Kläranlagenanzahl.

So bringen zwar 9 % der befragten Anlagen ihren Klärschlamm zu einer benachbarten Kläranlage, die dort anfallende Klärschlammmenge macht aber nur in etwa 1 % der gesamten Trockenmasse aus, welche in Kategorie „Sonstiges“ fällt. Diese Option wird dementsprechend in erster Linie von Anlagen geringer Ausbaugrößen gewählt. Ähnlich ist die Situation bei Anlagen, welche die Klärschlammverwertung einem externen Unternehmen überlassen. So fallen nur 20 % des Klärschlammes bei diesen 28 % der Anlagen an.

Ein gegenteiliges Bild ergibt sich bei Anlagen, welche eine Klärschlammvererdungsanlage zur Klärschlammverwertung nutzen. Hierbei handelt es sich um 13 % der befragten Anlagen auf denen rund ein Drittel (32 %) des Klärschlammes anfällt. Somit stellt sich die Behandlung von Klärschlamm in einer Vererdungsanlage vor allem für größere Kläranlagen als Alternative heraus. Hier wäre es unter Umständen auch möglich, den Klärschlamm von umliegenden kleineren Anlagen zu verwerten.

Tabelle 21: Klärschlammverwertungsmengen der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen

TS in Tonnen	Gesamt	Landwirtschaft	Nachbarkläranlage	Vererdung	Extern	Verbrennung
501-1.999 EW	64	2	6	-	56	-
2.000-19.999 EW	785	132	7	407	194	46
20.000-49.999 EW	420	420	-	-	-	-
≥ 50.000 EW	56	56	-	-	-	-
gesamt	1.270	610	13	407	250	46
Anteil		48%	1%	32%	20%	4%

Anzumerken ist, dass alle befragten Anlagen mit einer Ausbaugröße von ≥ 20.000 EW_{60} eine landwirtschaftliche Verwertung praktizieren. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass sich alle Informationen über die vier übrigen Pfade auf die kleineren Anlagen beziehen. Somit wurde das Ziel, vor allem die Praxis auf kleineren Anlagen, welche sich hauptsächlich in dezentralen Lagen befinden, zu untersuchen, erfüllt.

Die in Kapitel 4.2.3 (Erhebung der Klärschlammverwertungspfade) zu findende Aufstellung, der in Oberösterreich eingesetzten Klärschlammverwertungspfade, kann somit auf folgende Auflistung von Klärschlammverwertungspfaden ergänzt werden:

- Landwirtschaftliche Verwertung
- Kompostierung
- Verbrennung
- Transport zu benachbarter Kläranlage
- Vererdung
- Übergabe an externen Entsorger

Berücksichtigt man bei der Zusammenstellung der Klärschlammmengen in den einzelnen Verwertungspfaden die bei der Befragung erhobenen Daten, ergibt sich die in Tabelle 22 und Tabelle 23 zu findende Aufstellung. Da der Anteil der Kategorie „Sonstiges“ mit rund 4 % gering gewesen ist, ergeben sich hier auch nur leichte Veränderungen. Die Gesamtanzahl der Kläranlagen in Tabelle 18 unterscheidet sich von jener in Tabelle 22, da Anlagen, welche Klärschlamm in mehrere Verwertungspfade führen, auch dementsprechend mehrmals berücksichtigt werden. Beim Vergleich der gesamten Klärschlammmengen von Tabelle 19 und Tabelle 23 fällt eine Differenz von ungefähr 18 Tonnen Trockensubstanz auf. Diese ist dem Umstand geschuldet, dass bei einer Kläranlage, der Kategorie „Sonstiges“ keine Befragung möglich gewesen ist. Die Klärschlammmengen dieser Anlage können in Tabelle 23 somit keinem Verwertungs- bzw. Entsorgungspfad zugeordnet werden.

Bei einer Gegenüberstellung von Tabelle 23 und Tabelle 22 wird erkennbar, dass zwar über 30 % der Klärschlammtrockensubstanz einer Verbrennung zugeführt werden, diese Trockensubstanzmenge jedoch nur von einer geringen Anzahl an Kläranlagen stammt. Daraus lässt sich schließen, dass insbesondere große Kläranlagen, die nur in geringer Anzahl in Betrieb sind, ihren Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen.

Ein anderes Bild zeigt sich bei der landwirtschaftlichen Verwertung. Zwar wird über die Hälfte des oberösterreichischen Klärschlammes in der Landwirtschaft ausgebracht, allerdings führen weit über die Hälfte der Kläranlagen ihren Klärschlamm dieser Verwertungsart zu. Man kann somit schlussfolgern, dass vor allem kleinere Anlagen den bei sich anfallenden Klärschlamm der technisch nicht aufwendigen landwirtschaftlichen Verwertung zuführen

Tabelle 22: Anzahl der Kläranlagen aus welchen Klärschlamm den jeweiligen Verwertungspfaden zugeführt wurde; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

	Gesamt	Landwitschaft	Kompostierung	Verbrennung	Nachbarkläranlage	Vererdung	Extern
≤ 50 EW	-	-	-	-	-	-	-
51-500 EW	6	6	-	-	-	-	-
501-1.999EW	34	27	1	1	2	-	3
2.000-19.999 EW	100	71	12	6	1	4	6
20.000-49.999 EW	17	14	1	2	-	-	-
≥ 50.000 EW	17	12	2	3	-	-	-
gesamt	174	130	16	12	3	4	9

Tabelle 23: Klärschlammmengen nach Verwertungsart in Oberösterreich; Daten aus Interviewbefragung berücksichtigt; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

TS in Tonnen	Gesamt	Landwitschaft	Kompostierung	Verbrennung	Nachbarkläranlage	Vererdung	Extern
≤ 50 EW	-	-	-	-	-	-	-
51-500 EW	34	34	-	-	-	-	-
501-1.999 EW	436	354	6	13	6	-	56
2.000-19.999 EW	6.139	4.758	559	216	7	407	194
20.000-49.999 EW	8.222	7.429	135	659	-	-	-
≥ 50.000 EW	21.297	9.147	944	11.206	-	-	-
gesamt	36.129	21.722	1.643	12.094	13	407	250
Anteil gesamt		60,1%	4,5%	33,5%	0,04%	1,13%	0,69%

Wie in Abbildung 28 nochmals grafisch dargestellt, werden in Oberösterreich heute über 60 % der aufkommenden Klärschlammmassen der landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Die mengenmäßig zweithäufigste Verwertungsmethode ist die thermische Verwertung in Form einer Mitverbrennung.

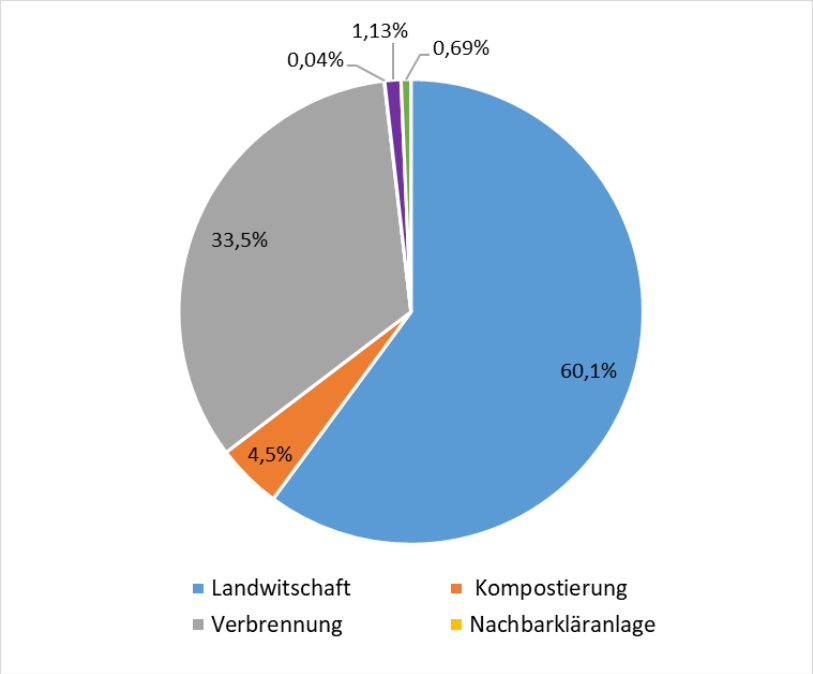


Abbildung 28:Klärschlammmengenverteilung nach Verwertungspfaden; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

In Abbildung 29 wird zudem graphisch dargestellt, welchen Verwertungspfaden die Anlagen der einzelnen Größenklassen Klärschlamm zuführen. Außer von Größenklasse VI (≥ 50.000 EW_{60}) wird von allen Größenklassen der größte Anteil an Klärschlammtrockenmasse einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt. Dieser Anteil nimmt generell mit einer steigenden Ausbaugröße ab. Allerdings fällt hier Größenklasse V auf, welche nicht diesem Trend folgt, sondern mehr Schlammanteile dieser Verwertungsmethode zuführt als die Größenklassen IV und III. Die Anlagen dieser Größenklasse dürften sich in Regionen befinden, in denen es noch genug landwirtschaftliche Abnehmer für den Klärschlamm gibt.

Die thermische Verwertung findet fast ausschließlich bei Klärschlamm aus größeren Anlagen Anwendung. So werden über die Hälfte der Klärschlammtrockenmasse aus den Anlagen der Größenklasse VI auf diese Weise verwertet bzw. entsorgt.

Wie in Unterkapitel 4.1.2 (Kommunaler Klärschlammanfall in Oberösterreich) beschrieben, waren bezüglich des Klärschlammanfalls auf Anlagen der Größenklasse I (≤ 50 EW_{60}) keine Daten vorhanden. Eine Interviewbefragung war ebenfalls nicht möglich, da von diesen Anlagenbetreibern keine zentral verfügbaren Kontaktdaten vorhanden sind. Diese konnten aus diesem Grunde nicht berücksichtigt werden.

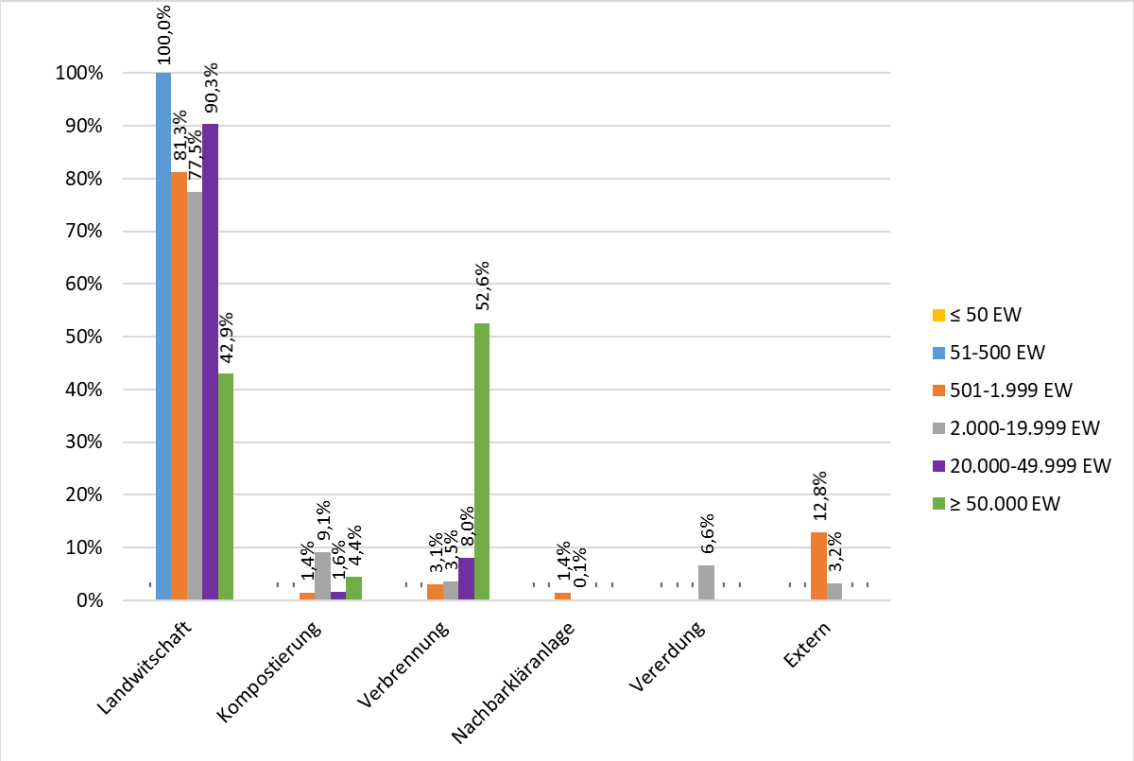


Abbildung 29: Verwertungsmengenverteilung je Ausbaugröße; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

Abbildung 30 zeigt, dass die landwirtschaftliche Verwertung bei Klärschlamm aus Kläranlagen der Größenklassen I-V weitaus am häufigsten zur Anwendung kommt. Beinahe 85 % der Klärschlammmengen der Anlagen dieser Größenklassen werden auf diese Weise verwertet. Damit verdeutlicht sich, dass insbesondere bei diesen Anlagen, welche sich häufig in dezentralen ländlichen Regionen befinden, künftig mit Handlungsbedarf in Zusammenhang mit der Abkehr von der landwirtschaftlichen Verwertung, gerechnet werden kann.

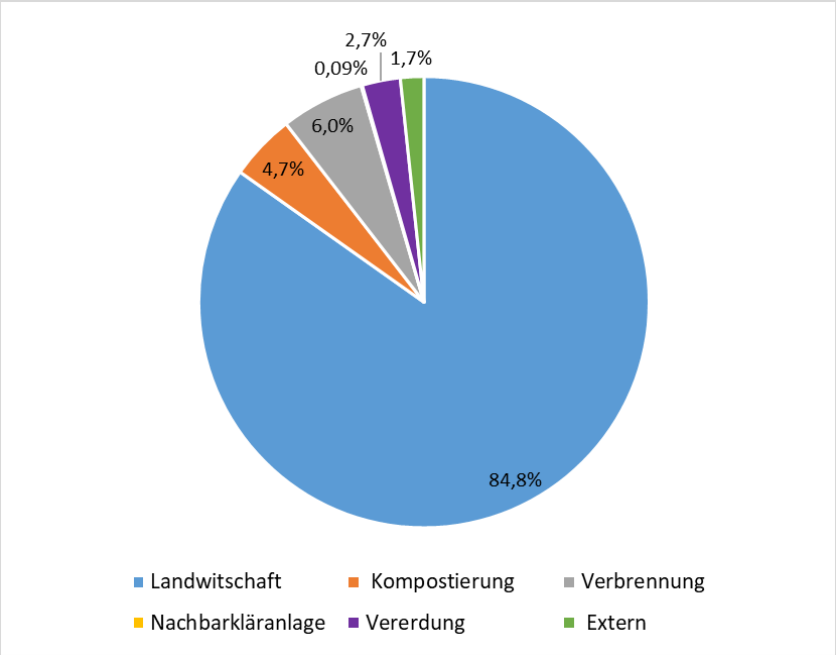


Abbildung 30: Klärschlammmengenverteilung nach Verwertungspfaden von Kläranlagen <50.000 EW_{60}; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)

5.3.2 Stand der thermischen Klärschlammverwertung in Oberösterreich

In Oberösterreich steht derzeit keine Monoverbrennungsanlage für die thermische Verwertung von Klärschlämmen zur Verfügung. Somit kann diese nur bei Mitverbrennungsanlagen durchgeführt werden. Als mögliche Mitverbrennungsanlagen wurden im Laufe der Befragung folgende drei genannt (In Klammer findet sich die Anzahl der Anlagen, welche Klärschlamm zu dieser Verbrennungsanlage führen):

- die thermische Abfallverwertungsanlage der Stadt Wels (4 Anlagen)
- das Reststoffheizkraftwerk der Stadt Linz (2 Anlagen)
- die thermische Reststoffverwertung Lenzing (4 Anlagen)

Zu beachten ist, dass ausschließlich Kläranlagen einer Ausbaugröße von maximal 50.000 EW_{60} befragt wurden, und hier somit die Daten von zwei kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich, die Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen, fehlen und nicht berücksichtigt werden konnten.

Bei einer Anlage wäre die thermische Reststoffverwertung Lenzing zwar die nächstgelegene Verbrennungsanlage, dort wird der Schlamm allerdings gepumpt und dafür hat der in dieser Kläranlage anfallende Klärschlamm einen zu hohen Trockensubstanzgehalt. Deswegen wird der Klärschlamm stattdessen zur thermischen Abfallverwertungsanlage der Stadt Wels geführt.

Die Lage der oberösterreichischen Kläranlagen, welche Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen, ist in Abbildung 31 dargestellt. Außerdem abgebildet sind die drei Verbrennungsanlagen Oberösterreichs. Um einen räumlichen Kontext herzustellen wurde ein 25 km Radius um diese Verbrennungsanlagen eingezeichnet. Die meisten Abwasserreinigungsanlagen, die Klärschlamm einer Verbrennung zuführen, befinden sich innerhalb von 25 km mindestens einer Verbrennungsanlage. Jedoch nehmen auch fünf Anlagen

größere Transportdistanzen in Kauf. Bei einem Vergleich mit Abbildung 24 fällt auf, dass vor allem im Nordwesten Oberösterreichs viele Anlagen situiert sind, welche außerhalb dieser 25 km Radien sind. Da die Transportwege maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit eines Pfades sein können, wird es erforderlich sein eine gleichmäßige Verteilung der Verbrennungsanlagen herzustellen, um gegebenenfalls einen leichteren Wechsel hin zur thermischen Verwertung zu ermöglichen.

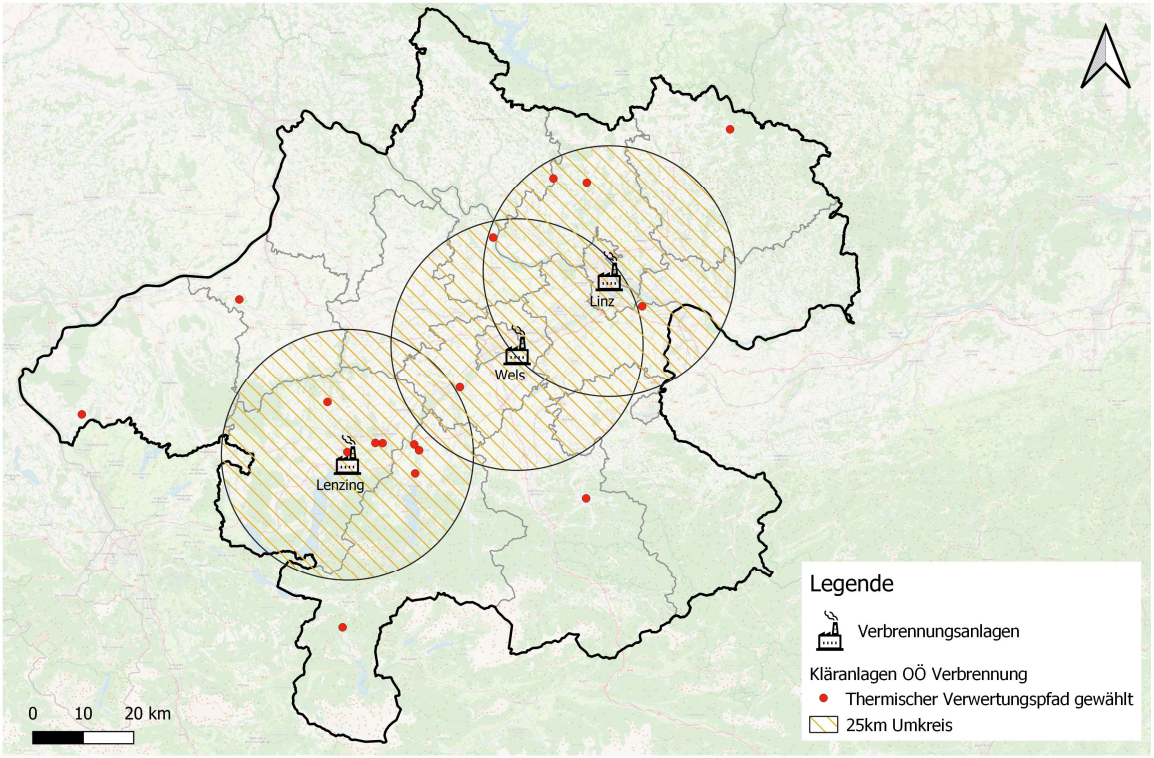


Abbildung 31: Darstellung der oberösterreichischen Verbrennungsanlagen samt Kläranlagen, welche in Verbrennung führen (inkl. industrielle Anlagen)

5.3.3 Motive für die Wahl des Verwertungspfades

Zwar wurden die Motive für die Wahl des Verwertungspfades in zwei unterschiedlichen Befragungen erhoben, sie werden aber in diesem gemeinsamen Kapitel betrachtet.

Die Begründungen für die Wahl der Verwertungsmethode innerhalb der Kategorie „Sonstiges“ werden in Tabelle 24 nach den Verwertungspfaden zusammengefasst. Den Befragten wurde es ermöglicht, mehrere Gründe zu nennen. Die Anlagen, welche Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen und deren Informationen in einer separaten Interviewbefragung erhoben wurden (siehe Unterkapitel 4.2.3 - Erhebung der Klärschlammverwertungspfade), werden anschließend gesondert betrachtet, um zu zeigen welche Argumente für eine thermische Verwertung sprechen.

Tabelle 24: Nennungen an Begründungen für Wahl des Klärschlammverwertungspfades in Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen

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

Es ist klar ersichtlich, dass die Kosten am häufigsten als Grund angegeben worden sind. Insbesondere Kläranlagen, die Klärschlamm der landwirtschaftlichen Verwertung zuführen, haben sich für diesen Verwertungspfad entschieden, weil er am günstigsten ist. 12 der 14 Anlagen, die diesen Verwertungspfad gewählt haben, haben die Kosten unter anderem als Grund genannt. Auch drei der vier Anlagen, welche ihren Klärschlamm vererden, haben sich aus Kostengründen dafür entschieden.

Außerdem wird von sechs Befragten die landwirtschaftliche Verwertung als ökologisch sinnvolle Variante beschrieben, da dem Boden hier Nährstoffe zurückgegeben werden und Phosphor nicht zugekauft werden muss. Des Weiteren wird von fünf Befragten betont, dass mit der landwirtschaftlichen Verwertung geringere Transportwege und damit verbundene Kosten einhergehen, da es sich um eine regionale Verwertung handelt. Darüber hinaus ist diese Art der Verwertung, nach Aussage von vier Befragten, die mit dem geringsten Aufwand für den Anlagenbetreiber.

Auch wurde von einem Anlagenbetreiber beklagt, dass durch die langsam voranschreitende Abkehr von der landwirtschaftlichen Verwertung, viele Nährstoffe verloren gehen, und dass der Fokus eher darauf liegen sollte, den Schadstoffeintrag in das anfallende Abwasser zu reduzieren, damit eine risikofreie Aufbringung der Klärschlämme auf landwirtschaftliche Böden bedenkenlos durchgeführt werden kann.

Bei den Anlagen, deren Klärschlamm nicht in der Landwirtschaft aufgebracht wird, war hierfür die häufigste Begründung die, dass es aufgrund von Beschränkungen (siehe Kapitel 3.3 - Rechtlicher Rahmen des Umganges mit Klärschlamm) nicht möglich sei, den Klärschlamm auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen auszubringen. Auch die fehlenden landwirtschaftlichen Abnehmer wurden von fünf Befragten als Grund genannt.

Vor allem von Anlagenbetreibern, die ihren Klärschlamm einem externen Unternehmen übergeben, wurde die Wahl mit dem Fehlen von landwirtschaftlichen Abnehmern begründet. Das lässt darauf schließen, dass viele Befragte grundsätzlich eine landwirtschaftliche Verwertung befürworten würden, diese aber wegen gesetzlicher Bestimmungen oder der dortigen Situation nicht möglich ist.

Somit unterstreicht sich die Bedeutung der landwirtschaftlichen Verwertung in Oberösterreich und es zeigt sich darüber hinaus, dass ein Umdenken zugunsten anderer Verwertungsoptionen noch nicht flächendeckend begonnen hat. Andere Verwertungspfade werden meist nur dann gewählt, wenn die landwirtschaftliche Verwertung keine verfügbare Option mehr ist.

Das zeigt abermals, dass hier in Anbetracht der Tatsache, dass die derzeitige Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans der Verwertung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen kritisch gegenübersteht, Handlungsbedarf besteht.

Das externe Unternehmen Zellinger GmbH hingegen hat auf Nachfrage erläutert, dass man sich in Hinblick auf den Bundesabfallwirtschaftsplan dafür entschieden hat, die von ihnen gesammelten, entwässerten und getrockneten Klärschlammmengen in eine thermische Verwertung zu führen.

In Tabelle 25 ist tabellarisch angeführt, wodurch Kläranlagenbetreiber bereits zum jetzigen Zeitpunkt veranlasst werden, ihren Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuzuführen. Auch hier gab es die Möglichkeit mehrere Begründungen zu nennen.

Tabelle 25:Motive für die Wahl der Verbrennung als Verwertungspfad; eigene Darstellung auf Grundlage der Interviewbefragungen

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

Es ist ersichtlich, dass hier ebenfalls die Kosten als einer der meistgenannten Gründe angeführt worden sind. Erwähnenswert ist, dass die vier kleinsten der befragten Anlagen mit Ausbaugrößen zwischen 1.300 und 2.500 EW_{60}, sich wegen der Kostenersparnis für diesen Verwertungspfad entschieden haben.

Ebenfalls von vier Befragten wurde angegeben, dass man auf die thermische Verwertung umgestiegen ist, da die Ausbringung in der Landwirtschaft wegen Auflagen für Bio-Bauern und gesetzlichen Vorgaben nicht mehr möglich ist.

Auch dass die Ausbringung des Klärschlammes in der Landwirtschaft nicht ganzjährig möglich und eine Lagerung des Klärschlammes im Winter und Sommer auf der Anlage nicht umsetzbar ist, wurde von zwei Anlagenbetreiber als Grund genannt, den Klärschlamm in diesen Perioden der thermischen Verwertung zuzuführen. Ein Befragter hat außerdem angeführt, dass sich bei der Lagerung des Klärschlammes auf der Anlage eine Geruchproblematik entwickelt hat, und man deswegen jetzt die thermische Verwertung anwendet.

Da der Klärschlamm von der Energie AG Lenzing selbst abgeholt und zur thermischen Verwertung gebracht wird, haben zwei Befragte den geringen Aufwand, der für sie mit der thermischen Verwertung einhergeht, betont.

Die Verantwortlichen einer Anlage haben sich während der BSE-Krise dafür entschieden, von der landwirtschaftlichen Verwertung Abstand zu nehmen, um einem etwaigen Einbringen von Krankheitserregern in die Nahrungsmittelkette vorzubeugen.

Bei einer Kläranlage, welche Klärschlamm der thermischen Verwertung zuführt, handelt es sich um eine Anlage, die unter normalen Umständen ihren Klärschlamm direkt in die landwirtschaftliche Verwertung führt. Sollte es jedoch zu wenige Abnehmer geben, wird der Klärschlamm zu einem benachbarten Reinhaltverband geführt, wo er in einem Faulturm anaerob stabilisiert und anschließend in der Landwirtschaft ausgebracht wird. Durch einen neuen Indirekteinleiter war im Zeitraum 2019/2020 jedoch die Schwermetallbelastung des

Schlammes zu hoch, um ihn auf landwirtschaftlich genutzte Böden auszubringen. Deswegen wurde er stattdessen in das Reststoffheizkraftwerk der Stadt Linz eingebracht.

Ein Anlagenbetreiber äußert sich allerdings auch kritisch bezüglich der thermischen Verwertung. Die betroffene Anlage hat sich zwar wegen der zu weiten Transportwege bei der landwirtschaftlichen Verwertung dafür entschieden, in die thermische Verwertung der Energie AG Lenzing zu führen, allerdings wird diese Variante als vergleichsweise teuer beschrieben, und ob das bei allen Anlagen eine sinnvolle Alternative zur landwirtschaftlichen Verwertung sei, wird bezweifelt.

5.3.4 Zwischenfazit

In Oberösterreich fallen jährlich knapp über 38.000 Tonnen Trockensubstanz kommunalen Klärschlamms an. Diese Schlammmenge wird unterschiedlichen Verwertungspfaden zugeführt. Hierbei ist derzeit die landwirtschaftliche Verwertung immer noch der am häufigsten gewählte Weg. Viele Kläranlagenbetreiber empfinden diese Form der Verwertung als ökologisch sinnvollste und außerdem einfachste. Zudem argumentiert die Mehrheit der Anlagenbetreiber, dass damit die geringsten Kosten verbunden sind. Damit bestätigt sich, dass der Schritt weg von der landwirtschaftlichen Ausbringung von Klärschlamm in Oberösterreich noch nicht getan wurde und dieser derzeit auch nicht auf umfassende Akzeptanz stoßen würde. Vor allem für Anlagen im ländlichen Raum mit geringeren Ausbaugrößen ist die landwirtschaftliche Verwertung immer noch von großer Bedeutung.

Während die Entwicklung von zukünftigen Konzepten auf Kläranlagen der Größenklasse VI vom Bundesabfallwirtschaftsplan verlangt wird, werden kleinere Anlagen dabei nicht berücksichtigt. Da diese jedoch in großer Zahl vorhanden sind und Klärschlamm hauptsächlich landwirtschaftlich verwerten, kann in Zusammenhang mit einer etwaigen zentralen Phosphorrückgewinnung und einer erschwerten landwirtschaftlichen Verwertung vor allem bei diesen Abwasserreinigungsanlagen mit Herausforderungen gerechnet werden.

Jedoch haben sich auch einige Anlagenbetreiber bereits für einen alternativen Verwertungspfad entschieden. So werden knapp 40 % des oberösterreichischen Klärschlamms auf eine andere Art und Weise verwertet bzw. entsorgt. Hierfür sind das Fehlen von landwirtschaftlichen Abnehmern wie aber auch der ökonomische Aspekt die häufigsten Ursachen. Somit kristallisiert sich heraus, dass der Kostenfaktor eine treibende Motivation für die Wahl des Verwertungs- bzw. Entsorgungspfade ist. Der Ansatz „*zunächst Anreiz- bzw. Fördersysteme und mittelfristig gesetzliche Regelungen mit entsprechenden Übergangsfristen zu schaffen“* (ÖWAV, 2014) um einen Umbruch in der Klärschlammbewirtschaftung zu bewirken, wird damit bestärkt. Hinzu kommt eine notwendige Reduktion der Transportdistanzen, welche sich maßgeblich auf die Kosten auswirken können.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ziele dieser Arbeit waren einen vollständigen Datensatz mit den anlagenbezogenen Daten aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs zusammenzustellen, welcher die bereits durchgeführten Bestandsaufnahmen von Langergraber et al. (2018) und Engstler (2020) ergänzt, eine Datengrundlage bezüglich des in Oberösterreich anfallenden Klärschlamms zu schaffen und einen Einblick in die aktuelle Praxis der Klärschlammbewirtschaftung (insbesondere bezüglich Anlagen einer Ausbaugröße unter 50.000 EW_{60}, welche häufig im ländlichen Raum anzutreffen sind) bieten. Aus den dabei gewonnenen Resultaten können folgende Schlüsse gezogen werden:

1. Inventarisierung der kommunalen Abwasserreinigungsanlagen Oberösterreichs

- In Oberösterreich sind insgesamt 2.782 kommunale Abwasserreinigungsanlagen in Betrieb, die eine gesamte Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60} haben.
- Anpassungsbedarf bezüglich der Reinigungstechnologie besteht in Oberösterreich bei 308 Kläranlagen, die bis heute mit lediglich einer mechanischen Reinigungsstufe ausgestatten sind. Diese sind zwar bewilligt, entsprechen aber nicht mehr dem Stand der Technik. Bei diesen handelt es sich ausschließlich um KKA mit einer maximalen Ausbaugröße von 50 EW_{60}.
- Die Datengrundlage der anlagenbezogenen Informationen (wie Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt und Reinigungsart) kann aus heutiger Sicht als lückenlos bezeichnet werden. Von allen kommunalen Anlagen waren Informationen diesbezüglich vorhanden.

Anhand des erstellten Inventars Oberösterreichs wird gezeigt, dass die kleineren Kläranlagen, welche nicht vom Bundesabfallwirtschaftsplan erfasst werden, zwar eine vergleichsweise geringe Gesamtausbaugröße haben, aber in großer Anzahl in Betrieb sind.

2. Quantifizierung der anfallenden kommunalen Klärschlamm-Mengen

- Es fallen in Oberösterreich jährlich über 38.000 Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm an.
- Beinahe 70 % des kommunalen Klärschlamms fallen in Belebungsanlagen mit anaerober Stabilisierung an. Wollte man mit der Phosphorrückgewinnung nicht erst bei der Monoverbrennungsasche, sondern bereits während dem Prozess der Abwasserreinigung ansetzen, würde es sich auch anbieten, zunächst die Entwicklung von Konzepten in Kombination mit diesem Abwasserreinigungsverfahren zu forcieren. Wie im Zuge der Masterarbeit „Immissionsorientierte Studie der Phosphorelimination bei kleinen Kläranlagen und Kleinkläranlagen in Österreich“ (GERSTORFER, 2018) beschrieben, ist ein Beispiel für ein solches Verfahren der Einsatz von Phosphorfiltern.
- Rund 58 % des kommunalen Klärschlamms fallen in Kläranlagen mit einer Ausbaugröße ≥ 50.000 EW_{60} an. Bei einem Vergleich, mit dem Ziel der aktuellen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans (BMNT, 2017) 65 – 85 % des anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zuzuführen, zeigt sich, dass die an Betreiber von Kläranlagen einer Ausbaugröße über 50.000 EW_{60} gerichtete Forderung alternative Konzepte für dessen

Umsetzung zu entwickeln, (zumindest in Oberösterreich) nicht ausreichend ist. Somit muss darauf geachtet werden, dass sich Abwasserreinigungsanlagen geringerer Ausbaugrößen ebenfalls zeitgerecht mit den Optionen für eine Phosphorrückgewinnung auseinandersetzen.

- Beim Vergleich des spezifischen Klärschlammanfalls nach den eingesetzten Reinigungstechnologien und der Größenklassen der Kläranlagen, kann festgestellt werden, dass bei einer Belebungsanlage mit anaerober Stabilisierung rund 15 % weniger Klärschlamm pro Einwohner und Jahr anfallen als bei Belebungsanlagen mit einer aeroben Schlammstabilisierung. Darüber hinaus fällt auf, dass, obwohl der spezifische Klärschlammanfall mit der Ausbaugröße ansteigt, bei den Kläranlagen der Größenklasse VI ein deutlich verringerter Klärschlammanfall zu verzeichnen ist. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass sich die Zusammensetzung des Abwassers wegen Indirekteinleitern maßgeblich verändert.
- Nicht bei allen kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs ist die Klärschlammmenge bekannt, welche bei der Abwasserreinigung anfällt. Das ist vor allem bei kleinen Anlagen der Größenklasse I und II der Fall. Nach Auskunft des zuständigen Amtes der Oberösterreichischen Landesregierung wäre der Aufwand für eine Datenaufnahme zu groß, die Qualität dieser Daten fraglich und es geht hier überdies lediglich um einen sehr geringen Anteil der Gesamtmenge des anfallenden Klärschlammes, weswegen eine Erfassung aktuell nicht durchgeführt wird.

Über 40 % des oberösterreichischen kommunalen Klärschlamms fällt in Kläranlagen einer Ausbaugröße von unter 50.000 EW_{60} an. Diese oft dezentralen Anlagen werden somit nicht vom Bundesabfallwirtschaftsplan erfasst.

3. Verwertungs- und Entsorgungspfade von Klärschlamm in Oberösterreich

- Über 60 % des kommunalen Klärschlammes werden in Oberösterreich bis heute auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebracht. Somit spielt hier die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung noch eine sehr bedeutende Rolle, wodurch sich ein erhöhter Handlungsbedarf in Zusammenhang mit der vom Bundesabfallwirtschaftsplan angestrebten Phosphorrückgewinnung und dem sich abzeichnenden Aus der landwirtschaftlichen Verwertung erkenntlich macht. Das betrifft insbesondere Anlagen einer Ausbaugröße < 50.000 EW_{60}. Damit wird verdeutlicht, dass eine Entwicklung alternativer Konzepte für den Umgang mit Klärschlamm nicht nur auf die wenigen großen Anlagen beschränkt sein darf.
- Der Wandel in der Branche stößt bei vielen Anlagenbetreibern, welche die landwirtschaftliche Verwertung immer noch als ökologisch und ökonomisch sinnvollste Variante ansehen, noch nicht auf vollständige Akzeptanz. Um diesen herbeizuführen braucht es noch weitere Anstrengungen (unter anderem) im Sinne von Informationsarbeit.
- Der wirtschaftliche Aspekt ist für die Wahl der Verwertungs- und Entsorgungsmethode der häufigste Grund. Somit können Anreiz- und Fördersysteme wirksame Instrumente sein, um den Wandel der Klärschlammbewirtschaftung zu unterstützen.

- Der rechtliche und technische Rahmen, der den Einsatz von Klärschlamm in der Landwirtschaft bereits stark einschränkt, ist häufig ein Grund, aus dem Betreiber kommunaler Kläranlagen alternative Verwertungspfade der landwirtschaftlichen Verwertung vorziehen.
- Die Klärschlammengen, welche in Oberösterreich bereits einer thermischen Verwertung zugeführt werden, werden in den Abfallverbrennungsanlagen Linz, Wels und Lenzing verbrannt. Der dortig verbrannte Klärschlamm kommt hauptsächlich von Kläranlagen, welche in einem näheren Umkreis liegen. Daraus kann geschlossen werden, dass es eine breitere Verteilung der Verbrennungsanlagenstandorte oder eine Optimierung der Logistik notwendig ist, um eine vermehrte thermische Verwertung durchzusetzen.
- Das Fehlen einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage in Oberösterreich würde bei einer Umsetzung der Phosphorrückgewinnung aus Monoverbrennungsasche erhebliche Transportwege erfordern. Somit wäre der Bau einer solchen Anlage notwendig, um in Zukunft diese Form der Wertstoffrückgewinnung auf Landesebene anstreben zu können. Möchte man das nicht, gibt es für die Klärschlammbewirtschaftung dezentrale Alternativen zur Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung, die man in Erwägung ziehen sollte.
- Die Klärschlammentsorgung durch einen externen Entsorger durchführen zu lassen, scheint vor allem für kleine und mittelgroße Kläranlagen eine sinnvolle Option zu sein. In Oberösterreich steht hierfür ein Unternehmen zur Verfügung, welches die Trocknung und Verfuhr zu einer Verbrennungsanlage übernimmt. Solche Unternehmen können folglich dabei helfen, den dezentral anfallenden Klärschlamm einer zentral vonstattengehenden thermischen Verwertung zuzuführen.

Im Zusammenhang mit dem Wandel der Branche ergibt sich für die wenigen großen Kläranlagen ein klares Bild. Die vielen kleineren Anlagen, welche nicht direkt vom Bundesabfallwirtschaftsplan erfasst werden, dürfen bei der Entwicklung zukünftiger Konzepte nicht außer Acht gelassen, sondern müssen dabei unterstützt werden. Von einigen Kläranlagenbetreibern wurden bereits alternative Verwertungspfade zur herkömmlichen landwirtschaftlichen Verwertung gewählt. Die im Zuge dieser Arbeit untersuchten Praxisbeispiele sollen dabei helfen, einen Überblick über die (alternativen) Möglichkeiten der Klärschlammverwertung zu bekommen. Es besteht in diesem Bereich auch in Zukunft weiterhin ein Anpassungs- und damit Forschungsbedarf.

7. Zusammenfassung

Die anlagenbezogenen Daten der österreichischen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von ≥ 2.000 EW_{60} werden, entsprechend der Kommunalen Abwasserrichtlinie 91/271/EWG, alle zwei Jahre zusammengetragen und analysiert. Zuletzt ist dies 2020 geschehen. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme aller kleinen Kläranlagen Österreichs wurden von Langergraber et al. (2018) bereits die Daten (Lage, Ausbaugröße, Bewilligungszeitpunkt, Status und Reinigungsart) der Anlagen mit einer Ausbaugröße ≤ 500 EW_{60} gesammelt und ausgewertet. Für die übrigen Anlagen mit einer Ausbaugröße von 501 – 1.999 EW_{60} fehlt eine solche zentrale Auswertung bisher.

In Zusammenhang mit dem Umgang mit den anfallenden kommunalen Klärschlammen findet derzeit ein Umbruch statt. So wird die landwirtschaftliche Verwertung, aufgrund der Gefahr des Schadstoffeintrages in den Boden (und somit in die Nahrungskette) von der derzeitigen Fassung des Bundesabfallwirtschaftsplans als *„für die Zukunft nicht gesichert“* beschrieben (BMNT, 2017, S.260). Außerdem wird die Rückgewinnung der nicht substituierbaren und essenziellen Ressource Phosphor aus dem Abwasser forciert. Vom Bundesabfallwirtschaftsplan wird angestrebt, dass bis zum Jahr 2030 zwischen 65 und 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Aus diesem Grund sind die Anlagenbetreiber von Kläranlagen ab einer Ausbaugröße von 50.000 EW_{60} aufgefordert, zeitnahe zukünftige Konzepte zu entwickeln, um dieses Ziel zu erreichen. Die Monoverbrennung mit einer anschließenden Phosphorrückgewinnung aus der dabei entstehenden Verbrennungsasche wird diesbezüglich als vielversprechende Technologie gesehen (BMNT, 2017).

Mit diesem Hintergrund soll diese Arbeit am Beispiel des Landes Oberösterreich zunächst ein vollständiges Inventar von allen kommunalen Kläranlagen inkl. anlagenbezogener Informationen schaffen. Darüber hinaus werden die auf diesen Kläranlagen anfallenden Klärschlammmengen dargestellt, und ein Einblick in die aktuelle Praxis der Klärschlammverwertung geboten.

In Oberösterreich gibt es 2.782 kommunale Kläranlagen, die in Summe eine Ausbaugröße von rund 3,5 Mio. EW_{60} haben. Rund 70 % der kommunalen Abwässer werden von den Anlagen der Größenklasse VI (≥ 50.000 EW_{60}) gereinigt. Ein Großteil der Reinigungsleistung fällt auf Belebungsanlagen mit anaerober Stabilisierung. In Oberösterreich sind sehr viele kleine und im ländlichen Raum angesiedelte Kläranlagen in Betrieb. So haben knapp 95 % (2.626 Stück) der Anlagen einer Ausbaugröße von maximal 500 EW_{60}.

Beim Klärschlammanfall ist ein ähnliches Bild wie bei der Reinigungsleistung zu erkennen. Knapp 60 % des kommunalen Klärschlammes fällt auf Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von zumindest 50.000 EW_{60} an. Das bedeutet jedoch im Umkehrschluss, dass über 40 % der Klärschlammmenge in Anlagen anfällt, welche für die Reinigung der Abwässer von weniger als 50.000 EW_{60} ausgelegt sind und somit nicht explizit vom Bundesabfallwirtschaftsplan angesprochen werden.

Der anfallende Klärschlamm wird unterschiedlichen Verwertungsarten zugeführt. Hierbei ist die landwirtschaftliche Verwertung immer noch die häufigste. Über 60 % der Klärschlammtrockensubstanz werden in Oberösterreich bis heute diesem Verwertungspfad zugeführt. Die mehrheitlichen Ursachen dafür sind, dass es die kostengünstigste Option ist,

welche zudem von vielen Kläranlagenbetreibern als ökologisch sinnvollste Variante gesehen wird. Vor allem Kläranlagen der Größenklassen I – V (< 50.000 EW_{60}), die meist im ländlichen Raum angesiedelt sind, entscheiden sich hauptsächlich für diesen Verwertungspfad. Damit bestätigt sich erneut, dass diese Kläranlagen geringer Ausbaugrößen bei der stattfinden Trendwende der Branche mitberücksichtigt werden sollten.

Andere in Oberösterreich eingesetzte Verwertungspfade sind die Kompostierung, die Vererdung, die Verfuhr zu einer Nachbarkläranlage und die Verwertung über ein externes Unternehmen. Außerdem haben sich einige wenige Betreiber von (in erster Linie großen) kommunalen Kläranlagen bereits dazu entschieden, den bei ihnen anfallenden Klärschlamm in eine thermische Verwertung zu führen. Diese ist in der thermischen Abfallverwertungsanlage der Stadt Wels, dem Reststoffheizkraftwerk der Stadt Linz und der thermischen Reststoffverwertung Lenzing möglich. Eine Monoverbrennungsanlage für die thermische Verwertung von Klärschlamm gibt es in Oberösterreich nicht, weswegen diese Art der Verbrennung zum momentanen Zeitpunkt nicht möglich ist.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass im ländlichen Raum Oberösterreichs viele kleine Kläranlagen in Betrieb sind, welche vom Bundesabfallwirtschaftsplan nicht explizit angesprochen werden und zudem noch oftmals auf eine landwirtschaftliche Verwertung des anfallenden Klärschlamms setzen. Diese Anlagen dürfen bei der Ausarbeitung zukünftiger Klärschlammverwertungskonzepte nicht allein gelassen werden, damit auch hier eine langfristige Klärschlammverwertung im Sinne der aktuellen Entwicklungen sichergestellt werden kann.

8. Literaturverzeichnis

ABFALLWIRTSCHAFTSGESETZ (2002). *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002) StF: BGBl. I Nr. 102/2002 (NR: GP XXI RV 984 AB 1008 S. 94. BR: 6576 AB 6584 S. 685.).*

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2006). *Ratgeber Abwasserentsorung in Streulage.* Linz: Amt der Oö. Landesregierung.

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2009). *Kommunale Abwasserreinigungsanlagen in Oberösterreich - Informationsbroschüre des Landes Oberösterreich.* Linz: Land Oberösterreich.

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2013). *Land Oberösterreich Open Data - Bezirksgrenzen generalisiert*. Abgerufen am 25. 12 2020 von https://www.land-oberoesterreich.gv.at/124796.htm

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (Mai 2019). Anlagen bis 500 EW_2019; schriftl. Mitteilung via E-Mail 2019.

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2020a). Anlagen >49 EW_2019; schriftl. Mitteilung via E-Mail.

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2020b). Koordinaten ARA; schritl. Mitteilung via E-Mail.

AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG (2020c). Klärschlammdaten 2019; schritl. Mitteilung via E-Mail.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (2007). *Untersuchung der Stoffflüsse und sinnvolle Verwertung von sowie Reststoffnutzung aus Klärschlamm in der Steiermark Endbericht.* Graz.

ATV (1997) *ATV Handbuch - biologische und weitergehende Abwasserreinigung.* Hennef: Ernst & Sohn.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2013). *Verfahren der biologischen Abwasserreinigung.* Augsburg.

BMK (2020). *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2020 (Referenzjahr 2018).* Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie.

BMLFUW & BMFJ (2020). *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung - AVV) StF. BGBl. II Nr. 389/2002.*

BMLFUW (2020). *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft mit der Bestimmung zu Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden (Düngemittelverordnung 2004) StF: BGBl. II Nr. 100/2004.*

BMLFUW (2016). *EU Nitratrichtlinie 91/676/EWG Österreichischer Bericht.*

BMLRT (2020). *Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus*. Abgerufen am 22. 10 2020 von ÖPUL 2015 - das Agrar-Umweltprogramm bis 2020: https://www.bmlrt.gv.at/land/laendl_entwicklung/oepul/oepul2015.html

BMLRT (2018). *Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG idF BGBl. I Nr. 73/2018).* Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Region und Tourismus.

BMNT (2017). *Bundes-Abfallwirtschaftsplan.* Wien: Bunderministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

DÜNGEMITTELGESETZ (2020). *Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelgesetz 1994 - DMG 1994) StF: BGBl. Nr. 513/1994 (NR: GP XVIII RV 1463 AB 1683 S. 169. BR: AB 4830 S. 588.).*

DWA (2019). *Technische Hinweise zu bewährten Behandlungsverfahren für Klärschlamm, Dritter Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5.*

DWA (2016). *Arbeitsblatt DWA-A 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.* Hennef.

DWA (2014a). *Merkblatt DWA-M 368, Biologische Stabilisierung von Klärschlamm.* Hennef.

DWA (2014b). *Merkblatt DWA-M 388, Mechanisch-Biologische (Rest-)Abfallbehandlung (MBA).* Hennef.

DWA (2013). *Merkblatt DWA-M 366, Maschinelle Schlammentwässerung.* Hennef.

DWA (2009). *Merkblatt DWA-M 210 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb.* Hennef.

ENGSTLER, E. (2020). *Evaluation of the treatment performance of small wasterwater treatment plants in Upper Austria.* Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz.

ENGSTLER, E., KERSCHBAUMER, D., & LANGERGRABER, G. (2019). *Evaluierung von Kleinkläranlagen anhand der Fremdüberwachungsdaten* (Bd. 251). Wien: Wiener Mitteilungen.

EU-RAT (2011). *Richtlinie 2001/92/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten.*

EU-RAT (2010). *Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über Industrieemissionen (intergrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung).*

EU-RAT (2008a). *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien.*

EU-RAT (2008b). *Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung.*

EU-RAT (1986). *Richtlinie 86/278/EWG des Rates über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft.*

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010). 91/676/EEC The EU Nitrates Directive.

FEIGL, D. (2018). *Bestandserhebung von Kleinkläranlagen und Kleinen Kläranlagen (in Kärnten, Salzburg und Tirol).* Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz.

GERSTORFER, S. (2018). *Immissionsorientierte Studie der Phosphorelimination bei kleinen Kläranlagen und Kleinkläranlagen in Österreich.* Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz.

GFK INGENIEURE GMBH (2006). *Langfriststrategie zur Klärschlammentsorgung aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen im Freistaat Sachsen - Aktualisierung 2005 - 20015.* Dresden: SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE.

GUJER, W. (2007). *Siedlungswasserwirtschaft.* Zürich-Höggerberg: Springer-Verlag.

HAIDER, R., & HUSZ, G. (2003). *Alternative stoffliche Verwertung von Klärschlamm* (Bd. Band 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

HÖLZ, F. (2003). *Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung in OÖ* (Bd. 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

HÖLZL, F. (2020). *Landwirtschaftskammer Oberösterreich*. Abgerufen am 22. 10 2020 von https://ooe.lko.at/kl%C3%A4rschlamm-in-der-landwirtschaft-%C3%B6pul-und-cc+2500+2861957

HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH (2010). *Allgemeine Kriterien und Empfehlung für die Klärschlammbehandlung und -verwertung in Kleinregionen.* Amt der NÖ Landesregiung Abt. WA4.

IMHOFF, K., IMHOFF, K., & JARDIN, N. (2007). *Taschenbuch der Stadtentwässerung* (30 Ausg.). München: Oldenburg-Industrieverlag GmbH.

KRETSCHMER, F., ZINGERLE, T., & ERTL, T. (3. September 2018). Perspektiven der künftigen Klärschlammbewirtschaftung in Österreich. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*(70), S. 579-587.

KROISS, H. (2003). *Neue internationale Entwicklungen auf dem Gebiet Klärschlamm* (Bd. Band 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

KÜGLER, I., ÖHLINGER, A., & WALTER, B. (2004). *Dezentrale Klärschlammverbrennung.* Wien: Umweltbundesamt.

LAMPERT, C., REISINGER, H., & ZETHNER, G. (2014). *Bioabfallstrategien.* Wien: Umweltbundesamt GmbH.

LANGERGRABER, G.; PRESSL, A.; KRETSCHMER, F.; WEISSENBACHER, N. (2018). Kleinkläranlagen in Österreich - Entwicklung, Bestand und Management. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 70(11/12)*, S. 560-569. Von https://doi.org/10.1007/s00506-018-0519-z. abgerufen

LINDTNER, S. (2008). *Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen.* Wien: Lebensministerium.

MOSER, D. (2003). *Aktuelle Entwicklungen der rechtlichen Rahmenbedingungen für die Klärschlammverwertung und -entsorgung in Österreich und in der EU* (Bd. Band 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

MÜLLER, J. (2003). *Stand der Technik bei der Klärschlammdesintegration* (Bd. Band 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

NIKODEM, A., STAUB, M., & HEQUENT, L. (2018). *Praxishandbuch der Kreislauf- und Rohstoffwirtschaft.* (P. KURTH, M. FAULSTICH, & A. OEXLE, Hrsg.) Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

OFTNER, M., & ZIERITZ, I. (2020). *Kommunales Abwasser - Österreichischer Bericht 2020.* Wien: Bundesministerium für Landwirtschaft, Region und Tourismus.

OLIVIA, J., BERNHARDT, A., REISINGER, H., DOMENIG, M., & KRAMMER, H. (2009). *Klärschlamm - Materialien zur Abfallwirtschaft.* Wien: Umweltbundesamt.

Ö-NORM B 2502-1. (2012). *Kleinkläranlagen (Hauskläranlagen) für Anlagen bis 50 Einwohnerwerte (EW) - Vor Ort hergestellte Anlagen.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

Ö-NORM B 2502-2. (2003). *Kläranlagen-Kleine Kläranlagen für 51 bis 500 Einwohnerwerte.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

Ö-NORM B 2505. (2005). *Bepflanzte Bodenfilter (Pflanzenkläranlagen) Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb.* Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

OÖ. KLÄRSCHLAMMVERORDNUNG (2020). *Verordnung der Oö. Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden (Oö. Klärschlammverordnung 2006), StF: LGBl. Nr. 62/2006.*

ÖWAV (2014). *ÖWAV-Positionspapier "Klärschlamm als Ressource".* Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

ÖWAV (2019). *Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2020.* Wien: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV).

PASSER, H., & DORNHOFER, K. (2008). *Herausforderungen bei der Anpassung von Kläranlagen an den Stand der Technik aus Sicht der Planung* (Bd. Band 208). Wien: Wiener Mitteilungen.

PÜRMAYR, R., HAIDINGER, F., REINER, B., FRANK, J., & LANG, B. (2017). *Oberösterreichischer Abfallwirtschaftsplan 2017.* Linz: Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft.

SCHAAF, H. (2003). *Der Klärschlamm - ein Schadstoffgemisch oder eine nutzbringende Ressource für eine nachhaltige Landwirtschaft* (Bd. Band 184). Wien: Wiener Mitteilungen.

SIG (2015). *VU Siedlungswasserbau und Gewässerschutz, Belebungsverfahren.* Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz, Wien.

SYNERGIS INFORMATIONSSYSTEME GMBH (2018). *Open Data hosted bei SynerGIS - Bundeslaendergrenzen grundstuecksgenau*. (Synergis) Abgerufen am 25. 12 2020 von https://data-synergis.opendata.arcgis.com/datasets/bundeslaendergrenzen-grundstuecksgenau

TRAUNER, A., KROIS, G., WENZL, B., MAHRINGER, M., & NÖSTERER, F. (2006). *Ratgeber Abwasserentsorgung in Streulage.* Linz: Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft.

ÜBERREITER, E., LENZ, K., & ZIERITZ, L. (2018). *Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht 2018.* Wien: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus.

VANAS, F. (2016). *Aktuelle Situation und zukünftige Entwicklungen bei der Klärschlammentsorgung in Österreich.* Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, Insitut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz.

WIRTSCHAFTSKAMMER WIEN (2018). *WKO Wien*. Abgerufen am 19. Oktober 2020 von https://www.wko.at/service/umwelt-energie/ippc-anlagen.html#heading_Wann_ist_das_Genehmigungsverfahren_f_r_IPPC_Anlagen_anzuwenden_

ZINGERLE, T. (2018). *Integrale Betrachtung der Klärschlammverwertung durch Monoverbrennung.* Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien , Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz .

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:Ausgewählte Grenzwerte für unterschiedliche Deponieunterklassen für nicht gefährliche Abfälle (GRECH et al., 2009; zit. bei VANAS, 2016) 30

Tabelle 2: Geltungsbereich der Rahmenbedingungen bei der Klärschlammverwertung (eigene Darstellung) 33

Tabelle 3: Boden- und Klärschlammgrenzwerte der Richtlinie 86/278 (MOSER, 2003) 34

Tabelle 4:Schadstoffgrenzwerte für Klärschlamm, in mg/kg TS (§ 1 Oö. Klärschlammverordnung). (OLIVIA, et al., 2009) 39

Tabelle 5: Schadstoffgrenzwerde im Boden (§ 2 Oö. Klärschlammverordnung). (OLIVIA, et al., 2009) 39

Tabelle 6: Anzahl aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 47

Tabelle 7: Ausbaugröße aller kommunaler Kläranlagen nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 49

Tabelle 8: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse I; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) 52

Tabelle 9: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse II; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 53

Tabelle 10: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse III; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 53

Tabelle 11: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse IV; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 54

Tabelle 12: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse V; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 54

Tabelle 13: Kommunale Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautypen mit Ausbaugröße der Größenklasse VI; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 54

Tabelle 14: Jährlicher Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) 56

Tabelle 15: Literaturwerte für Klärschlammanfall auf Abwasserreinigungsanlagen (eigene Darstellung; Werte nach Imhoff et al. (2007) und Lindtner (2008)) 56

Tabelle 16: Jährlicher Klärschlammanfall in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 57

Tabelle 17: Spezifischer Klärschlammanfall pro EW_{60} in kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklasse und Anlagentyp; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) 57

Tabelle 18: Anzahl der Kläranlagen aus welchen Klärschlamm den jeweiligen Verwertungspfaden zugeführt wurde inkl. Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 59

Tabelle 19: Verwertungsmenge des Klärschlammes nach Verwertungspfad; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 60

Tabelle 20: Klärschlammverwertungspfade der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen 61

Tabelle 21: Klärschlammverwertungsmengen der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen 62

Tabelle 22: Anzahl der Kläranlagen aus welchen Klärschlamm den jeweiligen Verwertungspfaden zugeführt wurde; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 64

Tabelle 23: Klärschlammmengen nach Verwertungsart in Oberösterreich; Daten aus Interviewbefragung berücksichtigt; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 64

Tabelle 24: Nennungen an Begründungen für Wahl des Klärschlammverwertungspfades in Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen 68

Tabelle 25:Motive für die Wahl der Verbrennung als Verwertungspfad; eigene Darstellung auf Grundlage der Interviewbefragungen 69

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung einer 3-Kammer-Faulanlage (Ö-NORM B 2502-1, 2012) 4

Abbildung 2: Schema einer Belebungsanlage (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013) 6

Abbildung 3: Bauformen von Belebungsverfahren (SIG, 2015) 7

Abbildung 4: Verfahrensvarianten von Belebungsanlagen in Durchlaufbetrieb (SIG, 2015) 8

Abbildung 5: Darstellung einer simultanen Denitrifikation in einem Umlaufbecken (DWA, 2016) 8

Abbildung 6: Verfahrenszyklus einer SBR-Anlage (DWA, 2009) 9

Abbildung 7: Typischer Verfahrensaufbau einer mesophilen Schlammfaulanlage (GUJER, 2007) 10

Abbildung 8: schematische Draufsicht einer Tropfkörperanlage (Ö-NORM B 2502-1, 2012) 11

Abbildung 9: Fließschema einer Tropfköperanlage (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013) 12

Abbildung 10: Schema der Funktionsweise eines Tauchkörpers (HEINRICH UND HEINRICH, 2008; zit. bei FEIGL, 2018) 12

Abbildung 11: Schema einer Tauchkörperanlage (GUJER, 2007) 13

Abbildung 12: Schema eines vertikal durchströmten Bodenfilters (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2013) 14

Abbildung 13: Mögliche Kombinationen von (Vor-)Behandlungs-, Verwertungs- und Entsorgungsschritten für Klärschlamm (ÖWAV, 2014) 16

Abbildung 14: Verfahren zur Klärschlammtrocknung (WESSEL, 2007; zit. bei OLIVIA, et al., 2009) 19

Abbildung 15: Schema einer Anlage zur mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (SKUTAN & BRUNNER, 2006; zit. bei OLIVIA, et al., 2009) 20

Abbildung 16: Ablauf der natürlichen und simulierten Bodenbildung (HAIDER, et al., 2003) 24

Abbildung 17: Beispiel Klärschlammvererdungsbecken in Folienbauweise (HYDRO INGENIEURE UMWELTTECHNIK GMBH & HENNINGER & KAINZ GMBH, 2010) 25

Abbildung 18:Vereinfachtes Verfahrensfließbild des Wirbelschichtofens WSO 4-Simmeringer Haide (FENRWÄRME WIEN o.J; zit. bei OLIVIA, et al., 2009) 28

Abbildung 19: Flüsse des in Klärschlamms enthaltenen Phosphors nach Verwertungspfaden (LAMPERT, et al., 2014) 31

Abbildung 20: Anzahl aller Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 48

Abbildung 21:Verteilung der eingesetzten Anlagentechnologien je Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 49

Abbildung 22: Ausbaugröße aller kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Bautyp und Größenklasse; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 50

Abbildung 23: Vergleich Kläranlagenanzahl und Ausbaugrößen je Größenklasse in %; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a) 50

Abbildung 24: Standorte der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs nach Größenklassen (II – VI); eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020b) 51

Abbildung 25: Standorte der kommunalen Kläranlagen Oberösterreichs der Größenklassen I); eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020b)..... 52

Abbildung 26: spezifischer Klärschlammanfall pro EW_{60} je Bautyp und Größenklasse ; eigene Darstellung auf Grundlage von (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020a), (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2019)..... 58

Abbildung 27: gewählte Klärschlammverwertungspfade der Anlagen aus der Kategorie „Sonstiges“; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen..... 62

Abbildung 28:Klärschlammmengenverteilung nach Verwertungspfaden; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)..... 64

Abbildung 29: Verwertungsmengenverteilung je Ausbaugröße; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c)..... 65

Abbildung 30: Klärschlammmengenverteilung nach Verwertungspfaden von Kläranlagen <50.000 EW_{60}; eigene Darstellung auf Grundlage der durchgeführten Interviewbefragungen und (AMT DER OÖ. LANDESREGIERUNG, 2020c) 66

Abbildung 31: Darstellung der oberösterreichischen Verbrennungsanlagen samt Kläranlagen, welche in Verbrennung führen (inkl. industrielle Anlagen) 67

11. Lebenslauf

Lebenslauf

Johannes Sacken
Elisabethstraße 22/6
1010 Wien
Austria
+436648132623
johannes@sacken.at



Curriculum Vitae

Persönliche Informationen

Johannes Sacken
Geboren 03.08.1995 in Wien
Österreichische Staatsbürgerschaft

Ausbildung

Seit 2018	Masterstudium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien
2014 – 2018	Bachelorstudium der Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien
2005 – 2013:	Piaristengymnasium Bg8, 1080 Wien, Abschluss mit ausgezeichnetem Erfolg
2001 – 2005:	Volksschule Stiftgasse, 1070 Wien

Berufserfahrung

Seit April 2021:	Büro Dr. Lengyel ZT GmbH; Vollzeitbeschäftigung
2017 – 2021:	Büro Dr. Lengyel ZT GmbH; freier Dienstnehmer
2015 – 2017:	Aquacena Handels-GmbH: Buchhaltungsvorbereitung
2014 – 2015:	Trafik Svoboda: Verkauf
2013 – 2014:	Zivildienst, Rettungsdienst bei den Johannitern Wien
Juli 2013:	Spirit Design-Innovation and Brand GmbH: Evaluierung, Analyse und Aufbereitung von Daten

Sprachen

Deutsch:	Muttersprache
Englisch	fließend
Französisch	Grundkenntnisse
Spanisch	Grundkenntnisse

Sonstige Kenntnisse

EDV-Kenntnisse:	Microsoft Office, AutoCAD, Mathcad, RFEM, Geosi, ArcGIS, QGIS, HecRAS, SWMM, EPAnet, uvm.

Führerschein Klasse B
Hobbies: Tennis, Klettern Skifahren

12. Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die Masterarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

_____ _____

(Ort, Datum) *(Unterschrift)*

13. Anhang

13.1 Zusammenfassung der Hintergründe der Interviewbefragung zu dem Thema „Sonstige“ Verwertungspfade

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl

Masterarbeit

Klärschlammanfall und -verwertung bei den kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich

Bei der Reinigung von kommunalen Abwässern fallen in Oberösterreich laut zuständigem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung jährlich rund 36.000 Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm an. Deren Entsorgung stellt eine wichtige Aufgabe, aber auch eine große Herausforderung für die Betreiber von Kläranlagen dar. Vor allem zwei Aspekte haben hier einen wichtigen Einfluss auf die künftige Entwicklung:

Die aktuelle Fassung des österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan sieht vor, dass bis zum Jahr 2030 zwischen 65 und 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Um diese Vorgabe umzusetzen, sind vor allem Betreiber von Anlagen einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 Einwohnerwerten dazu aufgerufen, weiterführende Überlegungen in Bezug auf deren künftige Klärschlammverwertung anzustellen.

Zudem wird die Aufbringung von kommunalen Klärschlämmen auf (landwirtschaftliche) Böden wegen der möglichen Gefahr einer Schadstoffanreicherung immer kritischer gesehen. Allerdings ist dieser Verwertungspfad in Oberösterreich noch heute von zentraler Bedeutung.

Somit stehen derzeit viele Abwasserunternehmen vor der Herausforderung, neue Verwertungs- und Entsorgungspfade für den, auf ihrer Anlage anfallenden, Klärschlamm zu finden. Ziel dieser Masterarbeit ist es daher, zu untersuchen, welche alternativen Entsorgungskonzepte in Oberösterreich heute schon praktiziert werden. Damit soll den Abwasserunternehmen ein Überblick über mögliche künftige Verwertungsoptionen bereitgestellt werden. Dabei ist vor allem die Praxis auf kleinen Kläranlagen von Interesse, da diese zwar in großer Zahl vorhanden sind, vom Bundesabfallwirtschaftsplan aber nicht unmittelbar berücksichtigt werden.

Es stellen sich somit folgende Fragen:

1. Welchen Verwertungspfaden wird Klärschlamm aus dieser Anlage zugeführt?
2. Warum hat sich diese Kläranlage für diese Verwertungspfade entschieden?

Alle zur Verfügung gestellten Informationen werden anonym behandelt.

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Johannes Sacken

Diplomand am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien

13.2 Protokollvorlage der Interviewbefragung zu dem Thema „Sonstige“ Verwertungspfade

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl

Masterarbeit

Klärschlammanfall und -verwertung bei den kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich

Interviewprotokoll: sonstige Verwertung

Datum		
Kläranlage		
Gespräch mit		

1)	Frage:	In welche Verwertungspfade wird Klärschlamm aus dieser Anlage geführt?
	Antwort:	
2)	Frage:	Warum hat sich diese Anlage für diesen Verwertungspfad entschieden?
	Antwort:	

Alle zur Verfügung gestellten Informationen werden anonym behandelt.

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Johannes Sacken

Diplomand am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien

13.3 Zusammenfassung der Hintergründe der Interviewbefragung zu dem Thema thermische Verwertung

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl

Masterarbeit

Klärschlammanfall und -verwertung bei den kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich

Bei der Reinigung von kommunalen Abwässern fallen in Oberösterreich laut zuständigem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung jährlich rund 36.000 Tonnen Trockensubstanz Klärschlamm an. Deren Entsorgung stellt eine wichtige Aufgabe, aber auch eine große Herausforderung für die Betreiber von Kläranlagen dar. Vor allem zwei Aspekte haben hier einen wichtigen Einfluss auf die künftige Entwicklung:

Die aktuelle Fassung des österreichischen Bundesabfallwirtschaftsplan sieht vor, dass bis zum Jahr 2030 zwischen 65 und 85 % des in Österreich anfallenden kommunalen Klärschlamms einer Phosphorrückgewinnung zugeführt werden. Um diese Vorgabe umzusetzen, sind vor allem Betreiber von Anlagen einer Ausbaugröße von mindestens 50.000 Einwohnerwerten dazu aufgerufen, weiterführende Überlegungen in Bezug auf deren künftige Klärschlammverwertung anzustellen. Als vielversprechende Lösung wird hierfür die Monoverbrennung mit anschließender Phosphorrückgewinnung aus der dabei entstehenden Verbrennungsasche gesehen.

Zudem wird die Aufbringung von kommunalen Klärschlämmen auf (landwirtschaftliche) Böden wegen der möglichen Gefahr einer Schadstoffanreicherung immer kritischer gesehen. Allerdings ist dieser Verwertungspfad in Oberösterreich noch heute von zentraler Bedeutung.

Somit stehen derzeit viele Abwasserunternehmen vor der Herausforderung, neue Verwertungs- und Entsorgungspfade für den auf ihrer Anlage anfallenden Klärschlamm zu finden. Ziel dieser Masterarbeit ist es daher, zu untersuchen, welche alternativen Entsorgungskonzepte in Oberösterreich heute schon praktiziert werden. Damit soll den Abwasserunternehmen ein Überblick über mögliche künftige Verwertungsoptionen bereitgestellt werden. Dabei ist vor allem die Praxis auf kleinen Kläranlagen von Interesse, da diese zwar in großer Zahl vorhanden sind, vom Bundesabfallwirtschaftsplan aber nicht unmittelbar berücksichtigt werden.

Ein Fokus liegt hier auf Anlagen, die bereits heute Klärschlamm einer thermischen Verwertung zuführen. Dabei stellen sich folgende Fragen:

1. Warum hat sich diese Anlage für diesen Verwertungspfad entschieden?
2. Wo wird ihr Klärschlamm thermisch verwertet?
3. Was für eine Art von Verbrennungsanlage ist das (Monoverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage, was wird gegebenenfalls mitverbrannt)?

Alle zur Verfügung gestellten Informationen werden anonym behandelt.

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Johannes Sacken

Diplomand am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien

13.4 Protokollvorlage der Interviewbefragung zu dem Thema thermische Verwertung

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz
Leiter: Univ.Prof. DI Dr. Thomas Ertl

Masterarbeit

Klärschlammanfall und -verwertung bei den kommunalen Kläranlagen in Oberösterreich

Interviewprotokoll: thermische Verwertung

Datum	
Kläranlage	
Gespräch mit	

1)	Frage:	Warum hat sich diese Anlage für diesen Verwertungspfad entschieden?
	Antwort:	
2)	Frage:	Wo wird ihr Klärschlamm thermisch verwertet?
	Antwort:	
3)	Frage:	Was für eine Art von Verbrennungsanlage ist das (Monoverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlage, was wird gegebenenfalls mitverbrannt)?
	Antwort:	

Alle zur Verfügung gestellten Informationen werden anonym behandelt.

Vielen Dank für Ihre Zeit!

Johannes Sacken

Diplomand am Institut für Siedlungswasserbau, Industriewasserwirtschaft und Gewässerschutz an der Universität für Bodenkultur Wien