



zukunft
SEIT 1909
denken

WASSER • ABWASSER • ABFALL

■ EXPERT:INNENPAPIERE

des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV)

ÖWAV-Expert:innenpapier

Phosphor aus Klärschlamm zurück in den Kreislauf – Anforderungen an Betreiber von Klär- und Verbrennungsanlagen

Erstellt vom ÖWAV-Unterausschuss „Anforderungen an den Betreiber von Klär- und Verbrennungsanlagen für eine Phosphor-Rückgewinnung“ der Fachgruppe „Abwassertechnik und Gewässerschutz“ im ÖWAV

Wien 2026

Dieses Expert:innenpapier ist das Ergebnis ehrenamtlicher, technisch-wissenschaftlicher
Gemeinschaftsarbeit.

Dieses Expert:innenpapier ist eine wichtige, jedoch nicht die einzige Erkenntnisquelle für eine fachgerechte Lösung. Durch seine Anwendung entzieht sich niemand der Verantwortung für eigenes Handeln oder für die richtige Anwendung im konkreten Fall. Eine etwaige Haftung der Urheber ist ausgeschlossen.

Hinweis:

Bei allen Personenbezeichnungen in diesem Expert:innenpapier gilt die gewählte Form für alle Geschlechter.

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Hersteller: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autor:innen, Mitwirkenden oder des Verlags ausgeschlossen ist.

Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlags reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2026 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

VORWORT

Die österreichische Abwasser- und Abfallwirtschaft leistet seit vielen Jahrzehnten einen wesentlichen Beitrag zum Schutz unserer Umwelt und Gesundheit, indem sie Abwasser effizient reinigt, Rückstände aus der Abwasserreinigung sicher behandelt und dabei unsere natürlichen Ressourcen schont. Durch die Neuerlassung der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) 2024 ist es nun offiziell: Mit Stichtag 1.1.2033 wird Kläranlagen und Klärschlammverbrennungsanlagen eine neue, zusätzliche Aufgabe übertragen. Die begrenzte Ressource Phosphor ist zukünftig aus Abwasser bzw. Klärschlamm rückzugewinnen, um diese nachhaltig in die Landwirtschaft zurückzubringen und letztlich für unsere Ernährungssicherheit vorzusorgen.

Zur Umsetzung der AVV stehen sowohl der Kläranlagenbetrieb als auch Verbrennungsanlagen nun vor der Herausforderung, organisatorische, technische, rechtliche und wirtschaftliche Anforderungen in Einklang zu bringen. Gleichzeitig ist es wichtig zu erwähnen, dass diese Entwicklung auch Chancen eröffnet – für Innovation, Ressourcenschutz und eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft im Abwasser- und Abfallwirtschaftssektor.

Das vorliegende Experten:innenpapier soll dabei eine Orientierung bieten. Es zeigt praxisnahe Lösungswege auf, gibt einen Überblick über aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen und stellt technische Ansätze vor, mit denen Phosphor künftig effizient und sicher zurückgewonnen werden kann. Das Ziel der Verfasser:innen dieses Papiers ist es, Kläranlagen und Klärschlammverbrennungsanlagen bei dem schwierigen Schritt von der Forschung in die Praxis zu unterstützen – damit uns Phosphor als wertvoller Bestandteil des Stoffkreislaufs erhalten bleibt.

Wir hoffen, dass dieses Papier Impulse für die praktische Umsetzung liefert und den Dialog zwischen allen Beteiligten zur Umsetzung der Rückgewinnungspflicht weiter stärkt.

ÖSTERREICHISCHER
WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND

Wien, im Oktober 2026

An der Erstellung dieses ÖWAV-Expert:innenpapiers haben mitgewirkt:

Ausschussleitung:

DI (FH) DI Dr. Christian LODERER, DI Johann Steinbacher ZT GmbH, Wien

DIⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Arabel LONG, Wien Energie GmbH, Wien

Weitere Autor:innen:

Gerald DUNST, Sonnenerde GmbH, Riedlingsdorf

Mag. Andreas FEISTRITZER, WSA Waste Service GmbH, Hartberg

MR DI Hubert GRECH, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft, Wien

GF DI (FH) Martin HELL, Abwasserverband Achental-Inntal-Zillertal, Strass im Zillertal

DI Dr. Florian HUBER, MA 48 – Abfallwirtschaft, Straßenreinigung und Fuhrpark, Wien

Jürgen JELLY, L-Recycling Strass GmbH, Wien

DI Alexander JEREB, Donau Chemie AG, Brückl

DI Thomas KÖGLER, Abwasserverband Eisenstadt-Eisbachtal, Eisenstadt

DI Dr. Thomas LINSMEYER, ENERGIE AG Oberösterreich Erzeugung GmbH, Gmunden

Mag. Dr. Felix PAPSCH, Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Forschungsinstitut TU Wien Science Center, Wien

DI Dr. Michael POLLAK, wpa Beratende Ingenieure GmbH, Wien

DI Dr. Helga STOIBER, UVP Environmental Management and Engineering GmbH, Wien

Ing. Edmund TSCHAUßNIG, Holding Graz Kommunale Dienstleistungen GmbH, Gössendorf

DI Dr. Gerald WANDL, ebswien kläranlage & tierservice Ges.m.b.H., Wien

Mag. Dr. Martin WELLACHER, Ingenieurbüro Wellacher e.U., Graz

GF Ing. Andreas ZÖSCHER, Mürzverband, Kapfenberg

Für den ÖWAV:

DI Philipp NOVAK, Bereichsleitung Abwasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZIELSETZUNG UND KONTEXT DES EXPERT:INNENPAPIERS	5
2	RECHTLICHE GRUNDLAGEN.....	6
2.1	Kommunale Abwasserrichtlinie	6
2.2	Abfallwirtschaftsgesetz 2002.....	6
2.3	Abfallverbrennungsverordnung 2024	7
2.4	EU-Düngeprodukteverordnung	8
2.5	Düngemittelgesetz 2021 & Düngemittelverordnung 2004.....	8
2.6	EU-Taxonomie-Verordnung.....	9
3	ÜBERBLICK ÜBER MÖGLICHE BEHANDLUNGSOPTIONEN – „STAND DER TECHNIK“ .	10
3.1	Einführung	10
3.2	Phosphorrückgewinnung im Rahmen der Abwasserbehandlung	11
3.2.1	Phosphorrückgewinnung aus dem P-reichen Fällschlamm (1).....	11
3.2.2	Phosphorrückgewinnung aus dem Schlammwasser der Klärschlammmentwässerung (2).12	
3.2.3	Phosphorrückgewinnung aus dem Faulschlamm (3).....	12
3.3	Phosphorrückgewinnung aus entwässertem Klärschlamm (4)	12
3.4	Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsasche (5).....	13
3.4.1	Nasschemische Verfahren	13
3.4.2	Thermochemische Verfahren.....	14
3.5	Einsatz der gesamten Verbrennungsasche zur Herstellung eines Düngeprodukts (5) 15	
4	QUALITÄTSANFORDERUNGEN AN NEBENPRODUKTE UND RESTSTOFFE.....	17
4.1	Anforderung an die Qualität der Fällungsmittel aus dem Rückgewinnungsprozess . 17	
4.2	Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur weiteren Behandlung	18
4.2.1	Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Verwertung in der Zementindustrie	18
4.2.2	Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Verwertung als Zementersatz	18
4.2.3	Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Deponierung	19
5	RELEVANTE VERFAHRENSSCHRITTE UND ANFORDERUNGEN IM HINBLICK AUF EINE ANSCHLIESSENDE PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG AUS DEM SCHLAMMPFAD .	20
5.1	Einflussfaktoren der Klärschlammzusammensetzung auf die Phosphorrückgewinnungsverfahren	20
5.2	Phosphortransfer in den Klärschlamm	20
5.3	Entwässerung von Klärschlamm	21
5.4	Trocknung von Klärschlamm	21
5.5	Zwischenlagerung von Klärschlamm	24
5.5.1	Nassschlamm (< 10 % TS)	24
5.5.2	Entwässerter Schlamm (20 – 35 % TS)	25
5.5.3	Trockenschlamm und -granulat (> 85 % TS).....	25

5.5.4	Allgemeine Anforderungen an den Umgang mit Klärschlamm	26
5.6	Transport von Klärschlamm	26
5.7	Verbrennung von Klärschlamm	27
5.7.1	Lagerung	27
5.7.2	Feuerungstechnologie	28
5.7.3	Heizwert und Trocknung von Klärschlamm.....	28
5.7.4	Förderung, Dosierung und Aufgabe von Klärschlamm.....	28
5.7.5	Gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm und anderen Brennstoffen	29
6	ORGANISATION	30
6.1	Organisation von Kläranlagen	30
6.2	Öffentlich-öffentliche Zusammenarbeit.....	30
6.3	Einbindung kleiner Anlagen – Kooperation statt Eigenverwertung.....	31
6.4	Trocknungshubs als Zwischenschritt zur Verwertung	31
6.5	Bundesländerübergreifende Verwertungsverbünde.....	31
6.6	Revision, Ausfallssicherheit und Ausfallsverbünde.....	31
7	WIRTSCHAFTLICHKEIT UND VERWERTUNG VON PRODUKTEN.....	33
7.1	Kosten	33
7.2	Verwertung von Produkten.....	33
8	QUELLEN	35
	Abkürzungsverzeichnis	36
	ANHANG I: PHOSPHORELIMINATION	37
	ANHANG II: SCHLAMMENTWÄSSERUNGSAGGREGATE.....	40
	ANHANG III: TROCKNERBAUWEISEN.....	43
	ANHANG IV: KOSTEN DER PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG	48

1 ZIELSETZUNG UND KONTEXT DES EXPERT:INNENPAPIERS

Phosphor (P) ist eine essenzielle und nicht substituierbare Ressource, die in der Landwirtschaft und zahlreichen industriellen Anwendungen ihren Einsatz findet. Aufgrund der geopolitisch ungleichen Verteilung der globalen Phosphatvorkommen und der hohen wirtschaftlichen Bedeutung wurde Phosphor bzw. das Erz Rohphosphat 2014 in die EU-Liste der kritischen Rohstoffe aufgenommen. Seither gewinnt die Rückgewinnung aus Sekundärquellen zunehmend an Bedeutung. Abwasser stellt dabei eine zentrale Quelle dar: Phosphor gelangt größtenteils über die Haushalte in die kommunalen Kläranlagen und kann dort zurückgewonnen werden.

Um (neben der sachgerechten Behandlung von Klärschlamm) die Umsetzung einer P-Rückgewinnung voranzutreiben, wurden im Rahmen der Novellierung der Abfallverbrennungsverordnung (AVV) 2024 neue Verpflichtungen der Kläranlagen zur Rückgewinnung von P aus Abwasser definiert. Kläranlagenbetreiber sind nun vor die Herausforderung gestellt, bei gleichbleibender Reinigungsleistung der Kläranlagen und im Rahmen der technischen Möglichkeiten

- eine/n möglichst schad- und stoffarme/n, phosphorreiche/n und weitgehend entwässerten Klärschlamm(-asche) für die Rückgewinnung bereit zu stellen
- und die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser/Klärschlamm/Klärschlammasche zu organisieren und umzusetzen.

Dabei sind Kläranlagenbetreiber, aber auch Klärschlammverbrenner, mit zahlreichen neuen technischen, organisatorischen und wirtschaftlichen Aufgaben konfrontiert, die es bis zur Umsetzungspflicht der AVV 2024 im Jahr 2033 zu bewältigen gilt. Das vorliegende Expert:innenpapier soll Kläranlagenbetreiber, Klärschlammverbrenner und zugehörige Akteure bei der Organisation der P-Rückgewinnung aus Abwasser unterstützen. Es gibt einen Überblick über

- rechtliche Vorgaben,
- mögliche Optionen sowohl zur P-Rückgewinnung als auch zu vorgelagerten Prozessen,
- Anforderungen an die Qualität von Eingangsstoffen für die P-Rückgewinnung wie auch an die Qualität der Ausgangsstoffe sowie
- die wirtschaftlichen Aspekte der Rückgewinnung.

Zusätzlich werden Beispiele und Empfehlungen zu Organisationsformen, zur Verrechnung von Behandlungskosten sowie zum Markteinstieg zur Verwertung der Produkte gegeben, die eine nachhaltige Umsetzung der P-Rückgewinnung aus Abwasser fördern und erleichtern können.

Abschließend ist anzumerken, dass Phosphor derzeit zum Teil über die landwirtschaftliche Verwertung und die Ausbringung von Klärschlammkomposten wieder in den Kreislauf zurück gelangt. Aufgrund der vielfältigen Belastung von Klärschlämmen durch anthropogen verursachte Schadstoffe unterliegen diese Formen der Verwertung jedoch zunehmender Kritik und werden nicht als zukunftsfähig angesehen. Im vorliegenden Expert:innenpapier werden diese Verwertungsformen in Anlehnung an die AVV 2024 nicht als Form der P-Rückgewinnung berücksichtigt.

2 RECHTLICHE GRUNDLAGEN

In diesem Kontext sind zahlreiche unionsrechtliche und staatliche Rechtsakte zu beachten, die zum einen die zu erfüllenden Vorgaben zur Rückgewinnung von Phosphor, zum anderen die Anforderungen an Produkte aus Abwasser bzw. Düngeprodukte im Allgemeinen behandeln. Diese werden im folgenden Kapitel kurz angeschnitten.

2.1 Kommunale Abwasserrichtlinie

Am 1. Jänner 2025 trat die überarbeitete Kommunale Abwasserrichtlinie (KARL) in Kraft. Ab diesem Zeitpunkt haben die EU-Mitgliedsstaaten 30 Monate Zeit, um die neuen Bestimmungen in nationales Recht umzusetzen. Die Anpassung von Kläranlagen an die neuen Bestimmungen wird schrittweise bis 2045 erfolgen. Im Zusammenhang mit der Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser sind voraussichtlich die folgenden zwei neuen Regelungen relevant:

1. Für kommunale Kläranlagen ab 150.000 EW sieht die neue KARL ab 2039 einen Grenzwert von 0,5 mg/l für Phosphor im Ablauf der Kläranlage bzw. einen Entfernungsgrad von 90 % vor. Für Kläranlagen zwischen 10.000 und 149.999 EW gelten ab 2045 0,7 mg/l bzw. 87,5 % Entfernungsgrad. Es ist anzunehmen, dass dies zu einer Erhöhung der Phosphorfracht in Klärschlämmen führt und der Anteil an Eisen und/oder Aluminium im Klärschlamm durch die erforderliche Steigerung der Fällmittelzugabe zunehmen wird.
2. Der Kommission wird die Befugnis übertragen, eine „kombinierte Mindestquote“¹⁾ für die Wiederverwendung und das Recycling von Phosphor aus Klärschlamm und aus kommunalem Abwasser festzulegen. Es ist davon auszugehen, dass die österreichische AVV 2024 diese Mindestquote erfüllen wird und somit **keine** zusätzlichen Anforderungen für Kläranlagenbetreiber im Zusammenhang mit der P-Rückgewinnungspflicht entstehen werden.

2.2 Abfallwirtschaftsgesetz 2002

Das **Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002)** enthält im § 69 (10) verbindliche Vorschriften für den Abfalltransport:

- **Seit 1. Jänner 2026** müssen Abfälle mit mehr als 10 t Gesamtgewicht einer Straßentransportstrecke von **über 100 km** per **Schiene** oder einem **vergleichbar emissionsarmen Verkehrsträger** transportiert werden.
- **Ausnahmen** gelten, wenn keine Bahnkapazität vorhanden ist oder wenn die An- und Abfahrt zur nächstgelegenen Verladestelle eine zusätzliche Strecke von **25 % oder mehr** der Gesamtstrecke ausmacht.
- Zum Nachweis einer solchen Ausnahme muss die **digitale Plattform** <https://aufschiene.gv.at> genutzt werden, die Bahnalternativen überprüft.

¹⁾ KARL, Artikel 20: Klärschlamm und Rückgewinnung von Ressourcen
Die Mitgliedstaaten setzen sich für die Rückgewinnung wertvoller Ressourcen ein und treffen die Maßnahmen, die erforderlich sind, um sicherzustellen, dass die Klärschlammbewirtschaftung der Abfallhierarchie gemäß Artikel 4 der Richtlinie 2008/98/EG entspricht. Diese Klärschlammbewirtschaftung maximiert die Abfallvermeidung, bereitet die Wiederverwendung, das Recycling und die anderweitige Rückgewinnung von Ressourcen, insbesondere Phosphor und Stickstoff, vor, unter Berücksichtigung nationaler oder lokaler Optionen der Verwertung und minimiert die schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit.

Der Kommission wird die Befugnis übertragen, gemäß dem in Artikel 27 genannten Verfahren delegierte Rechtsakte zur Ergänzung dieser Richtlinie durch Festlegung einer kombinierten Mindestquote für die Wiederverwendung und das Recycling von Phosphor aus Klärschlamm und aus kommunalem Abwasser, das nicht im Rahmen der Ausnahme nach Artikel 15 Absatz 1 wiederverwendet wird, zu erlassen, wobei sie verfügbare Technologien und Ressourcen und die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Rückgewinnung von Phosphor berücksichtigt und dem Phosphorgehalt des Klärschlammes und dem Grad der Sättigung des nationalen Marktes mit organischem Phosphor aus anderen Quellen Rechnung trägt und gleichzeitig dafür sorgt, dass die Klärschlammbewirtschaftung sicher ist und es keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt oder die menschliche Gesundheit gibt. Die Kommission erlässt diese delegierten Rechtsakte bis zum 2. Januar 2028.

Ausnahmen von der Verpflichtung zum Transport von Abfällen per Bahn bestehen, wenn die zu transportierenden Abfallarten nicht in der „EVU-Abfallartenliste: Transport von Abfallarten“ angeführt sind. Für diese Abfallarten wird unmittelbar eine Abfallartenbestätigung zum Download ausgestellt. Diese Bestätigung ist bei der Beförderung mitzuführen.

Mit Stand 09.2025 sind folgende Abfälle in der EVU-Abfallartenliste enthalten:

- SN 31318 Asche aus der Verbrennung von kommunalem Klärschlamm,
- SN 91704 Klärschlammkomposte für die Landwirtschaft,
- SN 92201 kommunale Qualitätsklärschlämme, getrocknet > 70 %²⁾ TS,
- SN 92212 kommunale Klärschlämme, getrocknet > 70 % TS.

Kommunale Klärschlämme mit den SN 94301, SN 94302, SN 94501 und SN 94502 sind mit Stand 09.2025 in der EVU-Abfallartenliste **nicht** enthalten.

2.3 Abfallverbrennungsverordnung 2024

Mit 13. Mai 2024 wurde die Novelle der Abfallverbrennungsverordnung 2024 (AVV 2024) veröffentlicht. In der Verordnung befinden sich unter anderem neue Bestimmungen zu Klärschlambewirtschaftung und Phosphorrecycling. Die neuen Bestimmungen gelten für **Klärschlamm** mit den **Schlüsselnummern 92201, 92212, 94301, 94302, 94501 oder 94502** gemäß der Abfallverzeichnisverordnung 2020, aus Abwasserreinigungsanlagen mit einem **Bemessungswert ab 20.000 EW₆₀**, die kommunales Abwasser reinigen. Kleinere Anlagen sind demnach von den neuen Regelungen ausgenommen.

Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung 2020 hat die Zuordnung eines Abfalls zu jener Abfallart zu erfolgen, die den Abfall in seiner Gesamtheit am besten beschreibt. Hierbei sind auch die Herkunft sowie sämtliche stoffliche Eigenschaften des Abfalls zu berücksichtigen. Wenn beispielsweise eine Abwasserreinigungsanlage in der Zellstoff- und Papierindustrie auch einen Anteil an kommunalem Abwasser in der Höhe von 5 % übernimmt, überwiegt der industrielle Abwasseranteil deutlich und die Klärschlämme aus einer derartigen Abwasserreinigungsanlage wären den Schlüsselnummern 94802 „Schlamm aus der mechanischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung“ bzw. 94803 „Schlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung der Zellstoff- und Papierherstellung“ zuzuordnen. Der Phosphorgehalt des Abwassers kann dabei auch als ein Kriterium für die richtige Zuordnung gemäß Abfallverzeichnisverordnung 2020 herangezogen werden.

Klärschlamm gemäß dem Geltungsbereich ist damit nach § 20 AVV 2024 ab 1. Jänner 2023 einer Verbrennung zuzuführen, wobei unter Verbrennung jede Reaktion eines Abfalls mit gasförmigem Sauerstoff unter Abgabe von Wärme mit sichtbarem oder ohne sichtbares Licht verstanden wird. Aus der entstehenden Asche müssen zumindest 80 % des vor der Verbrennung im Klärschlamm enthaltenen Phosphors durch thermische, chemische oder physikalisch-chemische Verfahren zurückgewonnen werden. Neben der direkten Rückgewinnung kann auch die gesamte Asche zur Herstellung eines Düngeprodukts gemäß Düngemittelgesetz 2021 verwendet werden.

Neben der Rückgewinnung aus der Asche können alternativ auch zumindest 60 % des Phosphors bezogen auf den Kläranlagenzulauf am Standort der spezifischen Abwasserreinigungsanlage oder im Nahebereich der Abwasserreinigungsanlage durch thermische, chemische oder physikalisch-chemische Verfahren zurückgewonnen werden. Eine Aufbringung auf den Boden oder Kompostierung gilt dabei nicht als Rückgewinnung von Phosphor.

²⁾ Anm.: An dieser Stelle sowie auch im gesamten Dokument wird der Masseanteil mit „%“ angegeben

2.4 EU-Düngeprodukteverordnung

Mit der neuen EU-Düngeprodukteverordnung (EU) 2019/1009 werden Rechtsvorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Europäischen Binnenmarkt erweitert und spezifische Prinzipien für die Anbringung der CE-Kennzeichnung festgelegt. Eine umfangreiche Übersicht über die Bestimmungen der Verordnung kann dem ÖWAV-Expert:innenpapier „Verwendung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm zur Herstellung von Rohstoffen für EU-Düngeprodukte“ (ÖWAV 2022b) entnommen werden.

In der Verordnung befinden sich unter anderem Bestimmungen zum Einsatz von

- thermisch oxidiertem Klärschlamm (Klärschlammasche) sowie
- ausgefällten Phosphatsalzen aus Klärschlämmen

in Düngeprodukten für den europäischen Binnenmarkt. Diese Bestimmungen finden sich insbesondere in den entsprechenden delegierten Verordnungen für CMC (Komponentenmaterialkategorie) 12 (Phosphatsalze) und 13 (Klärschlammasche). Materialien aus der Pyrolyse oder Vergasung von Klärschlamm sind aus der Verordnung derzeit ausgeschlossen.

Grob zusammengefasst legen die Verordnungen Bestimmungen für

- die erlaubten Eingangsmaterialien für Verbrennung und Ausfällung,
- die Herstellungsbedingungen dieser Ausgangsmaterialien und
- die Qualität dieser Ausgangsmaterialien (Grenzwerte für ausgewählte Schwermetalle und organische Spurenstoffe)

fest. Für die Betreiber von Klär- und Verbrennungsanlagen sind insbesondere die umfassenden Anforderungen zum Qualitätsmanagement der Phosphatsalze bzw. Klärschlammaschen zu erwähnen. Vor einer Verwertung dieser Materialien in Düngeprodukten muss mit einer europäischen Konformitätsstelle das beabsichtigte Qualitätsmanagementsystem abgestimmt sowie ein Audit zur Sicherstellung der Einhaltung der Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt werden. Darunter fallen unter anderem das Aufsetzen eines umfangreichen Monitoringprogramms sowie die Sicherstellung der Einhaltung von erforderlichen Betriebsbedingungen.

Mit Erhalt der Zertifizierung können die entsprechenden Produkte europaweit mit CE-Kennzeichnung vertrieben werden.

2.5 Düngemittelgesetz 2021 & Düngemittelverordnung 2004

Das Düngemittelgesetz 2021 regelt das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten, Pflanzenhilfsmitteln und EU-Düngeprodukten. Düngeprodukte dürfen demnach in Verkehr gebracht werden, wenn sie den Bestimmungen der Düngemittelverordnung entsprechen, durch Bescheid gemäß § 9 eine Zulassung bekommen haben oder die Anforderungen der EU-Düngeprodukteverordnung erfüllen.

Eine Zulassung kann bei der Behörde beantragt werden, wobei im Groben davon auszugehen ist, dass zumindest dieselben Anforderungen wie in der Düngemittelverordnung bzw. der EU-Düngeprodukteverordnung für die Bewertung der Eignung herangezogen werden.

Ziel der Düngemittelverordnung ist es, die Qualität, Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Düngemittelprodukten sicherzustellen. Sie gibt Vorschriften zu Kennzeichnung, Verpackung und Deklaration von Düngemitteln vor und legt Grenzwerte beispielsweise für Mindestnährstoffgehalte, Schwermetalle und organische Spurenstoffe fest.

Zu erwähnen ist, dass kommunale Klärschlämme, Klärschlammkomposte oder aus der Klärschlamm-pyrolyse stammende Produkte in Düngeprodukten nicht enthalten sein dürfen.

2.6 EU-Taxonomie-Verordnung

Die EU-Taxonomie unterstützt bei der Neuausrichtung der europäischen Kapitalströme hin zu nachhaltigen Investitionen. Auch das Phosphorrecycling ist gemäß der delegierten Verordnung (EU) 2023/2486 der Kommission vom 27. Juni 2023 als nachhaltige Wirtschaftstätigkeit eingestuft, sofern grundsätzliche technische Kriterien eingehalten werden. Damit können Unternehmen diese Wirtschaftstätigkeit als ökologisch nachhaltig melden.

Der wesentliche Beitrag wird im Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft gesehen, wobei für eine erfolgreiche Einstufung folgende technische Kriterien einzuhalten sind:

1. Bei einer Rückgewinnung von Phosphorsalzen wie Struvit: Rückgewinnung von mindestens 15 % der eingehenden Phosphorbelastung. Bei der Berechnung dieses Schwellenwerts wird nur das gewonnene Material wie Struvit berücksichtigt.
2. Bei einer nachgelagerten Rückgewinnung nach thermischer Oxidation des Klärschlammes mit chemischer Phosphorrückgewinnung oder nach thermischer Oxidation des Klärschlammes mit thermochemischer Phosphorrückgewinnung: Rückgewinnung von mindestens 80 % der Phosphorbelastung aus dem jeweiligen Eingangsmaterial wie Klärschlammasche.
3. Der extrahierte Phosphor wird als Komponentenmaterial gemäß EU-Düngeproduktverordnung oder den nationalen Düngemittelvorschriften, sofern diese strenger sind, oder in einem anderen Anwendungsbereich verwendet, in dem der zurückgewonnene Phosphor im Einklang mit den jeweiligen Verordnungen bestimmte Funktionen erfüllt.

Durch die Erfüllung der Anforderungen der Abfallverbrennungsverordnung 2024 werden daher automatisch auch die technischen Kriterien der Taxonomie-Verordnung eingehalten.

3 ÜBERBLICK ÜBER MÖGLICHE BEHANDLUNGSOPTIONEN – „STAND DER TECHNIK“

3.1 Einführung

Die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser umfasst zahlreiche Verfahren, von der Fällung und Kristallisation über Adsorption und thermische Behandlung bis hin zur Rückgewinnung aus – bei einer thermischen Verwertung von Klärschlamm anfallenden – Klärschlammasche (Abb. 1). Ziel dieser Ansätze ist es, Phosphor als wertvollen Rohstoff für die Düngemittelproduktion und chemische Industrie aufzubereiten. Details zu den Anforderungen an Phosphorprodukte können dem ÖWAV-Expert:innenpapier „Verwendung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm zur Herstellung von Rohstoffen für EU-Düngeprodukte“ (ÖWAV 2022b) entnommen werden.

Eine Klärschlammbehandlung und P-Rückgewinnung muss die Zerstörung organischer Schadstoffe sicherstellen. Betriebsbedingungen und Ausstattung der Behandlungsanlage sind dafür wesentliche Kriterien. Hinsichtlich PFAS darf auch auf die Ergebnisse der Arbeiten des ÖWAV-Unterausschusses „Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)“ hingewiesen werden, zum Thema Mikroplastik auf das ÖWAV-Expert:innenpapier: „Mikroplastik im Wasser“ (ÖWAV 2022a) aus dem Jahr 2022.

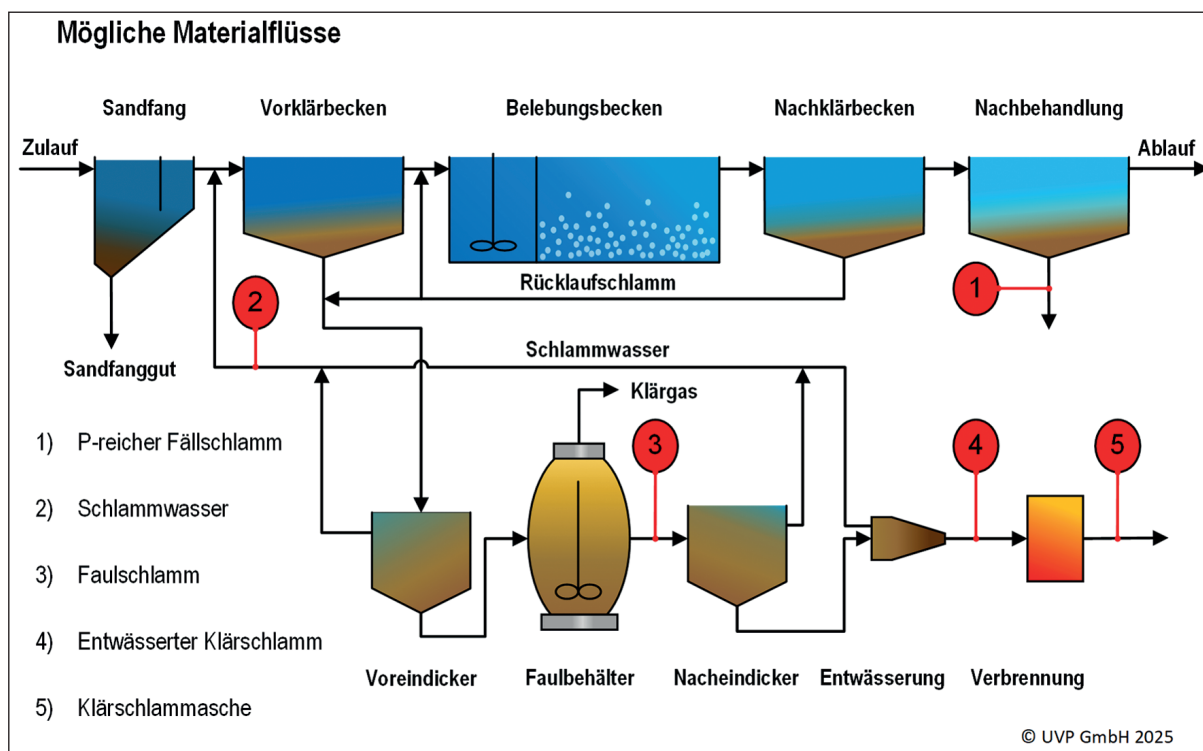


Abb. 1 Ansatzpunkte für eine Rückgewinnung von Phosphor aus kommunalem Abwasser (Quicker 2024; Bearbeitung UVP GmbH)

Die erreichbaren Rückgewinnungsquoten sind je nach Ansatzpunkt unterschiedlich, was besonders auf die im jeweiligen Prozessschritt vorliegenden Phosphorkonzentrationen zurückzuführen ist. Je höher die Konzentration, desto mehr Phosphor kann tendenziell zurückgewonnen werden (Tab. 1).

Tab. 1 Ansatzpunkte für die Phosphorrückgewinnung und zugehörige Potenziale (Quellen: Egle et al. 2014; Amann et al. 2018; Reuna & Väisänen 2018; Kraus et al. 2019)

	Ansatzpunkt	Typische P-Konzentration	Form	Rückgewinnungspotenzial ²⁾
1	P-reicher Fällschlamm ¹⁾	1.6 g/kg FS	chemisch gebunden	< 50 %
2	Schlammwasser	10 – 400 mg/l	gelöst	5 – 50 %
3	Faulschlamm (~3,6 % TS)	600 – 1.400 mg/l 0,6 – 1,4 g/kg FS	biologisch/chemisch gebunden	5 – 50 %
4	Entwässerter Klärschlamm (~30 % TS)	5 – 12 g/kg FS	biologisch/chemisch gebunden	63 – 90 %
5	Klärschlammasche	60 – 100 g P/kg	chemisch gebunden	70 – 88 %

¹⁾ bei Verzicht auf P-Fällung im Belebtschlamm

²⁾ bezogen auf den P im Kläranlagenzulauf (Richtwerte)

Gemäß § 20 AVV 2024 stehen grundsätzlich 3 Optionen zur Rückgewinnung zur Verfügung (siehe auch [Kapitel 2.3](#)):

- Rückgewinnung von Phosphor im Nahbereich der Kläranlage, wobei zumindest 60 Masseprozent des im Kläranlagenzulauf enthaltenen Phosphors zurückgewonnen werden müssen. Darunter fallen die Rückgewinnung aus
 - dem P-reichen Fällschlamm (1),
 - dem Schlammwasser (2),
 - dem Faulschlamm und entwässertem Klärschlamm (3, 4).
- Mind. 80 % Phosphor-Rückgewinnung aus Verbrennungsasche bezogen auf die P-Menge im Klärschlamm (5).
- Einsatz der gesamten Verbrennungsasche zur Herstellung eines Düngeprodukts gemäß Düngemittelverordnung (5).

Eine detaillierte Beschreibung der möglichen Rückgewinnungsoptionen kann dem ÖWAV-Expert:-innenpapier: „Kritische Ressource Phosphor – Wiederherstellung unterbrochener Phosphor-Kreisläufe durch Nutzung der vorhandenen Phosphor-Quellen: Kommunales Abwasser und tierische Nebenprodukte“ (ÖWAV 2018) entnommen werden. Im Folgenden wird grob auf die möglichen Optionen in der Reihung aus [Abb. 1](#) eingegangen.

3.2 Phosphorrückgewinnung im Rahmen der Abwasserbehandlung

Die direkte Rückgewinnung von Phosphor aus dem Abwasser bzw. aus dem Ablauf der Kläranlage ist von der Zusammensetzung des Zulaufs zur Kläranlage abhängig. Dieser ist durch den Kläranlagenbetrieb nur beschränkt beeinflussbar. Daher sollten die Verfahren zur P-Rückgewinnung auf der Kläranlage so ausgelegt sein, dass auch bei variierender Zusammensetzung ausreichende Rückgewinnungsraten und Produktqualitäten erreicht werden können. Konkret können Parameter wie der pH-Wert, die Konzentration verschiedener Salze, Schwermetalle und organischer Substanzen sowie der Trockensubstanzgehalt Auswirkungen auf die Verfahren zur Phosphorrückgewinnung haben.

3.2.1 Phosphorrückgewinnung aus dem P-reichen Fällschlamm (1)

Die Rückgewinnung aus dem Ablauf von Kläranlagen wurde von einigen Anlagen untersucht (z. B. RAVITA, Finnland), wobei die möglichen P-Rückgewinnungsraten von der Entfernung von Phosphor in den vorangestellten biologischen Stufen abhängt. Jedenfalls muss dabei auf die Fällung von P in der biologischen Stufe verzichtet werden, um ausreichend gelöstes P im Ablauf für die Rückgewinnung zu Verfügung zu haben. Ein Erreichen der gemäß AVV 2024 § 20 (2) geforderten P-Rückgewinnung von 60 %,

bezogen auf den Zulauf, scheint mit der derzeitigen österreichischen Kläranlagen-Konfiguration unwahrscheinlich.

3.2.2 Phosphorrückgewinnung aus dem Schlammwasser der Klärschlamm-Entwässerung (2)

Aus betriebswirtschaftlichen Gründen ist die Rückgewinnung aus dem Schlammwasser, insbesondere für Kläranlagen mit erhöhter biologischer P-Elimination (BioP), bereits an vielen Anlagen der Welt (EU, USA, Kanada etc.) umgesetzt. Voraussetzung ist neben einer BioP-Stufe auch das Vorliegen einer anaeroben Klärschlammfäulung, da sich nur dadurch der P aus der Biomasse wieder zurücklöst und bei der Entwässerung des Klärschlammes im Schlammwasser abgetrennt werden kann. Da diese Rücklösung nicht vollständig ist und sich im Schlammwasser nur ein Teilstrom der gesamten Abwasser-Phosphorfracht vorfindet, eignen sich diese Verfahren nicht, um die geforderte Rückgewinnungsquote von 60 %, bezogen auf den Zulauf, zu erreichen.

Zur Erhöhung der P-Rückgewinnungsquote aus Schlammwasser wurde der Ansatz der thermischen Desintegration untersucht. Dabei wird vor der Behandlung des Klärschlammes in einer anaeroben Klärschlammfäulung ein Teil der Trockensubstanz durch Einsatz von Energie bzw. Druck zerlegt (z. B. erweiterter Parforce-Ansatz, Eliquo LysoTherm). Dadurch löst sich ein größerer Anteil an P zurück, der entweder vor oder nach der anschließenden Fäulung gefällt und abgetrennt werden kann. Verschiedene Verfahrensanbieter sprechen dabei derzeit von einer P-Rückgewinnung im Bereich von 40 – 50 % der Abwasserfracht. Ob gemäß AVV 2024 § 20 (2) eine Rückgewinnungsquote von 60 % der Abwasserfracht in einzelnen Kläranlagen erzielbar ist, kann nicht abschließend beurteilt werden.

Erfahrungsgemäß geht mit der thermischen Desintegration eine bessere Entwässerbarkeit des behandelten Klärschlammes einher, was mit einer Einsparung an Entsorgungskosten aufgrund höherer Trockensubstanzgehalte nach der Entwässerung verbunden sein kann.

Andererseits entsteht bei der thermischen Desintegration in der Regel zusätzlicher refraktärer CSB, der die im Ablauf enthaltene CSB-Fracht erhöht.

3.2.3 Phosphorrückgewinnung aus dem Faulschlamm (3)

Zur Rückgewinnung von P aus Kläranlagen mit überwiegend chemischer Phosphorfällung wurde der Einsatz von Säuren und Fällungschemikalien erprobt (z. B. MSE Mobile). Aufgrund der komplexen Matrix ist der erforderliche Chemikalieneinsatz jedoch hoch. Um den Einsatz der erforderlichen Säuren zu reduzieren, gibt es von der Firma Budenheim (ExtraPhos®-Verfahren) seit 2017 Untersuchungen mit dem Einsatz von CO₂ zur Rücklösung von Phosphor.

Den Verfahrensansätzen im Faulschlamm ist gleich, dass die P-Rückgewinnungsquote mit rund 50 % der Abwasserfracht beschränkt ist. Ob gemäß AVV 2024 § 20 (2) eine Rückgewinnungsquote von 60 % der Abwasserfracht in Einzelfällen erzielbar ist, kann auch hier nicht abschließend beurteilt werden. Die zurückbleibende Klärschlamm-Matrix ist außerdem aufgrund der Ansäuerung (niedriger pH-Wert) gesondert aufzubereiten bzw. zu behandeln.

3.3 Phosphorrückgewinnung aus entwässertem Klärschlamm (4)

Neben den Technologien zur Phosphorrückgewinnung direkt aus dem Abwasser bzw. Klärschlamm auf der Kläranlage, verbleibt die Option der thermochemischen Behandlung des Klärschlammes durch Verschmelzung, Karbonatisierung, Pyrolyse oder Vergasung im Umfeld der Kläranlage. Aufgrund des weitreichenden Aufschlusses des Klärschlammes scheint das Erreichen der geforderten 60 % P-Rückgewinnung bezogen auf die Phosphorfracht im Abwasserzulauf zur Kläranlage möglich.

Moderne Pyrolyseanlagen können dezentral direkt am Standort der Kläranlage installiert werden und eignen sich insbesondere für schwermetallarme Klärschlämme.

Bei der Planung einer Pyrolyseanlage für kommunale Klärschlämme sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Pyrolyse von Abfällen fällt in den Geltungsbereich der Abfallverbrennungsverordnung 2024. Insbesondere die Vorgaben zu den Betriebsbedingungen, den kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messungen sowie die einzuhaltenden Grenzwerte für die Emissionen in die Luft sind zu beachten. Gemäß § 2 Abs. 3 AVV 2024 besteht jedoch die Möglichkeit der Ausnahme von den Vorgaben der AVV 2024, wenn die Gase, die bei der Pyrolyse der Abfälle entstehen, vor ihrer Verbrennung so weit gereinigt werden, dass sie nicht mehr als Abfall gelten und keine höheren Emissionen verursachen können als bei der Verbrennung von Erdgas anfallen. Die gereinigten Gase müssen dann die Grenzwerte gemäß Anhang 7 AVV 2024 einhalten.
- Der feste Rückstand aus der Pyrolyse von Klärschlamm (Pyrolysekohle) ist gemäß den Vorgaben der Abfallverzeichnisverordnung 2020 der Schlüsselnummer 31316 g „Schlacken und Aschen aus Abfallpyrolyseanlagen“ zuzuordnen. Bei einem Nachweis der Nichtgefährlichkeit kann der Rückstand ausgestuft und der Schlüsselnummer 31316 88 „Schlacken und Aschen aus Abfallpyrolyseanlagen; ausgestuft“ zugeordnet werden.
- Gemäß der EU-Verordnung 2021/2088 ist die Herstellung eines EU-Düngeprodukts durch die Pyrolyse von Klärschlamm nicht zulässig, wobei derzeit auf europäischer Ebene Diskussionen zur Aufnahme der Pyrolysekohle als zulässiges Eingangsmaterial laufen. In Finnland, Schweden, Dänemark und der Tschechischen Republik sind Klärschlammpyrolysate für die Anwendung als landwirtschaftlicher Dünger bereits erlaubt. Inwiefern ein Einsatz in Österreich zukünftig zulässig sein könnte, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden.
- Gemäß § 20 Abs. 2 AVV 2024 müssen zumindest 60 % des Phosphors bezogen auf den Kläranlagenzulauf durch thermische, chemische oder physikalisch-chemische Verfahren zurückgewonnen werden. Eine Aufbringung auf den Boden oder Kompostierung gilt nicht als Rückgewinnung von Phosphor.
- Die Zerstörung der organischen Schadstoffe (POP) und von Mikroplastik müssen sichergestellt sein.

3.4 Phosphorrückgewinnung aus der Verbrennungsmasche (5)

Zur Rückgewinnung von P aus Klärschlammmasche nach der thermischen Behandlung von Klärschlamm stehen nasschemische und thermochemische Verfahren zur Verfügung.

3.4.1 Nasschemische Verfahren

Die nasschemische Extraktion von Phosphat erfolgt mittels Säure. Die dabei entstehende phosphathaltige Lösung wird anschließend gereinigt und über verschiedene Verfahrensschritte zu Phosphordünger oder Phosphorsäure aufbereitet.

Bei den nasschemischen Verfahren können auch Eisen und Aluminium in Form gelöster Salze (Chloride oder Sulfate) oder in Form von Hydroxiden zurückgewonnen werden. Aus diesen kann wiederum Fällmittel hergestellt werden, wobei Hydroxide zuvor wieder mit Säure gelöst werden müssten.

Nasschemische Extraktionsverfahren sind generell für Aschen mit hoher Variabilität geeignet, da Schad- und Störstoffe zum überwiegenden Teil entfernt werden.

Derzeit wird bereits an mehreren Orten in Europa an der großtechnischen Umsetzung der nasschemischen Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammasche gearbeitet. Eine detaillierte Auflistung des technologischen Entwicklungsstatus befindet sich in Tab. 2. Die genannten Verfahren stellen eine Auswahl der derzeit diskutierten Verfahren dar, soweit dafür bereits Anlagen im industriellen Maßstab realisiert bzw. in Planung sind.

Tab. 2 Auflistung von großtechnischen nasschemischen Phosphorrückgewinnungs-Anlagen im Planungsstatus oder in der Umsetzung in europäischen Ländern

Firma	Technologie	Produkt	Klassifizierung Technologie	Standort	Größe ¹⁾	Status	IBN (geplant)
Remondis	TetraPhos	P-Säure	1. Großtechn. Anlage in IBN	Hamburg, DE	20.000 t/a	in IBN	2023
Easy-Mining	Ash2®Phos	Calcium-Phosphat	1. Großtechn. Anlage in Bau	Schkopau, DE	30.000 t/a	in Bau	2027
				Helsingborg, SE	30.000 t/a	in Planung	2028
SusPhos	SusPhos	P-haltige Lösung für DM-Industrie	1. Großtechn. Anlage in Planung	Moerdijk, NL	40.000 t/a	in Planung	2027
Tecnicas Reunidas	Phos4Life	P-Säure	1. Großtechn. Anlage im Gespräch	Emmenspitz, CH	40.000 t/a	Aufbau Trägerschaft ausständig	2032

¹⁾ behandelte Klärschlammaschemenge pro Jahr

3.4.2 Thermochemische Verfahren

Rückstände aus der thermischen Behandlung des Klärschlammes können in einem Elektrolichtbogenofen bei etwa 1.700 °C behandelt werden. Dabei werden die in den Rückständen enthaltenen Phosphate durch die Kohlenstoff-Elektrode bzw. zugesetzten Kohlenstoff (Koks) zu gasförmigem weißem Phosphor reduziert. Die in diesem Prozess anfallenden Schlacken weisen hydraulische Bindemittleigenschaften und damit Potenzial für die Herstellung von Zement auf. Ein Beispiel ist der FlashPhos-Prozess³⁾.

Ein weiteres Verfahren ist die Behandlung in einem elektrisch/induktiv beheizten Schütttschichtreaktor bei Temperaturen von über 1.400 °C. Erforderliche Einsatzstoffe sind eine Mischung aus Klärschlammasche und einem Reduktionsmittel (idealerweise Klärschlamm- und Pyrolysekohle).

In diesem Verfahren wird Phosphor thermochemisch in die Gasphase überführt und entweder in Form von weißem Phosphor oder in Form von Phosphorsäure abgeschieden. Zusätzlich entstehen eine mineralische und eine eisenreiche Fraktion. Die Mineralfraktion kann als alternative Bindemittelkomponente für die Zementindustrie eingesetzt und die eisenreiche Fraktion nach einem nasschemischen Behandlungsschritt zu Eisen(III)-chlorid weiterverarbeitet werden. Ein Beispiel dazu ist der RecoPhos-Prozess⁴⁾; eine erste Referenzanlage soll im Rahmen des Forschungsprojekts PHOBOS der Montanuniversität Leoben 2028 in der Steiermark in Betrieb genommen werden.

Ein weiteres thermochemisches Verfahren basiert auf der Kombination einer Hydrolyse im alkalischen Bereich bei 130 °C, gefolgt von einer Vergasung des Hydrolysats bei ca. 600 °C. Weiters entsteht bei der Hydrolyse Ammoniak, der in einem nachfolgenden mit Schwefelsäure betriebenen Wäscher als Ammoniumsulfat abgeschieden wird. Gemäß den Erläuterungen zur AVV 2024 fällt unter den Begriff der Verbrennung auch die Vergasung von Klärschlämmen, sofern nach der Vergasung durch die Zuführung von gasförmigem Sauerstoff eine Verbrennung stattfindet und in den Rückständen ein TOC-Gehalt in der Höhe von maximal 3 % eingehalten werden kann. Die festen Rückstände aus der Vergasung gelten in diesem

³⁾ Offizielle Website zum EU-Projekt FlashPhos: <https://flashphos-project.eu/project-results-publications/deliverables>

⁴⁾ Offizielle Website zu RecoPhos: <https://www.recophos.org>

Fall sinngemäß als Verbrennungsasche. Der darin enthaltene Phosphor wird elektrochemisch als Phosphorsäure zurückgewonnen. Die Errichtung einer ersten Referenzanlage ist am Standort der Kläranlage des Abwasserverbands Unteres Liesingtal im Jahr 2026 als Betreibermodell durch die Firma DENKGRÜN geplant.

Derzeit wird bereits an mehreren Orten in Europa an der großtechnischen Umsetzung der thermochemischen Verfahren zur Phosphorrückgewinnung gearbeitet. Eine detaillierte Auflistung des technologischen Entwicklungsstatus befindet sich in Tab. 3. Die genannten Verfahren stellen eine Auswahl der derzeit diskutierten Verfahren dar, soweit dafür bereits Anlagen im industriellen Maßstab realisiert sind.

Tab. 3 Auflistung von großtechnischen thermochemischen Phosphorrückgewinnungs-Anlagen in der Umsetzung in europäischen Ländern

Firma	Technologie	Produkt	Klassifizierung Technologie	Standort	Größe ¹⁾	Status	IBN
Seraplant/Glatt	Phos4Green	P-Dünger	1. Großtechn. Anlage in Betrieb	Haldesleben, DE	35.000 t/a	in Betrieb	2021/2023
MVV AG	EuPhoRe®	P-Dünger	1. Großtechn. Anlage in Betrieb	Mannheim, DE	15.000 t/a	in Betrieb	2026
Outotec	AshDec	Rhenania-Phosphat	1. Großtechn. Anlage in Betrieb	Altendorf, DE	15.000 t/a	in Betrieb	2026

3.5 Einsatz der gesamten Verbrennungsasche zur Herstellung eines Düngeprodukts (5)

Der direkte Einsatz von Klärschlammasche zur Herstellung eines Düngeprodukts stellt ebenfalls eine zulässige Behandlungsoption für Asche aus der Verbrennung von Klärschlamm dar. Hierbei wird die Asche aus der Verbrennung von Klärschlamm direkt an einen Hersteller von Düngemitteln übergeben (z. B. ICL Fertilizer, LAT Nitrogen). Der Hersteller bindet die Asche direkt in seinen Prozess als Substitut für Rohphosphat ein. Alternativ kann die gesamte Klärschlammasche auch selbst zu einem Düngemittel aufbereitet werden.

Die rechtliche Grundlage dafür sind das Düngemittelgesetz 2021 sowie die am 05.06.2019 in Kraft getretene und in den EU-Mitgliedstaaten direkt anzuwendende EU-Düngemittelverordnung⁵⁾. Diese EU-Verordnung regelt u. a. die Anforderungen für Aschen, die als Komponenten in Düngemitteln eingesetzt werden dürfen. Die Anforderungen an Komponentenmaterialkategorien (Component Material Categories, CMC) werden in der EU-Düngemittelverordnung für verschiedene Komponentenmaterialien separat geregelt. Die Kategorie „CMC 13“ spezifiziert hierbei die Anforderungen von „durch thermische Oxidation gewonnene Produkte (Aschen)“, unter die auch die Aschen aus der Klärschlammverbrennung fallen.

Dabei sind folgende Aspekte zu beachten: Der Anteil an Klärschlammasche im Input der Düngemittelproduktion ist begrenzt und abhängig von der Qualität der Klärschlammasche (z. B. Schwermetalle und organische Schadstoffe wie etwa PFAS und PCDD/F). Der Anteil an Klärschlammasche, der in die Düngemittelproduktion eingebracht werden kann, ist dabei umso höher, je höher der Phosphorgehalt und je niedriger der Gehalt an Schad- und Störstoffen in der Klärschlammasche ist. Insbesondere kann der Anteil an Eisen in der Klärschlammasche den Einsatz größerer Mengen verhindern, da durch das Eisen die Phosphorverfügbarkeit reduziert wird und es zu einem „Verkleben“ im Produktionsprozess kommen kann.

⁵⁾ Verordnung (EU) 2019/1009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Juni 2019 mit Vorschriften für die Bereitstellung von EU-Düngeprodukten auf dem Markt und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 1069/2009 und (EG) Nr. 1107/2009 sowie zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 2003/2003; <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R1009>

Die Spezifikation und die Übernahmemenge müssen zwischen dem Düngemittelhersteller und dem Verbrennungsanlagenbetreiber vereinbart werden.

Tab. 4 Auflistung umgesetzter großtechnischer Anlagen zur Düngemittelproduktion mit Klärschlammascheeinsatz in europäischen Ländern

Firma	Technologie	Produkt	Klassifizierung Technologie	Standort	Größe ¹⁾	Status	IBN
ICL Fertilizer	–	P-Dünger	1. Großtechn. Anlage in Betrieb	Amsterdam, NL	mehrere 1.000 t/a	in Betrieb	2024
LAT Nitrogen	–	NPK-Dünger	1. Großtechn. Anlage in Betrieb	Linz, AT	6.000 t/a	in Betrieb	2025

¹⁾ behandelte Klärschlammaschemenge pro Jahr

4 QUALITÄTSANFORDERUNGEN AN NEBENPRODUKTE UND RESTSTOFFE

4.1 Anforderung an die Qualität der Fällungsmittel aus dem Rückgewinnungsprozess

Bei der Gewinnung von Phosphor aus Klärschlamm oder dessen Asche mittels Säureaufschlussverfahren werden Aluminium und Eisen ebenso gelöst und fallen je nach verwendeter Säure als Chloride oder Sulfate an. Teilweise werden sie auch als Hydroxide gefällt und später zu Lösungen weiterverarbeitet. Diese Metallsalzlösungen können im Sinne der Kreislaufwirtschaft wieder als Phosphatfällungsmittel eingesetzt werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass auch Schwermetalle aus dem Schlamm bzw. der Asche mitextrahiert werden, die sich unter Umständen in der Fällungsmittelfraktion anreichern könnten. Um eine Aufkonzentrierung der Schwermetalle in den Klärschlämmen zu vermeiden, sollten entsprechende Qualitätsrichtwerte eingehalten werden. Diese sind in den Empfehlungen des Arbeitsblatts DWA-A 202 „Elimination von Phosphor aus Abwasser“ (Mai 2026) nachzuschlagen (Tab. 5).

Tab. 5 Empfohlene Richtwerte für die Qualität von Fällungsmitteln

Parameter	DWA-A 202 (Mai 2026)
	mg/mol (Fe, Al)
Cadmium (Cd)	0,2
Chrom (Cr)	15
Kupfer (Cu)	15
Quecksilber (Hg)	0,15
Nickel (Ni)	20
Blei (Pb)	15
Zink (Zn)	50
AOX	5
Arsen (As) ¹⁾	0,4
Thallium (Tl) ¹⁾	0,1

¹⁾ Anmerkung: Arsen und Thallium wurden neu in das DWA-A 202 vom Mai 2026 aufgenommen.

Auch wenn die dort angegebenen Werte im Hinblick auf die landwirtschaftliche Verwertung des Klärschlammes festgelegt wurden, so wird empfohlen diese beizubehalten, um negative Effekte auf Nachfolgeprozesse (Abwasserbehandlung, Verbrennung und erneute Phosphorrückgewinnung) zu vermeiden. Gegebenenfalls müssen die Eisen- und Aluminiumsalze vor dem Wiedereinsatz in einer geeigneten Behandlungsanlage konditioniert werden.

Der Bundesabfallwirtschaftsplan beruft sich im Ergänzungsband „Änderungen von Interpretationen im Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) 2023“ ebenso auf die Richtwerte des DWA-A 202 als Kriterium für die Abgrenzung von Abfall zu Produkt.

Die Eisen- und Aluminiumlösungen könnten auch in der Trinkwasseraufbereitung als Koagulantien eingesetzt werden, sofern die Qualitätskriterien erreicht werden. Entsprechend der Trinkwasserrichtlinie (Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch) ist die Einhaltung der europäischen Normen „Produkte zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ unbedingt erforderlich. Manche Mitgliedstaaten wie Österreich oder Deutschland schreiben hier sogar die Einhaltung der höchsten angeführten Qualitätsstufe (Typ 1) vor. Folgende Normen gelten für die potenziell rückgewonnenen Produkte: EN 888, 889, 890, 891 and 14664, EN 882, EN 887, EN 878, EN 17034.

4.2 Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur weiteren Behandlung

4.2.1 Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Verwertung in der Zementindustrie

In der österreichischen Zementindustrie stellt die Verwertung von Klärschlamm eine lange Tradition dar. Aufzeichnungen über den Einsatz von Klärschlamm reichen bis Anfang der 2000er-Jahre zurück. Klärschlamm wird dabei zur Herstellung der Klinkerkomponente von Zement in zweierlei Hinsicht verwertet: Die im Klärschlamm gespeicherte Energie trägt zur Aufbringung der für den Brennprozess erforderlichen Wärme bei, zudem tragen die im Klärschlamm enthaltenen Rohstoffe zur Bildung der Zementklinkerminerale bei. Bei der Technologie zur simultanen stofflichen und thermischen Verwertung spricht man von einem sog. „co-processing“.

In Zukunft wird phosphorentfrachtete Klärschlammasche nach erfolgter Verbrennung einen neuen entscheidenden Vorteil für die Zementherstellung bieten. Hier kann aufgrund der bereits erfolgten Verbrennung davon ausgegangen werden, dass die für die Klinkerherstellung benötigten Elemente wie beispielsweise Kalzium bereits in oxidiert Form als Kalziumoxid bzw. Kalziumhydroxid vorliegen und beim Brennvorgang somit im Gegensatz zu natürlichem Kalkstein kein weiteres CO₂ mehr freisetzen. Dies verbessert die CO₂-Bilanz für die Zementherstellung.

Im Gegensatz zu Klärschlamm, welcher im Zementherstellungsprozess bislang als Brennstoff eingesetzt wird, kann (phosphorentfrachtete) Klärschlammasche zukünftig als Sekundärrohstoff für die Klinker- und Zementherstellung eingesetzt werden. In diesen Fällen werden durch den Einsatz des Sekundärrohstoffs Klärschlammasche natürliche Ressourcen geschont und Beiträge zur Kreislaufwirtschaft geleistet, indem Stoffkreisläufe geschlossen werden: Aus Klärschlammasche entsteht als neues Produkt Zementklinker bzw. Zement.

Für phosphorentfrachtete Klärschlammasche sind die „Technischen Grundlagen für den Einsatz von Abfällen als Ersatzrohstoffe in Anlagen zur Zementherzeugung“⁶⁾ zu beachten.

Zusammenfassend stellt der Einsatz von (phosphorentfrachteter) Klärschlammasche im Zementherstellungsprozess eine geeignete Maßnahme dar. Durch den Einsatz von (phosphorentfrachteter) Klärschlammasche können natürliche Ressourcen wie Kalkstein oder Mergel geschont, Stoffkreisläufe geschlossen, wichtige Beiträge zur Kreislaufwirtschaft geliefert und Deponievolumen gespart werden.

4.2.2 Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Verwertung als Zementersatz

Eine Möglichkeit zur Verwertung von phosphorentfrachteter Klärschlammasche, die aus aktueller Sicht denkbar erscheint, ist die Verwertung in der Betonherstellung.

Diese Verwertungsoption wurde in einer wissenschaftlichen Studie untersucht (Ottosen et al. 2022). Diese Untersuchung zeigt, dass phosphorentfrachtete Klärschlammasche nach einem Mahlvorgang geeignet ist, einen Teil des Zements im Beton zu ersetzen, was zu einer erheblichen Einsparung an Ressourcen und Treibhausgasemissionen führt. Da in der Studie allerdings nur eine Asche verwendet wurde, können aktuell noch kaum Aussagen über die technischen Anforderungen, die die phosphorentfrachtete Klärschlammasche erfüllen muss, gemacht werden. Falls Salzsäure als Extraktionsmittel verwendet wird, könnte der Chloridgehalt potenziell ein Problem für die Verwertung im Beton darstellen. In der für Beton

⁶⁾ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2017): Technische Grundlagen für den Einsatz von Abfällen als Ersatzrohstoffe in Anlagen zur Zementherzeugung. https://www.bmluk.gv.at/dam/jcr:d5d59c0b-31c5-4e04-81a2-a923ad28be93/Abfaelle_als_Ersatzrohstoffe_Zementherzeugungsanlagen.pdf

relevanten ÖNORM B 4710-1 (2018) ist für Beton ohne Stahlbewehrung bzw. andere eingebettete Metallteile ein Grenzwert von maximal 1,0 % Chlorid (als Massenanteil, bezogen auf den Zement) festgelegt. Für bewehrte Betone sinkt der Grenzwert für Chlorid sogar auf bis zu 0,10 %. Laut den von Ottosen et al. (2022) durchgeführten Messungen wird der Grenzwert von 0,10 % eingehalten. Inwiefern dies jedoch für alle Klärschlammaschen und alle Extraktionsverfahren gilt, kann derzeit noch nicht mit Sicherheit beurteilt werden.

4.2.3 Anforderungen an die Qualität phosphorentfrachteter Asche zur Deponierung

Phosphorentfrachtete Klärschlammasche muss den Kriterien einer Reststoffdeponie laut DVO 2008 entsprechen, damit eine obertägige Deponierung in Österreich zulässig ist.

Phosphorentfrachtete Klärschlammasche aus einem Säureextraktionsverfahren enthält im Gegensatz zur ursprünglichen Klärschlammasche Wasser und Reste an Säure. Dies hat jedoch aus technischer Sicht keine negativen Auswirkungen auf die Deponierung. Derzeit wird Klärschlammasche vor der Deponierung mit Wasser und anderen Verbrennungsrückständen vermengt, um Staubemissionen zu vermeiden. Phosphorentfrachtete Klärschlammasche aus einem Extraktionsprozess weist einen höheren Wassergehalt als die ursprüngliche Klärschlammasche auf. Dies führt zu einem geringeren Wasserverbrauch in der oben beschriebenen, der Deponierung vorgeschalteten Behandlung. Je nachdem, wie hoch der Wassergehalt nach dem Extraktionsverfahren ist, wäre es auch denkbar, dass gar keine Wasserzugabe zur Vermeidung von Staubemissionen mehr erforderlich ist.

5 RELEVANTE VERFAHRENSSCHRITTE UND ANFORDERUNGEN IM HINBLICK AUF EINE ANSCHLIESSENDE PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG AUS DEM SCHLAMMPFAD

5.1 Einflussfaktoren der Klärschlammzusammensetzung auf die Phosphorrückgewinnungsverfahren

Im Folgenden werden Einflussfaktoren der Klärschlammzusammensetzung auf die P-Rückgewinnung beschrieben, die im Rahmen des Kläranlagenbetriebs jedoch kaum bis gar nicht beeinflusst werden können.

Ein hoher Phosphorgehalt im Abwasser oder im Klärschlamm ist eine grundlegende Voraussetzung für eine wirtschaftlich sinnvolle Rückgewinnung. Je konzentrierter der Phosphor vorliegt, desto effizienter und kostengünstiger können Verfahren wie Struvitfällung, Ascheaufbereitung oder andere chemisch-physikalische Methoden umgesetzt werden. Bei geringen Gehalten steigen Aufwand und Kosten pro rückgewonnener Phosphoreinheit deutlich.

Der Eintrag von anorganischen Materialien ist aufgrund des Verdünnungseffekts von Phosphor auf ein Minimum zu begrenzen.

Schwermetalle im Klärschlamm oder in der Klärschlammasche können in Abhängigkeit vom Rückgewinnungsverfahren ein wesentliches Problem darstellen. Insbesondere bei einer thermo-chemischen Rückgewinnung (z. B. Monoverbrennung mit Additiv-Zugabe) ist die effiziente Abtrennung von Schwermetallen entscheidend, damit die Rückstände verwertbar bleiben. Bei hohen Schwermetallkonzentrationen im Klärschlamm kann die mögliche Abreicherung der Schwermetalle an ihre Grenzen kommen und die entsprechenden Grenzwerte der Düngemittelverordnungen möglicherweise nicht eingehalten werden. Nasschemische Rückgewinnungsverfahren sind hier deutlich flexibler, da ein Teil der Schwermetalle in Rückständen zurückgehalten wird, bzw. entsprechende Abtrennungsschritte (z. B. Ionentauscher) angeordnet werden können. Verfahren, bei denen im Rahmen der Abwasserreinigung Phosphorprodukte ausgefällt werden, sind generell wenig anfällig auf erhöhte Schwermetallkonzentrationen, da diese überwiegend nicht in das Endprodukt übergehen.

Rückstände organischer Spurenstoffe wie Arzneimittel, Pestizide oder Industriechemikalien sind problematisch für die landwirtschaftliche Nutzung phosphorhaltiger Recyclingprodukte. Thermische Verfahren bieten den Vorteil, dass nach heutigem Wissenstand ein Großteil der organischen Spurenstoffe zerstört wird und diese nicht in den entstehenden Klärschlammaschen nachweisbar sind. Auch die Endprodukte von Verfahren, bei denen im Rahmen der Abwasserreinigung Phosphorprodukte ausgefällt werden, weisen generell keine erhöhten Konzentrationen an organischen Spurenstoffen auf, die eine Verwertung in der Landwirtschaft verhindern.

5.2 Phosphortransfer in den Klärschlamm

Phosphor findet sich im Abwasser in Form von Phosphorsäure und ihren Salzen, als Beispiel H_3PO_4 , H_2PO_4^- , PO_4^{3-} und HPO_4^{2-} und als organisch gebundener Phosphor, aus Desoxyribonukleinsäure (DNS) und Ribonukleinsäure (RNA) vor. In der Natur erfolgt der Abbau des Phosphors durch Bakterien, die diesen in Biomasse einbauen. Da es sich in Kläranlagen zumeist um wesentlich höhere Konzentrationen handelt, müssen zum Abbau entsprechende Maßnahmen getroffen werden. In der Praxis haben sich hier zwei verfahrenstechnische Abläufe durchgesetzt, zum einen die chemische Phosphorelimination und zum anderen die biologische Phosphorelimination. (Gujer 2007). Die Grundlagen dazu sind im [Anhang I](#) beschrieben.

Der Einsatz von Eisen- oder Aluminiumverbindungen zur Phosphorelimination bindet Phosphor in schwer löslichen Verbindungen. Dies erschwert grundsätzlich eine spätere Rückgewinnung, da diese

Bindungsformen stabil sind und nur mit hohem chemischem Aufwand wieder aufgeschlossen werden können. Soweit möglich, sollte daher eine Optimierung des Fällmittel-Einsatzes auf der Kläranlage stattfinden, um die Rückgewinnung von Phosphor zu erleichtern. Die Möglichkeiten zur Reduktion der Fällmittel sind jedoch einerseits verfahrenstechnisch und andererseits durch die gesetzlichen Ablaufgrenzwerte beschränkt.

Weiters sind für ein effizientes Phosphorrecycling die in [Kapitel 4.1](#) gegebenen Empfehlungen zu den Schwermetallgehalten auch hinsichtlich des für die Phosphorfällung zum Einsatz gebrachten Fällmittels relevant, um einen Schwermetalleintrag aus externen Quellen möglichst zu minimieren.

5.3 Entwässerung von Klärschlamm

Durch gängige mechanische Entwässerungsverfahren kann heutzutage Schlamm mit einer Trockensubstanz (TS) von 18 – 40 % und Wasser entsprechend 82 – 60 % erhalten werden. Der so gewonnene Schlamm ist anfänglich pastös bis stichfest⁷⁾. Im [Anhang II](#) sind die verschiedenen Aggregate beschrieben, die zum Einsatz kommen.

Hohe Trockensubstanzgehalte verringern die zu entsorgende Schlammmenge und damit die Entsorgungskosten. Der Entwässerungsprozess ist daher dahingehend zu optimieren.

Andererseits können die für die Schlammentwässerung verwendeten Konditionierungsmittel Einfluss auf die Möglichkeiten des P-Recyclings nehmen. So ist der Eintrag von anorganischen Materialien aufgrund des Verdünnungseffekts von Phosphor auf ein Minimum zu begrenzen. Mit Kalk/Eisen konditionierte Klärschlämme sollten daher künftig auf alternative Schlammkonditionierungsmittel wie polymere Flockungshilfsmittel umgestellt werden. Auch dabei ist ein möglicher Verdünnungseffekt durch Fremdstoffe zu beachten.

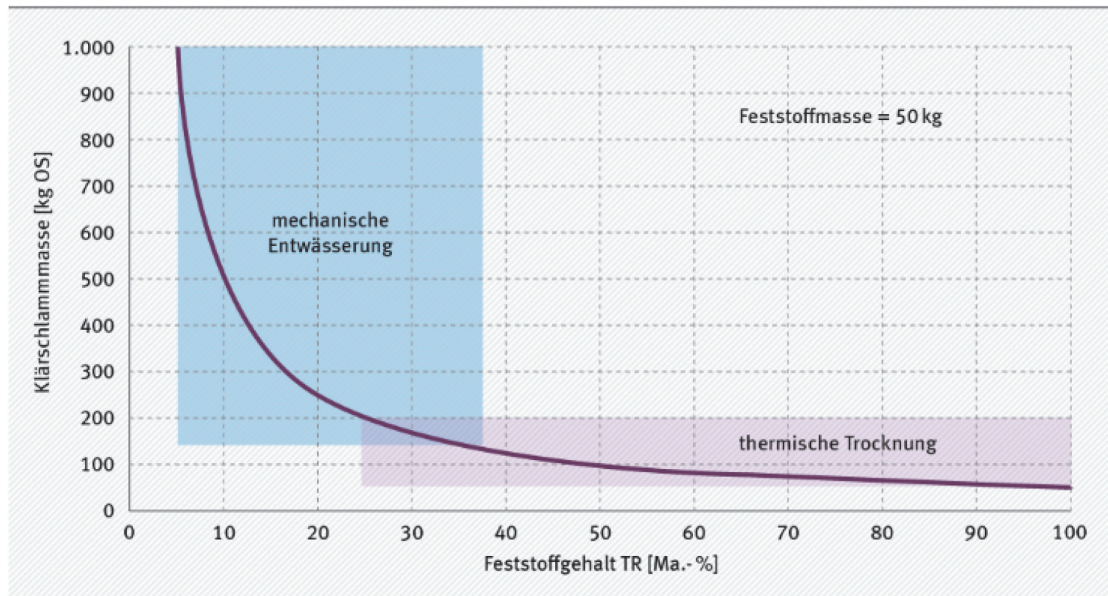
5.4 Trocknung von Klärschlamm

Im Klärschlamm liegt Wasser in Form von **Innenwasser** (z. B. Zellflüssigkeit), **Zwischenraumwasser** (z. B. durch Adhäsion oder Adsorption, auch innerhalb von Kapillaren anhaftend) sowie von **freiem Wasser** zwischen den Klärschlammpartikeln vor.

Zum Zeitpunkt seines Anfallens besteht kommunaler Klärschlamm zu etwa 3 – 5 % aus Trockensubstanz (TS) und zu 95 – 97 % aus Wasser. Unabhängig von der weiteren Behandlung wird der Klärschlamm meist noch am Ort seines Entstehens mechanisch auf rund 22 – 35 % TS entwässert. Die Entfernung des verbleibenden Wassers erfordert deutlich mehr Energieeinsatz (z. B. Wärme- bzw. Kältetrocknung).

⁷⁾ Gujer (2007).

Massenreduktion durch Entwässerung und Trocknung



Quelle: [LEHRMANN 2013]

Abb. 2 Massenreduktion von kommunalem Klärschlamm durch mechanische Entwässerung und Trocknung (Quelle: UBA-D 2018 nach Lehmann 2013)

Die Klärschlamm-trocknung dient vorrangig der Erreichung eines Heizwerts von mindestens 4,5 – 5,0 MJ/kg, der die selbstgängige Verbrennung des Klärschlamm ermöglicht. Eine weitere Erhöhung des Heizwerts durch Trocknung über diesen Wert hinaus bringt zudem Vorteile im Verbrennungsprozess, beispielsweise einen höheren Kesselwirkungsgrad und ein geringeres spezifisches Rauchgasvolumen.

In Hinblick auf das Stoffstrommanagement wird bei der Klärschlamm-trocknung unterschieden zwischen:

a) Volltrocknung:

Der gesamte mechanisch entwässerte Klärschlammstrom wird getrocknet.

b) Teilstrom-trocknung:

Nur ein Teilstrom des mechanisch entwässerten Klärschlamm wird getrocknet und anschließend mit dem verbliebenen mechanisch entwässerten Teilstrom vereinigt.

Je nach Temperatur, die das zu trocknende Gut im Prozess erreicht, unterscheidet man zwischen Niedrigtemperatur-trocknung (unterhalb von 50 °C), Mitteltemperatur-trocknung (50 – 100 °C) und Hochtemperatur-trocknung (oberhalb von 100 °C). Als Wärmeträger können verschiedene gasförmige bzw. flüssige Medien zum Einsatz kommen, typischerweise sind dies Dampf, heiße Luft, Rauchgas aus der Verbrennung, Heißwasser und Thermoöl.

Die typischen Wärmeträgermedien und ihre Temperaturbereiche sind in [Tab. 6](#) dargestellt:

Tab. 6 Übliche Wärmeträger bei der Klärschlamm Trocknung (Quelle: DWA 2021, ergänzt)

Wärmeträger	Trocknertyp	Temperatur des Wärmeträgers
Rauchgas	Trommeltrockner	$\leq 600\text{ °C}$
	Schleuderwellentrockner	320 °C
	Bandrockner	$\leq 150\text{ °C}$
Dampf	Dünnschichttrockner	$150 - 250\text{ °C}$
	Scheibentrockner	
	Schaufeltrockner	
	Wirbelschichttrockner	
	Bandrockner	
Thermoöl	Dünnschichttrockner	$150 - 280\text{ °C}$
	Scheibentrockner	
	Schaufeltrockner	
	Wirbelschichttrockner	
	Bandrockner	
Warmwasser	Bandrockner	$> 80\text{ °C}$
	Solar-/Hallentrockner	$> 50\text{ °C}$
Strahlung	Solartrockner	-
Luft (getrocknet)	Kältetrockner (Kondensationstrockner)	ca. 40 °C

Abgesehen vom Wasser gehen bei der Klärschlamm Trocknung auch kondensierbare und nicht kondensierbare Gase, u. a. Ammoniak, Amine, Schwefelwasserstoff, Mercaptane und niederkettige organische Säuren, in die Gasphase über. Art und Menge dieser Gase hängen von den Prozessbedingungen im Trockner ab, gemein ist ihnen jedoch die Geruchsbelastung, die sie in der Abluft, in den Brüden bzw. in deren Kondensaten hervorrufen können.

Auch werden, je nach Bauweise des Trockners und dessen Betriebsbedingungen, in unterschiedlichem Ausmaß Partikel mitgerissen, die in Abluft bzw. Brüden den Staubgehalt sowie in deren Kondensaten den CSB erhöhen können.

Üblicherweise durchlaufen Abluft bzw. Brüden nachfolgend einen Kondensationsschritt zur Abscheidung von Wasser in Form eines Kondensats. Erwähnenswert ist, dass bei Behandlung von Brüdenkondensat in der weitergehenden Abwasserreinigung v. a. auf den zu erwartenden Ammoniumgehalt, die Staubbelastung und das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht geachtet werden muss. Insbesondere bei einer separaten Trübwasserbehandlung mit Deammonifikation kann die Einleitung des Kondensats der Trocknungsbrüden negative Auswirkungen haben. Bei der Einleitung von Brüdenkondensat in das Kanalisationssystem sind die einschlägigen Abwasseremissionsverordnungen zu beachten und ggf. Behandlungsschritte zur Einhaltung von Grenzwerten vorzusehen.

Es wird zwischen den folgenden drei Trocknerprozessen unterschieden:

a) Konvektionstrocknung:

Bei der Konvektionstrocknung kommt der zu trocknende Klärschlamm direkt und unmittelbar mit dem Wärmeträger (Luft, Rauchgas, Dampf) in Berührung. Der Wärmeträger wird über das Trockengut geleitet und nimmt das verdunstete bzw. verdampfte Wasser auf, das zusammen mit dem Wärmeträger aus dem Trockner abgezogen wird.

b) Kontakttrocknung:

Bei der Kontakttrocknung werden Wärmeträger und Trockengut baulich voneinander getrennt, der Wärmeübergang vom Wärmeträger auf den Klärschlamm erfolgt ausschließlich indirekt, mittels der zwischen ihnen liegenden Kontaktfläche. Auch das verdunstete bzw. verdampfte Wasser kommt nicht mit dem Wärmeträger in Kontakt, sondern wird als separater Massenstrom aus dem Trockner abgezogen.

c) Strahlungstrocknung:

Die Strahlungstrocknung des Klärschlammes basiert auf einem direkten Wärmeeintrag in das Trockengut in Form von elektromagnetischer Strahlung, typischerweise Sonneneinstrahlung.

Bei Auswahl und Design des Trocknerprozesses gilt es zu beachten, dass Klärschlamm im Bereich von ca. 40 – 65 % Trockensubstanz (TS) in der sogenannten Leimphase vorliegt, die sich durch hohe Viskosität, Klebrigkeit, Klumpigkeit und schlechte bis nicht mehr gegebene Förderbarkeit auszeichnet.

Eine Möglichkeit, dieses Problem zu umgehen, besteht darin, den entwässerten Klärschlamm mit bereits vorgetrocknetem Klärschlamm zu vermengen und dadurch einen TS-Gehalt oberhalb der Leimphase gezielt einzustellen. Eine weitere Option besteht darin, den Klärschlamm während des Trocknungsprozesses keiner mechanischen Belastung auszusetzen und ihn erst mit einem TS-Gehalt oberhalb der Leimphase aus dem Trockner abzuführen, was v. a. bei Bandtrocknern zur Anwendung kommt und durch Aufbringen des Klärschlammes auf das Band in extrudierter Form unterstützt werden kann.

In sicherheitstechnischer Hinsicht gelten die Brand- und Explosionsgefahr als wesentliche Risiken bei der Klärschlamm-trocknung. Bereits nach der mechanischen Entwässerung kann es zur Methanbildung sowie bei längerer Lagerung auch zur Freisetzung von weiteren brennbaren Gasen (bspw. Ammoniak, Kohlenmonoxid) und Kohlendioxid kommen. Der getrocknete Klärschlamm liegt feinkörnig bzw. in Pulverform vor, Staubexplosionen sind möglich. Die Vorgaben der ATEX-Richtlinien sind einzuhalten.

Es ist vorab wichtig, sich mit den örtlichen Brandschutzsachverständigen und Behörden über die anzusetzenden Brandlasten abzustimmen, weil diese die Statik der Trocknungshalle entscheidend beeinflussen!

Weitere Risiken sind die Gefahr eines Glimmbrands durch die Selbstentzündung staubförmiger Ablagerungen von trockenem Klärschlamm auf heißen Oberflächen. Diese müssen in regelmäßigen Abständen entfernt werden.

Eine weitere Gefahrenquelle stellt die Freisetzung der o. a. giftigen bzw. sauerstoffverdrängenden Gase dar, die sowohl hinsichtlich sicherheitstechnischer Vorgaben als auch in Bezug auf Regelungen des Arbeitnehmerschutzes berücksichtigt werden müssen.

Gängige Trockner-Bauweisen, die aktuell bei der Klärschlamm-trocknung Anwendung finden, werden im [Anhang III](#) beschrieben.

5.5 Zwischenlagerung von Klärschlamm

Nach dem Stand der Technik gibt es verschiedene Arten von Klärschlämmen, die je nach Stabilisierungsart und -grad, Entwässerungsgrad, Lagerdauer, Standortbedingungen und Entsorgungsweg gelagert werden müssen.

5.5.1 Nassschlamm (< 10 % TS)

Nassschlamm wird in offenen oder geschlossenen Behältern zwischengelagert. Aufgrund seiner geringen Stabilität ist die Lagerdauer auf wenige Stunden bis mehrere Tage begrenzt. Für den sicheren Betrieb

sind Rührwerke und Umwälzeinrichtungen erforderlich, um Sedimentation zu vermeiden. Zudem sind eine Abdichtung sowie eine Geruchsabdeckung notwendig.

5.5.2 Entwässertes Schlamm (20 – 35 % TS)

Der entwässerte Schlamm kann über Tage bis mehrere Monate gelagert werden. Geeignet sind abgedichtete Lagerflächen oder Betonbunker, mit oder ohne Abdeckung, ebenso wie Hallenlager, Container oder Silos. Wesentliche Anforderungen sind die Erfassung und Behandlung von Sickerwasser (Eluat) und die etwaige Abluftbehandlung zur Geruchsminderung.

Offene Haufenlagerung von entwässertem Klärschlamm:

Bei einer offenen Haufenlagerung dringt Niederschlagswasser in den entwässerten Schlamm ein und führt zu einer nachträglichen Feuchtigkeitzunahme des Schlammes. Dies ist bei der Dauer der Lagerung und nachfolgenden Behandlung zu berücksichtigen. Fließverhalten und Geruchspotenzial sind zu berücksichtigen. Eine gezielte Abluftbehandlung ist hier nicht möglich.

Um ein unkontrolliertes Abfließen des Schlammes zu verhindern, sollten das Lager jedenfalls mit stabilen Leitwänden eingegrenzt werden und die Bodenneigung entsprechend gestaltet werden.

Bei der Lagerung von entwässertem, aerob, oder anaerob stabilisiertem Klärschlamm, gehen lediglich geringe Geruchsemissionen aus. Innerhalb kurzer Zeit bildet sich eine geruchsundurchlässige Schicht aus, die erst bei der Manipulation aufgebrochen wird. Hierbei ergibt sich eine entsprechende Geruchsentwicklung. Die Bebauungsdichte rund um das Schlammager und die Häufigkeit der Manipulation sind bei der Planung zu berücksichtigen. Das Manipulieren von unzureichend aerob stabilisiertem und überlagertem Schlamm ist hingegen geruchsintensiver und kann zur Beeinträchtigung von weiter entfernten Anrainern führen.

Überdachte Haufenlagerung von entwässertem Klärschlamm

Bei der Lagerung unter Dach sind keine oder geringere Wasseraufnahmen zu erwarten. Darüber hinaus gelten dieselben Hinweise und Empfehlungen wie bei der offenen Haufenlagerung. Eine gezielte Abluftbehandlung ist wie bei der offenen Haufenlagerung nicht möglich.

Vollständig eingehauste Haufenlagerung von entwässertem Klärschlamm

Hier ist eine gezielte Ablufterfassung und -reinigung technisch möglich. Die Erfordernisse an die Abluftabsaugung und -reinigung sind im Einzelfall zu prüfen. Auch die Lkw-Beladung kann hier durch technische Maßnahmen ohne Beeinträchtigung Dritter durchgeführt werden. Auf entsprechenden Arbeitnehmerschutz ist zu achten.

5.5.3 Trockenschlamm und -granulat (> 85 % TS)

Trockenschlamm und -granulat zeichnet sich durch eine hohe Lagerstabilität aus und werden in gut belüfteten Hallen, Silos, Bunkern, Containern, Big-Bags oder Pelletlagern aufbewahrt. Die Lagerdauer kann sich über Wochen bis Monate erstrecken. Aufgrund des hohen Trockensubstanzgehalts sind ggf. besondere Sicherheitsvorkehrungen wie Staub- und Explosionsschutz sowie Brandschutzmaßnahmen erforderlich. Auf die entsprechenden Arbeitnehmerschutzmaßnahmen wie z. B. Fahrzeugkabinen-Schutzbelüftung etc. ist Bedacht zu nehmen.

Die Überdachungen sind jedenfalls dauerhaft technisch dicht zu halten. Auf Kondensatbildung in der Hallenkonstruktion (Taupunkt) oder wasserführenden Leitungen (ausreichende Isolierung) ist zu achten, damit es zu keiner Rückbefeuchtung des Trockenschlammes kommt, bei der über biologische Aktivitäten

die Kerntemperatur des Lagerguts kritisch ansteigen kann. Ein Maßnahmen- und Alarmplan sind dafür zu erstellen. Als geeignete Überwachungseinrichtungen können Wärmebildkameras, Temperatursensoren oder Rauchmeldesysteme eingesetzt werden. Eine Vermischung von entwässertem und getrocknetem Klärschlamm ist hinsichtlich der Brandentstehungsgefahr unbedingt zu vermeiden.

Die max. Schütthöhen und Lagerflächen sind gem. TRVB zu begrenzen.

Anders als bei der Trocknung von unzureichend stabilisiertem Schlamm selbst, ist bei der Lagerung und Manipulation von bereits getrocknetem Klärschlamm mit keinen oder nur geringen Geruchsemissionen zu rechnen.

Als Notlager oder flexible Zwischenpuffer kommen insbesondere Container- oder Zeltsysteme zum Einsatz. Sie werden kurzfristig, in der Regel nur für wenige Wochen, genutzt und benötigen eine temporäre Genehmigung. Wesentliche Anforderungen betreffen den Emissions- und Immissionsschutz. Ihr Zweck ist die Überbrückung von Engpässen in der Schlammverwertung sowie die Absicherung bei geplanten oder ungeplanten Stillständen.

5.5.4 Allgemeine Anforderungen an den Umgang mit Klärschlamm

Bei der Lagerung von Klärschlämmen ist nach dem Prinzip „First In – First Out“ vorzugehen, um unkontrollierte biologische Prozesse hintanzuhalten.

Tab. 7 Lagerung von Klärschlamm

Lagerart	Typischer TS-Gehalt	Bauarten/Lagerarten	Typische Lagerdauer	Allgemeine Anforderungen	Verwendungszweck Weiterbehandlung
1. Flüssigschlamm	< 10 %	offene/geschlossene Behälter	Stunden bis mehrere Tage	Rührwerk, Umwälzung, Geruchsabdeckung, Abdichtung	Zwischenlagerung vor Entwässerung oder Faulung
2. Entwässerter Schlamm	20 – 35 %	Offene Lagerfläche/ Betonbunker mit oder ohne Abdeckung, offene oder geschlossene Hallenlager, Container Silos	Tage bis Wochen oder Monate	Abgedichtete Fläche mit Sickerwassererfassung und -behandlung, Abluft-Geruchsbehandlung	Lagerung vor Trocknung, Transport oder Verwertung
3. Trockenschlamm	> 85 % (Brandschutz)	Silos, Bunker, Container, Big-Bags, Pelletlager	Wochen bis Monate	Explosionsschutz (Staub), Brandschutz	Lagerung vor Transport oder Verwertung
4. Notlager Zwischenpuffer	variabel	Flexible Lagerung in Containern, Zelten etc.	Kurzfristig Tage bis wenige Wochen	Temporäre Genehmigung, Emissions-Immissionsschutz	Überbrückung von Engpässen bei der Verwertung oder geplanten/ungeplanten Stillständen

5.6 Transport von Klärschlamm

Praxisbeispiele zeigen, dass Schlämme auf allen Transportwegen manipuliert werden können.

In zahlreichen Kläranlagen sind bereits jetzt Containerladestation vorhanden. Container werden wechselweise über Spiralförderanlagen mit entwässertem Schlamm gefüllt. Das Füllen und Umschalten von einem zum nächsten Container kann voll automatisiert erfolgen.

In regelmäßigen Abständen werden die vollen Container von meist externen Transportunternehmen abtransportiert und leere Container wieder aufgestellt. Vorteil dieser Lagerungsmethode ist, dass die Verweilzeit von entwässertem Schlamm kurzgehalten wird, keine Rückvernässung durch Niederschlag

erfolgt und der Schlamm automatisiert beladen wird. Der Manipulationsaufwand am Kläranlagengelände wird minimiert.

Schlämme mit bis zu 40 % TS neigen in der warmen Jahreszeit zur Geruchsbildung, und im Winter entsteht die Gefahr des Festfrierens im Container. Derzeit noch wenig Beachtung findet die klimaschädliche CH₄-Ausgasung mit der zunehmenden Lagerungs- und Transportzeit bis zur Verwertung.

Schlämme mit über 85 % TS enthalten die Gefahr der Selbstentzündung und Staubeentwicklung. Dafür haben sie den Vorteil, dass weniger Menge und Volumen transportiert werden.

Beim Transport von getrocknetem Schlamm ist darauf zu achten, dass die Transportbehälter leer, trocken, staubdicht und gegen eintretendes Niederschlagswasser geschützt sind.

Abfalltransporte > 10 t müssen aktuell ab einer Transportentfernung von 100 km mit der Bahn oder hinsichtlich der Klimaemissionen vergleichbaren Fahrzeugen durchgeführt werden. Von dieser Verpflichtung gibt es Ausnahmen. Die für Klärschlamm bedeutendste ist durch die aktuelle Abfallartenliste (Stand 2023) für den Bahntransport gegeben, die nach wie vor nur Klärschlämme > 70 % Trockensubstanz enthält (SN 92201 und SN 92212). Für Klärschlämme ≤ 70 % Trockensubstanz besteht zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine Verpflichtung zum Bahntransport. Dagegen für Rechengut (SN 94701) sehr wohl.

Für Bahntransporte gibt es in Österreich derzeit nur einen Anbieter, der den hierfür erforderlichen Einzelwagenverkehr anbietet. Sofern für eine Abfallart die Verpflichtung zum Bahntransport besteht und über die Plattform „aufschiene.gv.at“ auch nur ein Angebot eines Anbieters für den angefragten Transportvorgang verfügbar ist, bestehen für den Auftraggeber keine Ausweichmöglichkeiten auf andere Anbieter. Meist ist der Transport auf der Straße günstiger als jener per Bahn, bei guten Bedingungen für den Bahntransport spricht man von 10 – 50 % Preisunterschied. Entscheidende Kriterien sind die Entfernungen zum nächsten Verladegleis/-bahnhof jeweils beim Sender und Empfänger.

Als Gebinde für den Bahntransport bzw. kombinierten Verkehr sind flüssigkeitsdichte hakenliftmanipulierbare ACTS-Container oder das Rail Cargo Group „Mobiler-System“ möglich. Mobiler-Container müssen mit Spezial-Lkw manipuliert werden, die im Vergleich zu Hakenlift-Lkw für die ACTS-Container weniger verbreitet sind. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn der Transporteur auch die vor- und nachlaufenden Transporte mit anbietet.

Aufgrund der vorhandenen Waggons und Container sind Abfalltransporte per Bahn begrenzt, und trotz Verpflichtung und Anfrage über die Plattform „aufschiene.gv.at“ gibt es wenige Angebote. Damit finden diese Transporte weiterhin auf der Straße statt. Werden in Zukunft österreichweit mehr Bahntransporte für Klärschlamm (bzw. alle betroffenen Abfallfraktionen) gewollt, sind Investitionen in die Infrastruktur zu tätigen, z. B. Waggons und Container oder Umladestationen für den kombinierten Verkehr. Z. T. findet dieser Vorgang schon statt.

Es ist abzuwarten, ob zulässige Alternativen zum Bahntransport (Elektro, E-Fuels bzw. Treibstoffe mit zumindest geringerem Treibhausgasausstoß) durch die Verpflichtung zum Bahntransport rascher Bedeutung erlangen.

5.7 Verbrennung von Klärschlamm

5.7.1 Lagerung

Die Zwischenlagerung von mechanisch entwässertem Klärschlamm wie auch von getrocknetem Klärschlamm vor der Verbrennung erfolgt üblicherweise in Silos. Vor allem bei der Lagerung von (teil-)getrocknetem Klärschlamm in Silos ist auf eine ausreichende Inertisierung aufgrund der Explosions- und Brandgefährdung zu achten.

5.7.2 Feuerungstechnologie

Die Monoverbrennung von Klärschlamm kann in Wirbelschichtöfen oder Drehrohröfen erfolgen, unter bestimmten Voraussetzungen auch in Rostfeuerungen oder im Flugstromverfahren (Staubfeuerung). Am häufigsten kommen stationäre Wirbelschichtfeuerungen zur Anwendung. Hierbei erfolgt die Verbrennung in einem Sandbett, das von unten mit Verbrennungsluft durchströmt (fluidisiert) wird. Im Wirbelbett herrschen starke Durchmischung der Sand- und Brennstoffpartikel, homogene Temperatur- und Reaktionsbedingungen vor, die einen guten Ausbrand des Klärschlamm bewirken. Das Sandbett wirkt auch als Wärmespeicher. Das Wirbelschichtverfahren eignet sich für die Monoverbrennung von ganz oder teilweise getrocknetem Klärschlamm. Der im Klärschlamm enthaltene Phosphor wird mit der Flugasche ausgetragen. Eine Vorabscheidung der phosphorreichen Flugasche aus dem Rauchgas der Verbrennung bei Temperaturen über 400 °C reduziert ihren Schadstoffgehalt und erleichtert die P-Rückgewinnung.

Eine Zudosierung von mineralischen Additiven direkt in das Wirbelbett kann sich ebenfalls positiv auf die P-Nutzung auswirken, indem sie Schadstoffe aus der Asche abreichert und die Bioverfügbarkeit der P-Verbindungen verbessert.

5.7.3 Heizwert und Trocknung von Klärschlamm

Der Heizwert des Klärschlamm hängt in erster Linie von seinem Wassergehalt bzw. Trocknungsgrad ab. Weitere Faktoren, die den Heizwert beeinflussen, sind der Aschegehalt sowie eine vorhergehende Faulung des Klärschlamm, die den Heizwert durch den Abbau von organischer Substanz verringert.

Die Verbrennung von mechanisch entwässertem Klärschlamm erfordert i. d. R. die Zufeuerung von (fossilen) Stützbrennstoffen oder heizwertreicheren Abfällen.

Eine selbstgängige Verbrennung kann erst mit Heizwerten oberhalb von rund 4,5 MJ/kg erreicht werden. Vor der Monoverbrennung wird Klärschlamm üblicherweise einer Volltrocknung oder Teilstromtrocknung (vgl. [Kapitel 5.4](#)) unterzogen.

5.7.4 Förderung, Dosierung und Aufgabe von Klärschlamm

Je nach Wassergehalt bzw. Trocknungsgrad kommen unterschiedliche Aggregate zum Transport, zur Dosierung und Aufgabe des Klärschlamm in den Feuerraum zur Anwendung.

Mechanisch entwässerter Klärschlamm hat einen Feststoffgehalt von etwa 25 – 30 % Trockensubstanz (TS), er ist dickflüssig und kann mittels Dickstoffpumpen gefördert und dosiert werden. Die Aufgabe in den Feuerraum erfolgt häufig über Lanzen.

Im Bereich von ca. 40 – 65 % Trockensubstanz (TS) liegt Klärschlamm in der sogenannten Leimphase vor. Diese zeichnet sich durch hohe Viskosität, Klebrigkeit und Klumpenbildung aus, Förderbarkeit ist schlecht bzw. nicht gegeben.

Getrockneter Klärschlamm liegt in stückiger Form (ggf. als Pellets) oder in Pulverform vor. Zur Förderung und Dosierung kommen die für feste Brennstoffe typischen Aggregate zum Einsatz. Die Einbringung in den Feuerraum erfolgt typischerweise über Wurfbeschicker oder pneumatische Beschicker.

Im Fall der Teilstromtrocknung werden mechanisch entwässerter Klärschlamm und getrockneter Klärschlamm erst unmittelbar vor der Aufgabe in den Verbrennungsofen miteinander vermengt. Die beiden Materialströme durchlaufen dabei eine möglichst kurze Mischstrecke, um Verklumpungen bzw. das Eintreten der Mischung in die Leimphase zu vermeiden.

5.7.5 Gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm und anderen Brennstoffen

Die AVV 2024 trifft keine Regelungen, die die gemeinsame Verbrennung von Klärschlamm mit anderen Regelbrennstoffen oder brennbaren Abfällen einschränken. Somit werden die Eigenschaften der Klärschlammasche, ihre Zugänglichkeit für die nachfolgende P-Rückgewinnung unter Einhaltung der in der AVV 2024 definierten Phosphorrückgewinnungsquote (i. e. 80 % des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors) und die jeweiligen Aschebehandlungskosten zu entscheidenden Kriterien.

Hierbei ist zu beachten, dass durch die gemeinsame Verbrennung mit anderen Abfällen erhöhte Schadstoffgehalte in der Flugasche auftreten können, die die P-Rückgewinnung erschweren bzw. deren Kosten erhöhen.

Eine Verbrennung des Klärschlammes zusammen mit Biomasse oder Holzabfällen kann zu Verdünnungseffekten (geringere P-Gehalte in der Flugasche) führen, die die Behandlungskosten der Asche ebenfalls erhöhen können.

6 ORGANISATION

Die gewählte Rückgewinnungstechnik (vgl. [Kapitel 3](#)) entscheidet über die grundsätzlichen organisatorischen Anforderungen an Kläranlagenbetreiber. Abwasserbezogene Techniken erfordern zum Teil umfangreiche Anpassungen der innerbetrieblichen Prozesse und darüber hinaus die Organisation des Rezyklateinsatzes bzw. des Vertriebs. Techniken wie Karbonatisierung, Pyrolyse und/oder Vergasung bedingen zusätzlich die Errichtung von Anlagen auf bzw. im Umfeld der Kläranlage und sind mit den üblichen abfallrechtlichen Genehmigungsabläufen und Investitionsentscheidungen verbunden.

Für die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlammasche ist zunächst eine Verbrennung des Klärschlammes als Monofraktion oder unter Mitverbrennung anderer phosphorreicher Abfälle (Tiermehle) erforderlich. Für diese Verbrennung gilt die stationäre Wirbelschicht als Stand der Technik (vgl. [Kapitel 5.7](#)).

In der Regel handelt es sich dabei aus wirtschaftlichen Überlegungen um Anlagen mit einer Inputkapazität > 100.000 t pro Jahr, bezogen auf mechanisch entwässerten Klärschlamm. Diese Anlagen stellen damit zentrale Behandlungsknoten dar. Der Input stammt aus einem überregionalen Einzugsgebiet und von mehreren Kläranlagen und bedarf einer entsprechenden Zulieferlogistik.

Eine anschließende Behandlung der Klärschlammaschen zur Rückgewinnung des Phosphors ist dann am Standort der Verbrennungsanlage oder einem weiteren Behandlungsknoten möglich, soweit nicht die Klärschlammasche unmittelbar zur Düngemittelherstellung eingesetzt wird.

6.1 Organisation von Kläranlagen

In Österreich unterliegen kommunale Kläranlagen grundsätzlich dem Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959), dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) sowie den jeweiligen landesrechtlichen Bestimmungen. Eine Kläranlage kann entweder in direkter kommunaler Trägerschaft, über Zweckverbände (§ 38 WRG), Gemeindeverbände oder auch über ausgegliederte Betriebe (z. B. GmbH im Eigentum der Gemeinden) organisiert werden. Entscheidend für die Organisation ist eine klare Zuständigkeit für Betrieb, Finanzierung, Instandhaltung und Entsorgungspflichten, insbesondere im Hinblick auf Klärschlamm.

Mit dem Aufwand zur weitergehenden Klärschlammbehandlung steigt die Bedeutung der interkommunalen Zusammenarbeit, da der technische und finanzielle Aufwand für einzelne Gemeinden/Verbände nicht tragbar ist. Rechtlich möglich ist dies über Wasserverbände nach dem WRG oder Gemeindeverbände nach dem Gemeindeverbandsorganisationsrecht der Bundesländer. Solche Zusammenschlüsse bieten erhebliche Vorteile in Bezug auf Verhandlungsmacht, Logistik, technische Ausfallsicherheit und langfristige Planungssicherheit. Rechtlich ist jedoch auf die Vereinbarkeit mit EU-Vergaberecht (insb. In-House-Vergabe) und Landesgesetzen zu achten.

6.2 Öffentlich-öffentliche Zusammenarbeit

Ein Zusammenschluss kommunaler Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen soll die gemeinsame Verwertung und Behandlung von Klärschlamm nach dem Stand der Technik einschließlich Phosphorrecycling ermöglichen. Eine solche öffentlich-öffentliche Partnerschaft übernimmt dann die damit verbundenen Aufgaben. Je nach vereinbartem Zweck der öffentlich-öffentlichen Zusammenarbeit kann damit auch eine umfassende, solidarische Umsetzung dieser Aufgaben erfolgen.

Als Struktur einer solchen Zusammenarbeit sind ein Verein, eine GmbH oder Aktiengesellschaft oder auch öffentlich-rechtliche Verbände nach dem Wasserrechtsgesetz oder dem Gemeindeverbandsgesetz möglich.

Eine Entscheidung über die Rechtsform einer interkommunalen Kooperation bedarf in jedem Fall einer qualifizierten rechtlichen Begleitung. Zu berücksichtigen ist auch, dass das Erfordernis einer Reihe von

Beschlüssen der jeweiligen zuständigen Organe wie Gemeinderat, Vorstandsvorstand und Mitgliederversammlung geraume Zeit in Anspruch nehmen kann.

6.3 Einbindung kleiner Anlagen – Kooperation statt Eigenverwertung

Für Anlagen < 20.000 EW₆₀ mit geringem Schlammaufkommen ist eine eigenständige thermische Verwertung am Stand der Technik nicht wirtschaftlich tragbar zu realisieren. Die sinnvollste Option ist hier der Beitritt zu bestehenden Verwertungsverbünden oder die vertragliche Zusammenarbeit mit überregionalen Entsorgern und industriellen Mitverbrennungsanlagen.

Rechtlich gesehen ist insbesondere auf die Einhaltung der Nachweisführung gemäß AWG 2002 sowie auf das grundsätzliche Deponierungsverbot von Klärschlämmen zu achten. Die Inanspruchnahme von Dienstleistungen erfordert zudem transparente und EU-konforme Vergabevorgänge.

6.4 Trocknungshubs als Zwischenschritt zur Verwertung

Ein zukunftsweisender Ansatz sind sogenannte „Trocknungshubs“, also regionale Anlagen zur zentralen Trocknung von Klärschlämmen aus mehreren kleineren Anlagen. Die Vorteile liegen in der besseren Auslastung der Trocknungsanlagen, logistischer Effizienz und der Möglichkeit zur zentralen Qualitätskontrolle. Die zusätzliche Belastung der am Standort der zentralen Trocknungsanlage befindlichen Kläranlage aufgrund möglicher Brüdenkondensate ist zu ermitteln und gegebenenfalls sind Erweiterungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Soweit ein solcher Trocknungshub nicht im Rahmen eines Kläranlagenbetriebs im Sinne § 37 (7) AWG 2002 erfolgt, sind die anlagerechtlichen Genehmigungsvoraussetzungen nach Gewerberecht bzw. AWG 2002 zu berücksichtigen. Betreiber können kommunale Zusammenschlüsse oder auch öffentlich-private Partnerschaften sein. Fördermöglichkeiten bestehen über das Umweltförderungsgesetz (UFG).

6.5 Bundesländerübergreifende Verwertungsverbünde

Da Klärschlammverwertung nicht an Landesgrenzen haltmacht, bieten sich auch bundesländerübergreifende Verwertungsverbünde an. Hierzu müssen jedoch die jeweiligen Landesgesetze (z. B. zur Zuständigkeit von Gemeindeverbänden) harmonisiert und transportrechtliche Fragen geklärt werden.

Erfolgreiche Modelle erfordern klare Strukturen, die auf die Erfordernisse öffentlicher Auftraggeber Rücksicht nehmen (Vergabeverfahren, abgestimmte Finanzierungsmodelle und eine vertraglich geregelte Zuständigkeit für Betrieb, Instandhaltung und Haftung).

6.6 Revision, Ausfallssicherheit und Ausfallsverbünde

Die rechtlichen Anforderungen an Betriebssicherheit und Störfallvorsorge sind in § 105 WRG, § 15 AWG und diversen technischen Regelwerken (z. B. ÖWAV-Regelblätter) festgelegt. In der Praxis bedeutet dies, dass für jede Kläranlage auch im Störfall eine geordnete Entsorgung sichergestellt sein muss.

Möglichkeiten:

- Schaffung ausreichender Redundanzen bei kritischen Behandlungseinheiten,
- Abschluss von Notfallverträgen mit externen Entsorgern,
- Bildung von Ausfallsverbünden mit benachbarten Kläranlagen,
- mobile Entwässerungs- oder Trocknungseinheiten.

Rechtliche Voraussetzungen:

- Anpassung bestehender Betriebsbewilligungen,
- Einhaltung der Transport- und Lagerungsvorschriften,
- allfällige Genehmigungspflichten (z. B. Notifizierung bei grenzüberschreitender Verwertung).

Ein vollständiger Ausfallplan ist nicht nur rechtlich geboten, sondern auch im Eigeninteresse der Betreiber essenziell. Betriebszustände wie Stromausfall, Havarien oder außergewöhnliche Wetterereignisse sollten durch Vorsorgemaßnahmen abgesichert sein.

7 WIRTSCHAFTLICHKEIT UND VERWERTUNG VON PRODUKTEN

7.1 Kosten

Die ab 2033 für die Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung zu erwartenden Behandlungskosten können derzeit nur mit großen Unsicherheiten abgeschätzt werden, eine Angabe belastbarer Zahlen ist derzeit nicht möglich. Auf eine Bekanntgabe konkreter Zahlen wird an dieser Stelle daher verzichtet, jedoch wird im [Anhang IV](#) „Kosten der Phosphorrückgewinnung“ eine Zusammenfassung der in der Literatur genannten Kostenschätzungen gegeben.

Folgende Faktoren wirken kostenbeeinflussend:

- Unterschiedliche Anforderungen an die erforderliche Aufbereitung im Einzelfall;
- Skaleneffekte bei der Umsetzung von Anlagen;
- fehlende großtechnische Umsetzungen mit jahrelanger Erfahrung;
- Bezug von Betriebsmitteln und Bereitstellung von Produkten in einem dynamischen Markt;
- erhöhte Nachfrage nach Klärschlammverbrennungs- und Phosphorrückgewinnungslösungen und begrenzte Verfügbarkeit wirken preistreibend auf Planungs- sowie Investitionskosten.

Ein Zusammenschluss einzelner Kläranlagen (z. B. in Klärschlammverwertungsverbünden, siehe [Kapitel 6](#)) kann durch die Nutzung von Skaleneffekten und Synergien dabei unterstützen, die Klärschlammbehandlungskosten und die Kosten für die Phosphorrückgewinnung zu senken.

Für Monoverbrennungsanlagen mit Wirbelschichttechnologie ist bekannt, dass eine starke Senkung der spezifischen Kosten ab einer Anlagengröße von rund 20 – 30.000 t TS pro Jahr erreicht werden kann. Regionale Trocknungszentren können dabei unterstützen, mögliche Abwärmequellen effizient zu nutzen, das Transportvolumen für Klärschlamm zu reduzieren und dadurch die Kosten für die Klärschlammlogistik zu senken.

Sinnvolle wirtschaftliche Größen für nasschemische Rückgewinnungsanlagen beginnen beispielsweise in einem Bereich von 20.000, besser 30.000 t behandelter Klärschlammasche pro Jahr. Anlagen werden dabei möglichst in der Nähe von Industrieparks und/oder bei thermischen Abfallbehandlungsanlagen angesiedelt, um Synergien, besonders in der Transportlogistik, Energiebereitstellung und -nutzung sowie Abwasser- und Abgasbehandlung, effizient auszuschöpfen.

7.2 Verwertung von Produkten

Die Herstellung, Aufbereitung und Vermarktung von Phosphorprodukten erfordert besondere Kompetenzen, Vertriebskanäle und Genehmigungen. Im Allgemeinen ist daher davon auszugehen, dass einzelne Kläranlagen und Verbrennungsanlagen nicht selbst die Verwertung oder Vermarktung der Phosphorprodukte übernehmen werden. Dennoch soll an dieser Stelle ein kurzer Überblick über die möglichen Märkte und Vermarktungswege gegeben werden.

Mit über 90 % der eingesetzten Menge nimmt der Düngemittelmarkt den weltweit größten Anwendungsbereich für Phosphor ein. Neben der Düngemittelindustrie gibt es aber auch andere Optionen zum Einsatz von rückgewonnenem Phosphor.

Die Qualität des rückgewonnenen Phosphors (Wasserlöslichkeit, Pflanzenverfügbarkeit, Reinheit etc.) ist grundsätzlich für die möglichen Einsatzbereiche und Erlöse entscheidend. Im Allgemeinen nimmt die erforderliche Reinheit für die verschiedenen Anwendungen im folgenden Ausmaß von oben nach unten zu:

1. Düngemittelindustrie („fertilizer grade“),
2. chemische Industrie („industrial grade“),
3. Futtermittelindustrie („feed grade“),
4. Lebensmittelindustrie („food grade“),
5. Pharmaindustrie („pharmaceutical grade“) und Halbleitertechnik („electronic grade“).

Aufgrund der derzeitigen Rechtslage ([Kapitel 2](#)) und der erforderlichen Reinheiten sind vor allem die Düngemittel- und die chemische Industrie für den aus Abwasser rückgewonnenen Phosphor von Relevanz.

Bei der Auswahl einer Phosphorrecycling-Technologie sollten die spätere Verwertung und Vermarktung der erzeugten Produkte frühzeitig mitgeplant werden. Dabei sind insbesondere die Produktmenge und die Art des Produkts (Endprodukt oder weiterzuverarbeitendes Zwischenprodukt) zu berücksichtigen.

Für die Vermarktung gibt es verschiedene Wege:

- **Direktverkauf an Landwirte:** ermöglicht höhere Erlöse und eine regionale Nutzung, erfordert jedoch einen hohen Vertriebsaufwand, den Aufbau von Vertrauen in die Produktqualität sowie ausreichende Lagerkapazitäten aufgrund saisonaler Nachfrageschwankungen.
- **Verkauf über Zwischenhändler:** reduziert den eigenen Vertriebs- und Logistikaufwand, führt aber zu geringeren Margen und höheren Anforderungen an eine gleichbleibende Produktqualität.
- **Verkauf an Düngemittelhersteller oder Industriebetriebe:** bietet die Möglichkeit, Rezyklate als Rohstoff oder Zwischenprodukt in bestehende Prozesse einzubringen. Die Erlöse sind meist geringer, wenn Primärrohstoffe ersetzt werden, können jedoch beim direkten Verkauf bestimmter Produkte wie Phosphorsäure höher ausfallen.
- **Kooperation mit Technologieanbietern:** Einige Anbieter von Recyclingverfahren nutzen die erzeugten Produkte selbst oder vermarkten diese und können dadurch langfristige und stabile Abnahmeverträge anbieten.

8 QUELLEN

- Amann, A., Zoboli, O., Krampe, J., Rechberger, H., Zessner, M., Egle, L. (2018): Environmental impacts of phosphorus recovery from municipal wastewater. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 130, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.002>
- DWA (2021): Merkblatt DWA-M 379 „Klärschlamm-trocknung“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- DWA (2026): Arbeitsblatt DWA-A 202 „Elimination von Phosphor aus Abwasser“. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.
- Egle L., Rechberger, H., Zessner, M. (2014): Endbericht Phosphorrückgewinnung aus dem Abwasser. TU Wien im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- EU-Projekt FlashPhos (abgerufen am 27.10.2025): <https://flashphos-project.eu/project-results-publications/deliverables>
- Fölmli, I., Rohner, M. (2023): Technische Umsetzung der Phosphorrückgewinnungspflicht in der Schweiz. Technischer Bericht gemäß Stand der Entwicklung Ende Juni 2023. Herausgeber Plattform SwissPhosphor, Arbeitsgruppe Technik. Autoren: EBP Schweiz AG, Zürich
- Gujer, W. (2007): Systeme der Abwassertechnik. 2., vollständig überarbeitete Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Lehmann, F. (2013): Überblick über die thermische Klärschlammbehandlung – Trocknung, Monoverbrennung und Mitverbrennung. In: Karl J. Thomé-Konzmiensjy (Hrsg.): Energie aus Abfall. TK Verlag, Neuruppin.
- Long, A., Weber, N., Krampe, J., Peer, S., Rechberger, H., Zessner, M., Zoboli, O. (2024): Multi-criteria analysis of strategies towards sustainable recycling of phosphorus from sewage sludge in Austria. *Journal of Environmental Management*, Volume 362. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121339>
- Ottosen L. M., Thornberg, D., Cohen, Y., Stiernström, S. (2022): Utilization of acid-washed sewage sludge ash as sand or cement replacement in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 176, 105943. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105943>
- ÖWAV (2018): ÖWAV-Expert:innenpapier „Kritische Ressource Phosphor – Wiederherstellung unterbrochener Phosphor-Kreisläufe durch Nutzung der vorhandenen Phosphor-Quellen: Kommunales Abwasser und tierische Nebenprodukte“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien. [> Download](#)
- ÖWAV (2022a): ÖWAV-Expert:innenpapier „Mikroplastik im Wasser“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien. [> Download](#)
- ÖWAV (2022b): ÖWAV-Expert:innenpapier „Verwendung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm zur Herstellung von Rohstoffen für EU-Düngeprodukte“. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien. [> Download](#)
- Poppe, B. (2025): Ausblick: Wie kommen wir nun voran? Vortrag beim 11. P-Kongress, 19.11.2025, Stuttgart/Online. iat-Ingenieurberatung GmbH.
- Quicker (2024): Quicker, P., Schnell, M., Stark, K., Baazaoui, S.: State-of-the-art of sewage sludge treatment – Emission minimisation and resource recovery. Vortrag, 15th International Specialized Conference Waste-to-Energy, Prag, Tschechien, April 2024.
- Reuna, S., Väisänen, A. (2018): Optimizing the H₃PO₄ leaching conditions of post-precipitated sewage sludge using response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, Volume 226, 70-75 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.004>
- UBA-D (2018): Roskosch, A., Heidecke, P. et al.: Klärschlammentsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau. ISSN (Print) 2363-8311, ISSN (Online) 2363-832X <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klaerschlammentsorgung-in-der-bundesrepublik>

Abkürzungsverzeichnis

AVV 2024	Abfallverbrennungsverordnung 2024
AWG 2002.....	Abfallwirtschaftsgesetz 2002
BAWP	Bundes-Abfallwirtschaftsplan
EW	Einwohnerwerte
FS.....	Feuchtsubstanz
KARL	Kommunale Abwasserrichtlinie
KSA.....	Klärschlammmasche
P.....	Phosphor
SN.....	Schlüsselnummer
TS.....	Trockensubstanz
UFG	Umweltförderungsgesetz

ANHANG I: PHOSPHORELIMINATION

Chemische P-Fällung aus dem Abwasser

Diese erfolgt durch das Fällern von Phosphaten durch Eisen- (z. B. FeCl_2 , FeCl_3 , FeSO_4), Kalzium- (z. B. Ca(OH)_2) oder Aluminiumsalzen (z. B. Polyaluminiumchloride, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, NaAl(OH)_4). Enthält das Fällmittel zweiwertiges Eisen (Fe^{2+}), so muss dieses in einem ersten Schritt durch Oxidation mit z. B. Luftsauerstoff zu dreiwertigem Eisen (Fe^{3+}) umgewandelt werden⁸⁾.

Tab. 8 Reaktionsgleichungen für die Phosphorentfernung (in Anlehnung an Gujer 2007)

Fällmittel	Reaktion
Fe^{2+}	$4 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ \rightarrow 4 \text{Fe}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O}$
Fe^{3+}	$\text{Fe}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{FePO}_4$
Al^{3+}	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} \rightarrow \text{AlPO}_4$

Die Bildungsprodukte sind flockige suspendierte Stoffe, diese können mittels Sedimentation aus dem Reinigungsprozess entfernt und mit den anderen Schlämmen einer Weiterverarbeitung zugeführt werden⁹⁾.

Fällungsarten:

Vorfällung

Vorfällung (auch „Vorflockung“) nennt man die Entfernung von Phosphor aus dem Abwasser durch die Überführung in ungelöste Metallsalze vor der biologischen Stufe. Die Dosierung erfolgt meist im Vorklärbecken, manchmal auch im Bereich des Sandfangs. Im Vorklärbecken wird der Fällschlamm als Primärschlamm abgeschieden.

Simultanfällung

Bei der Simultanfällung wird das Fällungsmittel (üblicherweise ein Eisen- oder ein Aluminiumsalz) im Bereich der biologischen Behandlungsstufe zugegeben (Zulauf oder Ablauf Belebungsbecken, direkt im Belebungsbecken oder in den Rücklaufschlamm).

Nachfällung

Die Phosphorfällung findet durch Zugabe von anorganischen Fällungsmitteln als zusätzliche Stufe nach der Nachklärung statt. Die Nachfällung gewährleistet sehr gute Phosphorablaufwerte, allerdings ist der Verbrauch an Fällungsmittel sehr hoch. Daher wird die Nachfällung nicht als einzige Stufe zur Phosphorelimination empfohlen. Zudem ist eine nachgeschaltete Abtrennung der entstehenden Flocken notwendig.

⁸⁾ Gujer, W. (2007): Systeme der Abwassertechnik. 2., vollständig überarbeitete Aufl. Springer, Berlin/Heidelberg.

⁹⁾ Gujer (2007).

Typische Eisenwerte im Abwasser und den Klärschlammströmen

Eisengehalt im Abwasser zur Kläranlage (Zulauf)			
Parameter	Typischer Wert	Einheit	Bemerkung
Gesamteisen	2 – 10	mg/l	Abhängig vom Anteil an industriellem Abwasser
Gelöstes Eisen	0,5 – 3	mg/l	Je nach Sauerstoffverhältnissen im Zulauf
Partikuläres Eisen	1 – 7	mg/l	In Feststoffen gebunden

Eisengehalte in den Reinigungsstufen einer Kläranlage			
Reinigungsstufe	Gesamt-Eisen (mg/l)	Gelöstes Eisen (mg/l)	Bemerkung
Vorklärung (nach Rechen, Sandfang)	1,5 – 7	0,3 – 2	Partikuläres Eisen sinkt durch Sedimentation
Biologische Reinigung (Belebungsbecken)	0,5 – 3	< 0,5	Reduktion durch biologische Prozesse, Adsorption
Nachklärung (Ablauf)	0,2 – 1	< 0,2	Hohe Rückhaltung, v. a. partikuläres Eisen
Ablauf Kläranlage	0,1 – 1	< 0,2	Zielwert je nach Anforderungen an den Gewässerschutz

Eisengehalte im Klärschlamm		
Schlammtyp	Gesamteisen (g/kg TS)	Bemerkung
Primärschlamm	5 – 15	Eisen liegt meist partikulär vor
Überschussschlamm	10 – 30	Eisen wird teils biologisch gebunden
Faulschlamm	15 – 50	Reduktion durch Umsetzung organischer Substanz möglich
Entwässerter Klärschlamm	20 – 60	Abhängig von chemischer Fällung mit Eisen(III)-Salzen

Zusätzliche Hinweise:

- In industriell beeinflussten Abwässern (z. B. aus Metallverarbeitung) können **höhere Eisenkonzentrationen** auftreten.
- Der Zielwert im **Ablauf der Kläranlage** ist oft von der **Einleitgenehmigung** oder den **regionalen Umweltstandards** abhängig.

Biologische Elimination von Phosphor aus dem Abwasser

Polymerisiertes Phosphat PO_4 ist ein Speicherstoff für nutzbare Energie. Somit gibt es eine Reihe heterotropher Bakterien, die diesen Stoff einlagern und zur Deckung des Eigenenergiebedarfs verwenden können. Diese Eigenschaft macht man sich in der Abwasserreinigung zunutze, in dem man die Bakterien sich mit Phosphor anreichern lässt, und sobald diese große Mengen an Phosphor gespeichert haben, wieder aus dem Abwasser entfernt. Die in den Bakterien ablaufenden Prozesse werden in [Abb. 3](#) dargestellt.

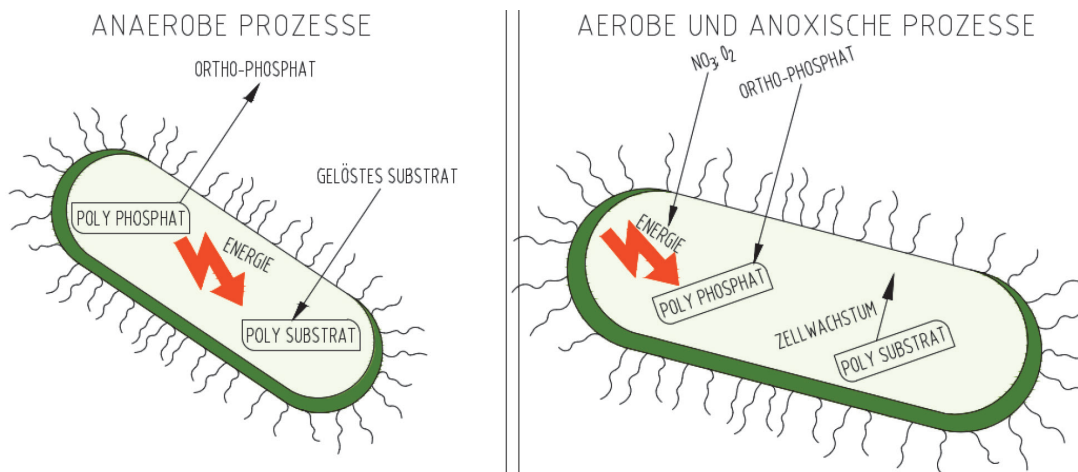


Abb. 3 Vereinfachtes Modell für biologische Phosphorelimination: Links anaerober Prozess, rechts aerober und anoxischer Prozess (in Anlehnung an Gujer 2007)

Zuerst werden die Phosphor einlagernden Bakterien in eine anaerobe (sauerstofffreie) Umgebung gebracht. Dort lagern diese, unter Verbrauch von Polyphosphat, organische Speicherstoffe (Polysubstrat) ein. Das verbrauchte Polyphosphat wird als Phosphat an das Abwasser abgegeben. Diese erste Reaktion dient dem Bakterium zur Energieerzeugung. Nachfolgend werden die Bakterien einer aeroben (sauerstoffreichen) oder anoxischen (Nitrat aber kein Sauerstoff) Umgebung ausgesetzt. Dort werden die organischen Speicherstoffe veratmet, was zu einem Energieanstieg im Bakterium führt, welches dieses wiederum zur Produktion von mehr Biomasse verwendet. Durch die Erhöhung der Biomasse wird wieder mehr Polyphosphat aufgebaut, das dem Abwasser wiederum als Phosphat entzogen wird. Am Ende dieses Zyklus wird ein Teil des Schlammes als sog. Überschussschlamm dem System entzogen, der Großteil des Schlammes wird allerdings rezirkuliert, um dem Abwasser erneut Phosphat zu entziehen.

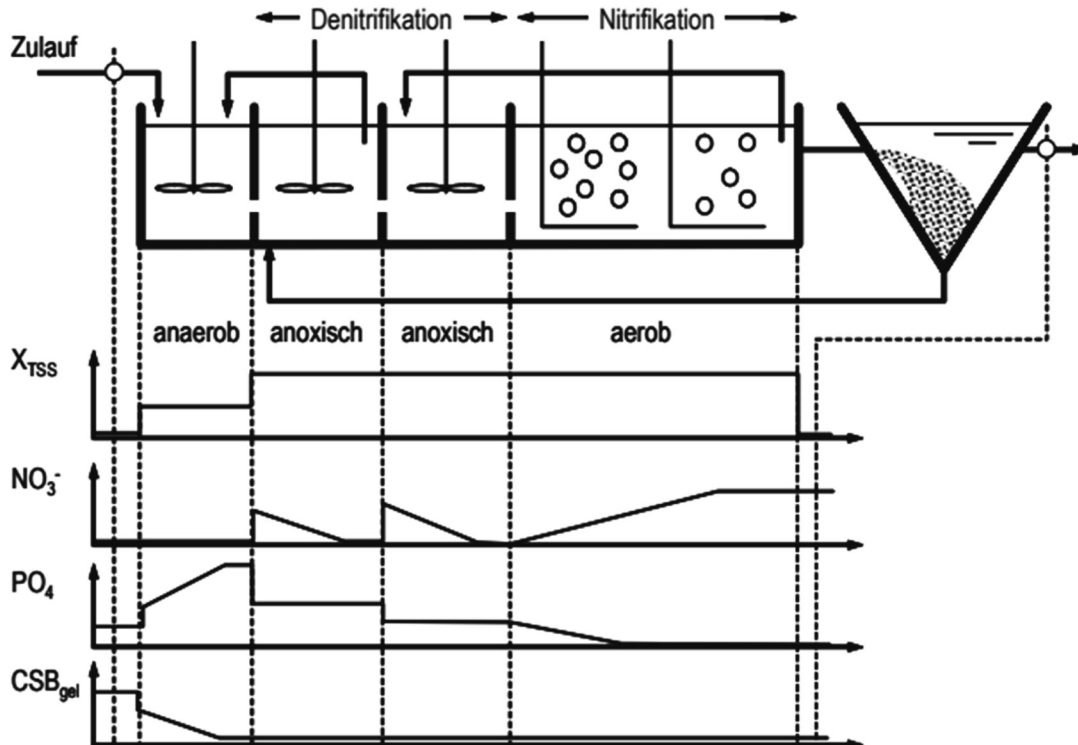


Abb. 4 Schematische Darstellung einer biologischen Phosphorelimination (Bio-P)

ANHANG II: SCHLAMMENTWÄSSERUNGSAGGREGATE

Schnecken

Die in Abb. 5 gezeigte Schneckenpresse funktioniert ähnlich wie ein Schneckeneindicker. Hier dreht sich eine Förderschnecke in einem Filterkorb. Die geometrischen Abmaße der Schnecke reduzieren das Volumen im Filterkorb. Dies führt dazu, dass das Wasser aus dem Schlamm gepresst wird. Der Austrag aus dem System erfolgt über einen ringförmigen Spalt an einem pneumatisch einstellbaren Presskegel vorbei. Die Reinigung des Filterkorbs erfolgt einerseits durch auf der Schnecke mitlaufende Abstreifer und durch ein Sprühsystem¹⁰⁾.

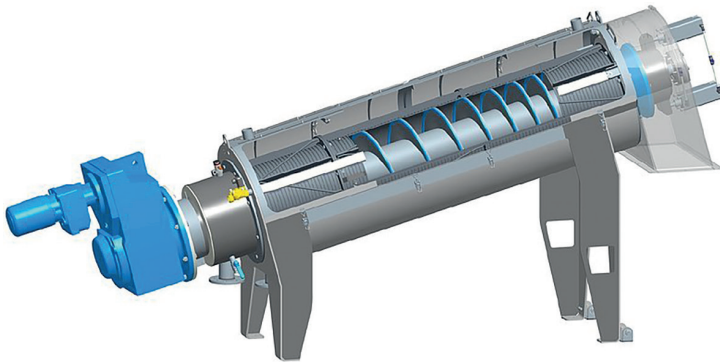


Abb. 5 Schematische Darstellung einer Schneckenpresse (Quelle: Huber SE, 2023)

Schneckenpressen reduzieren das Schlammvolumen um mehr als 97 %. Der Trockenrückstand bei entsprechender Polymerdosierung beläuft sich auf 18 – 25 %.

Abb. 6 und Abb. 7 zeigen eine Funktionsskizze und einen im Betrieb befindlichen Dekanter. Eine Dekanterzentrifuge besteht aus einer rotierenden Trommel, in diese ist eine Dekanterschnecke, eingelegt die mit einer unterschiedlichen Drehzahl zur Trommel rotiert. Der Klärschlamm wird zentral durch die Beschickungsöffnung a) in die Separationskammer eingebracht. Aufgrund der durch die Rotation auftretenden Zentrifugalkräfte setzen sich die Feststoffe an der Innenwand der Trommel ab. Die so separierten Feststoffe werden durch die Dekanterschnecke in das konische Ende der Trommel geführt und aus dem System über eine Austrittsöffnung c) ausgeworfen. Das Wasser bewegt sich in den zylindrischen Teil des Dekanters und wird dort abgeleitet b)¹¹⁾.

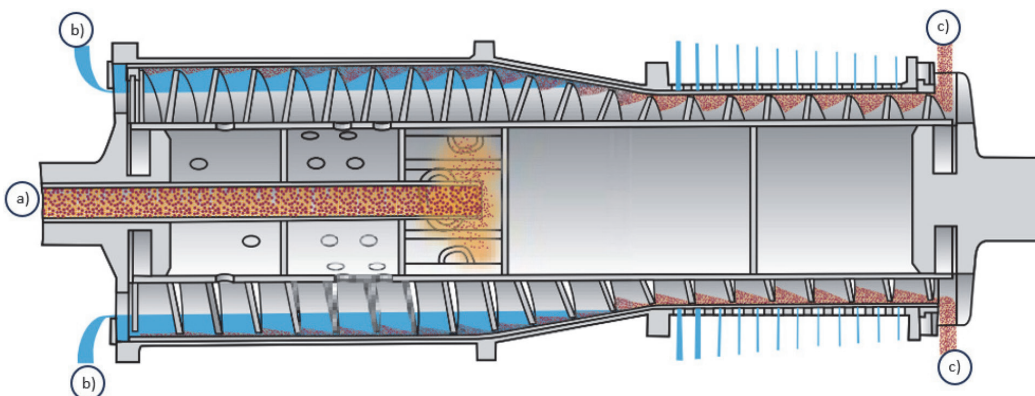


Abb. 6 Schematische Darstellung eines Dekanters: a) Beschickungsöffnung, b) Wasserableitung, c) Austrittsöffnung Schlamm (Quelle: ANDRITZ AG, 2023)

¹⁰⁾ Huber SE, 2023.

¹¹⁾ WSEnergy, 2019.



Abb. 7 Dekanter der Kläranlage Bruck an der Leitha (eigene Aufnahme)

Bandfilterpressen

Bei der in [Abb. 8](#) dargestellten Bandfilterpresse wird der konditionierte Schlamm auf die Vorentwässerungszone ausgebracht. Dort beginnt bereits die Abscheidung des ersten Filtrats. Eingebaute Schikanen schichten hier den Schlamm um und verhindern ein Verblocken der Sieboberfläche. In der anschließenden Niederdruckzone wird der Schlamm weiter mit einer großen Walze entwässert. In der sogenannten Prozesszone wird der Schlamm S-förmig ober- und unterseib um die Presswalzen geführt. Diese Presswalzen reduzieren den Durchmesser immer mehr, was den Pressdruck erhöht. Anschließend wird der Schlamm ausgetragen¹²⁾.

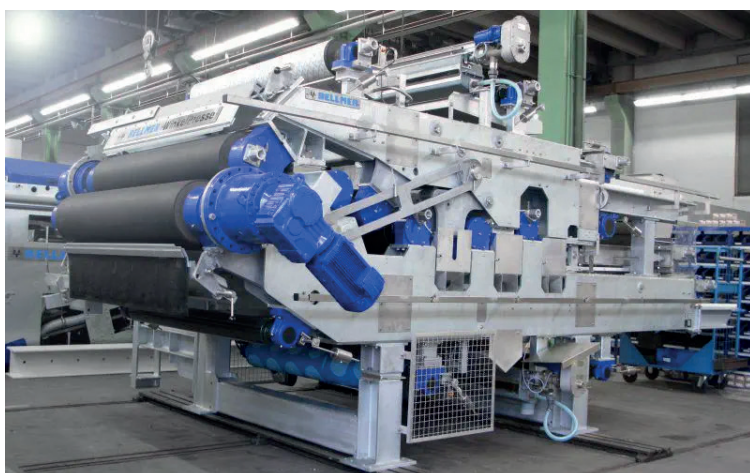


Abb. 8 Beispiel für eine Bandfilterpresse (Quelle: Gebr. Bellmer GmbH Maschinenfabrik)

Kammerfilterpressen (eher Auslaufmodell)

Als Beispiel wird hier auf die Kammerfilterpresse in [Abb. 9](#) als Vertreterin in der Abwassertechnik eingegangen. Sie besteht aus einem Gestell, in das einzelne Filterplatten senkrecht zu Filterpaketen hintereinander angeordnet werden. Jede Filterplatte wird mit einem Filtertuch bespannt, gegenüberliegend zur Filterplatte befindet sich die sogenannte Pressplatte. Hierbei handelt es sich um eine bewegliche Platte, die bei Betrieb den Druck auf den Schlamm und somit gegen die Filterplatte ausübt. Während des Startvorgangs ist die Kammerfilterpresse geschlossen. In diesem Zustand werden die Platten zusammengepresst und es bilden sich Hohlräume zwischen den Platten. In einem weiteren Schritt wird der Schlamm mittig in die Kammerfilterpresse gepumpt und fließt in die Filterkammer. Dort wird der Schlamm gegen

¹²⁾ Hydromatic Petker E. K., 2023.

die Filtertücher gepresst. Das Wasser durchdringt die Filtertücher und wird über den Filtratablauf abgeleitet. Es wird so lange Schlamm in die Kammern nachgepumpt, bis es aufgrund der Druckerhöhung nicht mehr möglich ist. Bei Erreichen dieses Punkts wird die Beschickung gestoppt und der Entwässerungsvorgang ist abgeschlossen. Anschließend werden die Filterplatten auseinandergeschoben, der entwässerte Schlamm fällt heraus¹³⁾.



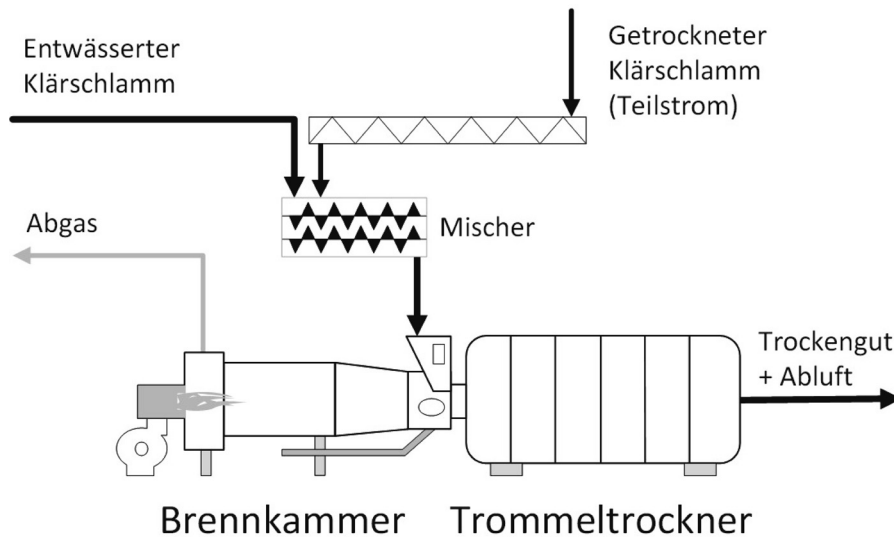
Abb. 9 Kammerfilterpresse der Kläranlage Bruck an der Leitha (eigene Aufnahme)

¹³⁾ Leiblein GmbH, 2023)

ANHANG III: TROCKNERBAUWEISEN

Trommeltrockner

Beim Trommeltrockner (Abb. 10) handelt es sich um einen Konvektionstrockner, der üblicherweise im Hochtemperaturbereich $> 100\text{ °C}$ betrieben wird. Getrockneter und mechanisch entwässerter Klärschlamm werden in einem Mischer vermengt und in den Trommeltrockner aufgegeben. Diesem ist eine Brennkammer zur Verbrennung von z. B. Erdgas vorgeschaltet. Das Verbrennungsgas dient als Trocknungsmedium und wird im Gleichstrom mit dem Trockengut durch die Trommel geführt.

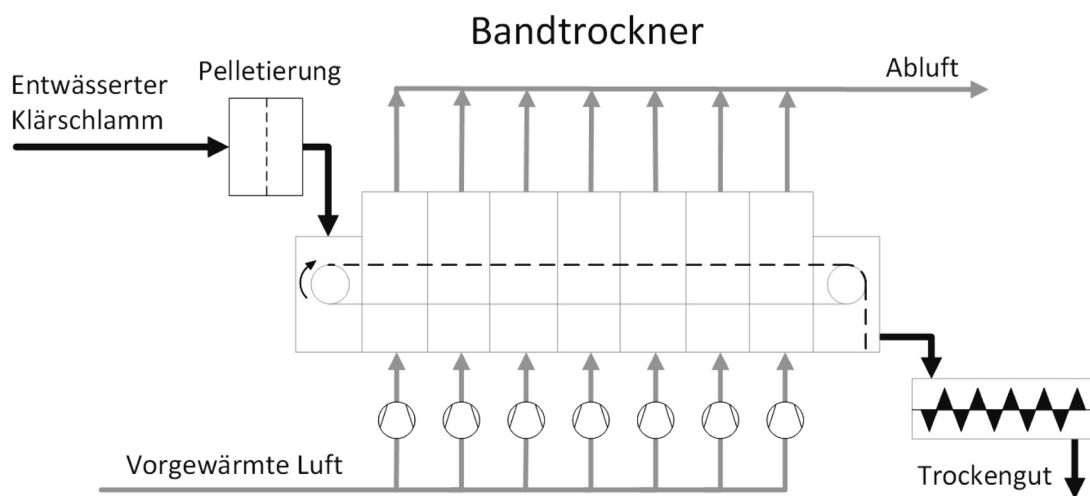


© UVP GmbH 2024

Abb. 10 Funktionsprinzip eines Trommeltrockners (© UVP GmbH)

Bandrockner

Der Bandrockner (Abb. 11) ist ein Konvektionstrockner, der üblicherweise im mittleren Temperaturbereich von rund $50 - 100\text{ °C}$ betrieben wird. Der entwässerte Klärschlamm wird – direkt oder ggf. nach Pelletierung – auf ein umlaufendes Band aufgegeben. Dieses wird im Kreuzstrom zum Trockengut von unten nach oben von vorgewärmter Luft durchströmt, die als Trocknungsmedium dient. Die Trocknerabluft/Brüden werden im oberen Bereich des Trockners abgezogen, fallweise über in den Bandrockner integrierte Staubfilter.



© UVP GmbH 2024

Abb. 11 Funktionsprinzip eines Bandrockners (© UVP GmbH)

Schneckentrockner

Beim Schneckentrockner (Abb. 12) handelt es sich um einen typischerweise im Hochtemperaturbereich $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ betriebenen Kontaktrockner. Der entwässerte Klärschlamm wird auf eine Förderschnecke aufgegeben, deren Wendel und ggf. Mantel innen mit Thermoöl beheizt werden. Am Ende der Förderstrecke wird das Trockengut abgeworfen, während die Brüden nach oben abgezogen werden.

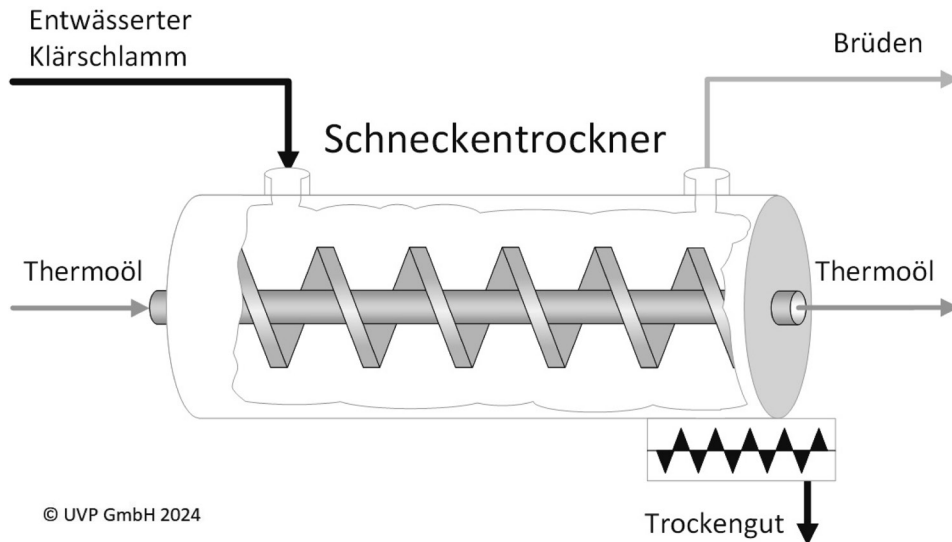


Abb. 12 Funktionsprinzip eines Schneckentrockners (© UVP GmbH)

Schaufeltrockner

Der Schaufeltrockner (Abb. 13) ist ein Kontaktrockner, der üblicherweise im Hochtemperaturbereich $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ betrieben wird. Er besteht aus einem beheizten Außenmantel und einer innen beheizten rotierenden Welle, die mit Schaufeln versehen ist. Die Beheizung erfolgt z. B. mit Heißdampf. Das Trockengut wird von den rotierenden Schaufeln angehoben, wobei sich der Kontakt mit den beheizten Flächen erhöht. Anfallendes Kondensat wird nach unten, Brüden werden nach oben abgeführt. Das Trockengut wird am Ende des Schaufeltrockners in eine Fördervorrichtung abgeworfen.

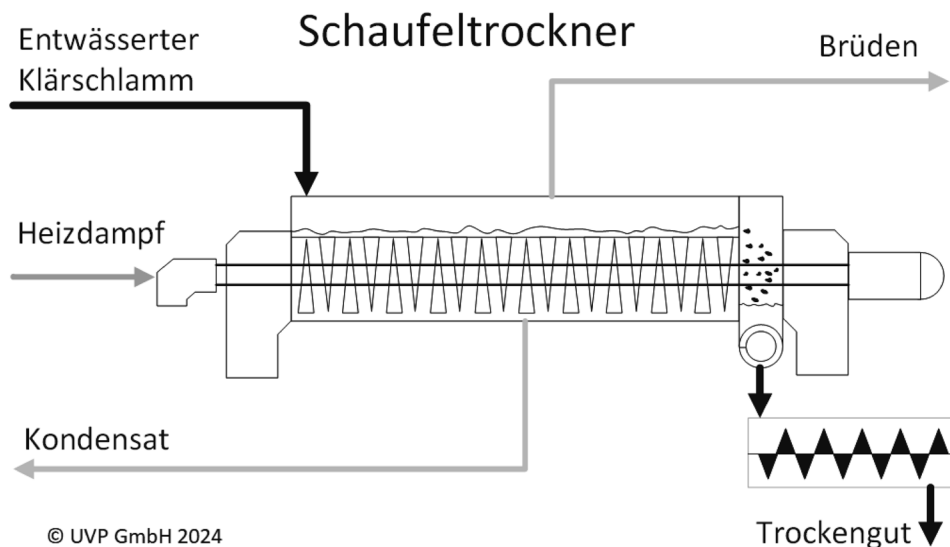


Abb. 13 Funktionsprinzip eines Schaufeltrockners (© UVP GmbH)

Wirbelschichttrockner

Der Wirbelschichttrockner (Abb. 14) wird entweder im Mitteltemperaturbereich von 50 – 100 °C oder im Hochtemperaturbereich > 100 °C betrieben und basiert auf dem Prinzip der Kontakttrocknung (indirekte Beheizung der Wirbelschicht). Die Wirbelschicht wird durch Fluidisierung mit (vorgewärmter) Luft hergestellt. Tauchheizflächen im Inneren des Wirbelbetts, die z. B. mit Dampf beheizt werden, sorgen für intensiven Wärmeaustausch mit dem Trockengut.

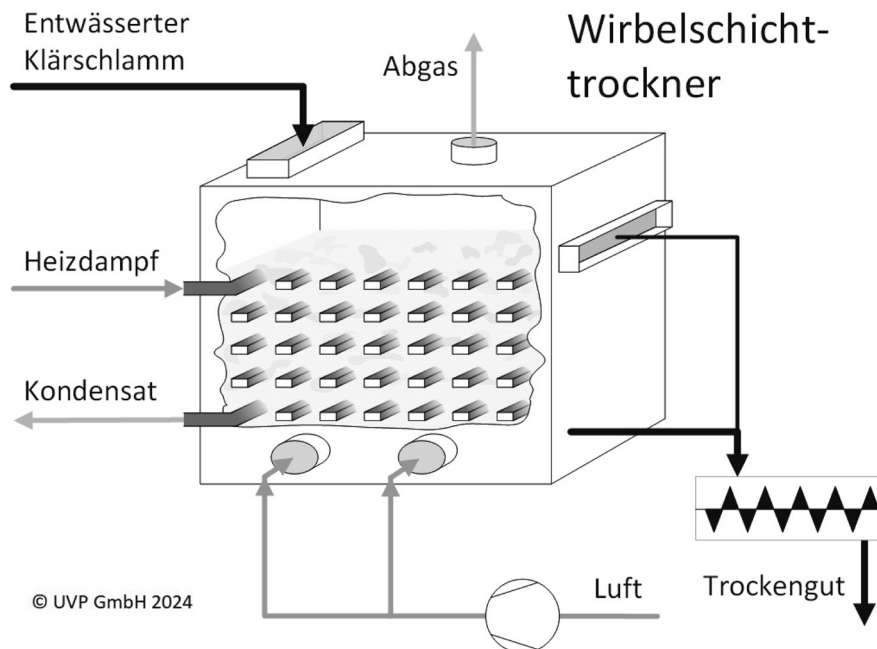


Abb. 14 Funktionsprinzip eines Wirbelschichttrockners (© UVP GmbH)

Scheibentrockner

Beim Scheibentrockner (Abb. 15) handelt es sich um einen Kontakttrockner, der im Hochtemperaturbereich > 100 °C betrieben wird. Der innenliegende zentrale Rotor und die an ihm angebrachten Scheiben werden mit Heizdampf o. Ä. beheizt. Abstreifer oder Paddel verhindern das Anbacken des Trocknungsguts an den beheizten Scheiben. Die Brüden werden oben abgezogen, während der getrocknete Klärschlamm am Ende des Scheibentrockners kontinuierlich abgeworfen wird.

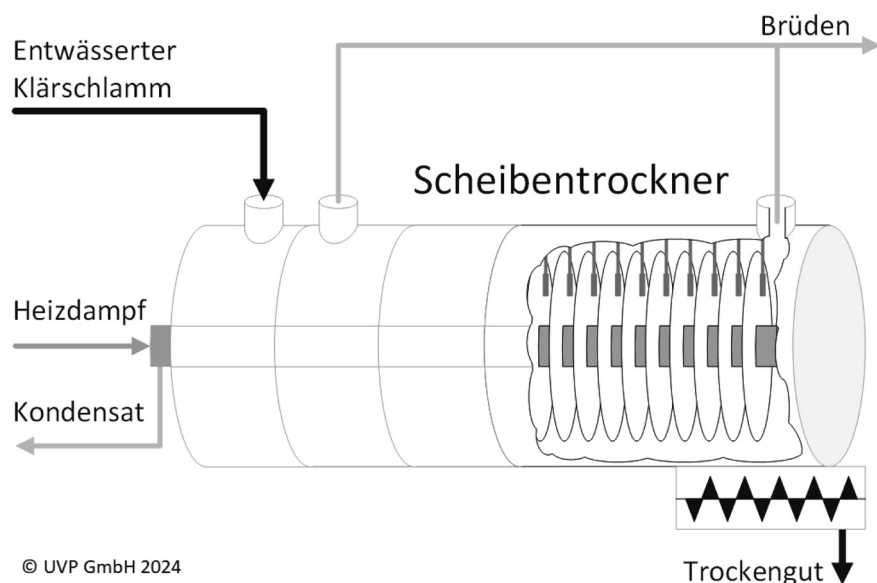


Abb. 15 Funktionsprinzip eines Scheibentrockners (© UVP GmbH)

Dünnschichttrockner

Beim Dünnschichttrockner (Abb. 16) handelt es sich um einen Kontaktrockner, der im Hochtemperaturbereich $> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arbeitet. Der entwässerte Klärschlamm wird in den Trockner aufgegeben und durch Wisch- und Fördervorrichtungen, die an der rotierenden Welle angebracht sind, in Form einer dünnen Schicht auf den beheizten Doppelmantel aufgebracht. Die Beheizung des Doppelmantels erfolgt bspw. mit Heißdampf. Die anfallenden Brüden können (wie abgebildet) im Gleichstrom oder im Gegenstrom zum Trocknungsgut geführt werden.

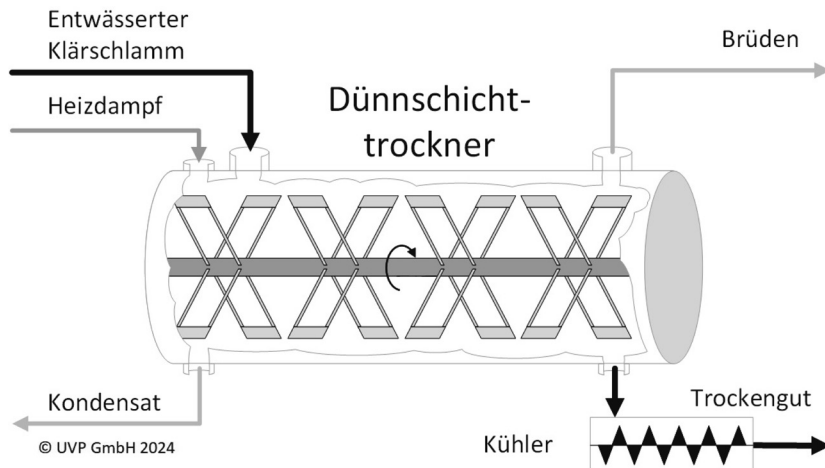


Abb. 16 Funktionsprinzip eines Dünnschichttrockners (© UVP GmbH)

Kaskadentrockner

Der Kaskadentrockner (Abb. 17) besteht aus zwei übereinander angeordneten Anlagenteilen und basiert auf einer Kombination aus Kontaktrocknung und Konvektionstrocknung. Die Beheizung erfolgt wahlweise mit Warmwasser oder Dampf. Im oberen Bereich des Kaskadentrockners befindet sich ein Klärschlamm-Bunker, der mit mechanisch entwässertem Klärschlamm beschickt wird und zugleich als Vortrockner fungiert. Von dort wird der Klärschlamm in den unteren Teil der Anlage, den Niedertemperaturtrockner, aufgegeben. Dieser arbeitet bei ca. $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ und brüdenfrei, unterstützt durch ein Vorschubsystem, das das Klärschlammgranulat permanent umwälzt und zerkleinert.

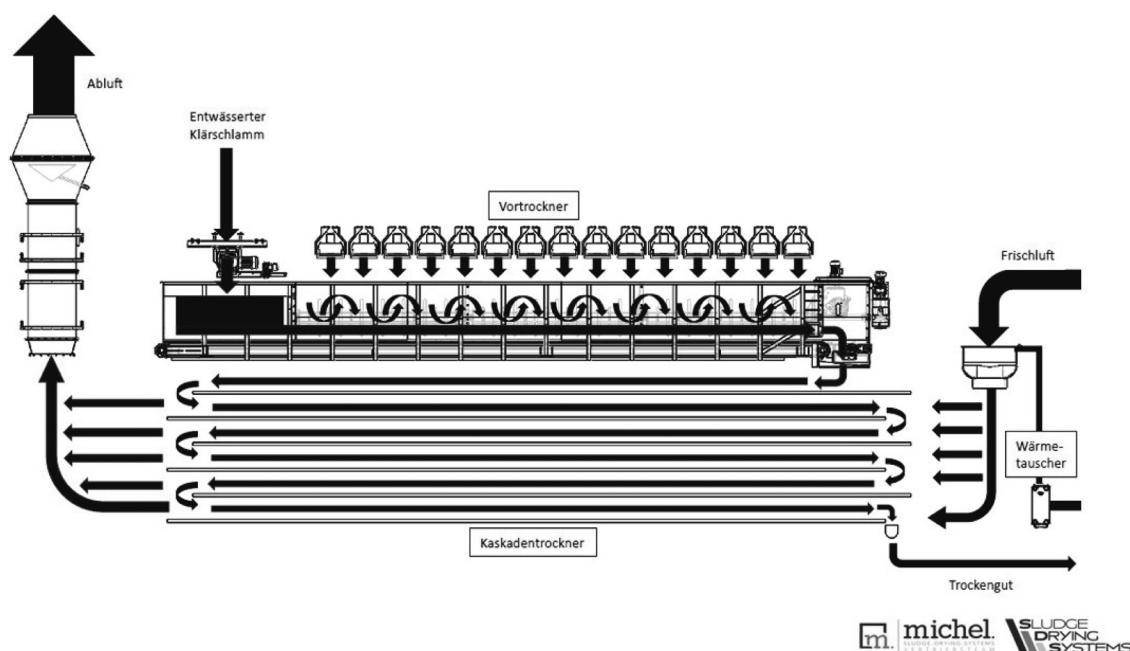


Abb. 17 Funktionsprinzip eines Kaskadentrockners (© Fa. Michel GmbH)

Schleuderwellentrockner

Der Schleuderwellentrockner (Abb. 18) ist ein Konvektionstrockner, der mit Verbrennungsabgas von 320 °C, z. B. aus einem Erdgasbrenner, betrieben wird. Im Inneren des Schleuderwellentrockners befinden sich parallel angeordnete rotierende Wellen, die mit Paddeln versehen sind. Durch diese wird das Trockengut aufgewirbelt, um den Kontakt mit dem heißen Gasstrom zu verbessern. Der Schleuderwellentrockner arbeitet im Batchbetrieb und wirft den getrockneten Klärschlamm nach Erreichen einer vordefinierten Zieltemperatur aus. Trocknungsgrade bis ca. 90 % TM werden erreicht.

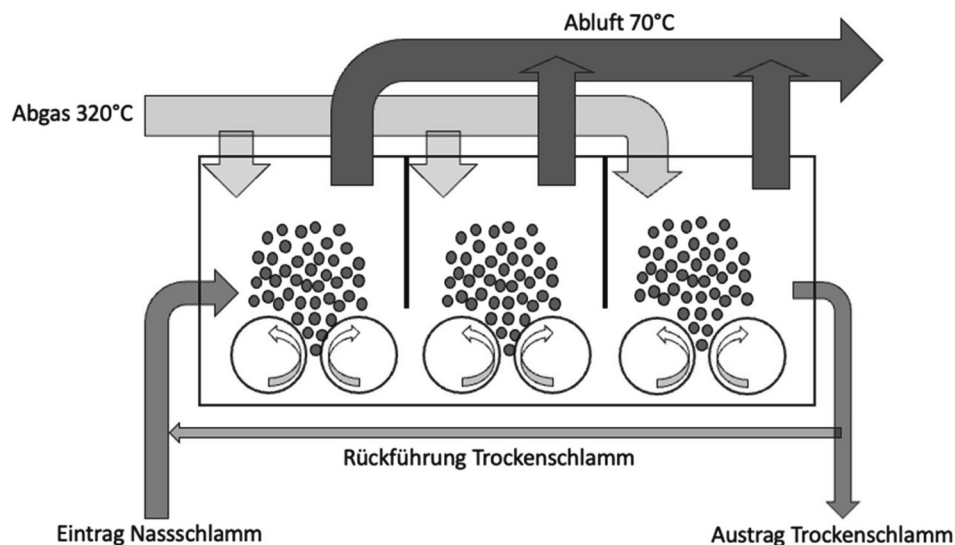


Abb. 18 Funktionsprinzip des Schleuderwellentrockners (© Fa. Sonnenerde GmbH)

Solare Trockner (Abwärmegestützte Hallentrockner)

Solare Trockner arbeiten im Niedertemperaturbereich < 50 °C. Die Energiebereitstellung für die Trocknung erfolgt einerseits durch elektromagnetische Strahlung (Einstrahlung von Sonnenlicht), andererseits wird Wasser aus dem Klärschlamm auch durch trockene, warme Hallenluft aufgenommen, sodass es sich bei solaren Trocknern um eine Mischform von Strahlungs- und Konvektionstrocknern handelt.

Kältetrockner (Kondensationstrockner)

Der Kondensationstrockner stellt eine Sonderform eines Konvektionstrockners dar, der auf niedrigem Temperaturniveau und mit einem geschlossenen Luftkreislauf arbeitet. Zentraler Bauteil ist eine Wärmepumpe, die die Trocknerluft abkühlt und ihr dabei Wasser entzieht (Kondensation) und die dabei freiwerdende Wärme dazu nützt, die getrocknete Luft anschließend auf eine Betriebstemperatur von rund 40 °C zu erwärmen.

ANHANG IV: KOSTEN DER PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

In [Tab. 9](#) sind öffentlich publizierte sowie auf den entsprechenden Tagungen genannte Kosten der Phosphorrückgewinnung gelistet. Diese dienen als grober Anhaltspunkt, jedoch ist darauf zu achten, dass z. B. aufgrund der fehlenden Marktreife vieler Technologien, der Inflation bei Bau und Errichtung von Anlagen, standortbedingter Unterschiede und Unsicherheiten bei der Prognose von Betriebsmittelpreisen mit großen Schwankungen bei den Kosten gerechnet werden muss.

Tab. 9 Kosten der Phosphorrückgewinnung

Wert	Einheit	Art	Preisbasis	Quelle
0 – 5	EUR/E*a	Zusatzkosten P-Recycling aus Asche	2023	Long et al. 2024
4 – 5	EUR/E*a	Zusatzkosten P-Recycling aus Asche	2025	Poppe 2025
580	CHF/t Asche	Jahreskosten Phos4Life-Verfahren	2020	Fölmli & Rohner 2023
150 (± 30 %)	Mio. CHF	Investkosten für Phos4Life-Verfahren mit 40.000 t Asche/a	2020	Fölmli & Rohner 2023
410	CHF/t Asche	Jahreskosten Phosphor26-Verfahren	2020	Fölmli & Rohner 2023
40 (± 20%)	Mio. CHF	Investkosten für Phosphor26-Verfahren mit 20.000 t Asche/a	2020	Fölmli & Rohner 2023
305	CHF/t Asche	Jahreskosten ZAB-Verfahren	2020	Fölmli & Rohner 2023
20 (± 20 %)	Mio. CHF	Investkosten für ZAB-Verfahren mit 10.500 t Asche/a	2020	Fölmli & Rohner 2023

Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband

Gegründet 1909

1010 Wien, Marc-Aurel-Straße 5

Tel. +43-1-535 57 20, buero@oewav.at, www.oewav.at

**Das österreichische Kompetenz-Zentrum
für Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft.**

Veranstaltungen

- Österreichische Abfallwirtschaftstagung
- Österreichische Wasserwirtschaftstagung
- Österreichische Umweltrechtstage
- Seminare und Fortbildungskurse zu aktuellen Themen der Wasser- und Abfallwirtschaft
- Erfahrungsaustausch für Betreiber von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen, Praktikum auf Lehrklär- und Lehrkanalanlagen, Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften
- Kurse für das Betriebspersonal von Abfallbehandlungsanlagen
- Kurse in den Bereichen Gewässerpflege, kleine Stau- und Sperrenanlagen, Hochwasserschutz- und Beschneigungsanlagen, Wildbachaufsicht und Neophytenmanagement
- Kurse in den Bereichen Recht & Wirtschaft
- Gemeinsame Veranstaltungen mit in- und ausländischen Fachorganisationen
- Exkursionen

Fachgruppen und Arbeitsausschüsse

- Ausarbeitung von Regelblättern, Arbeitsbehelfen und Merkblättern
- Erarbeitung von Expert:innen-, Positions- und Ausschusspapieren sowie Stellungnahmen zu Gesetzesvorhaben

Beratung und Information

- Auskünfte und individuelle Beratung
- Wasser- und abfallwirtschaftliche Informationsschriften und Beiträge, Öffentlichkeitsarbeit

Veröffentlichungen

- Fachzeitschrift „Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft“ (ÖWAW)
- ÖWAV-Homepage (www.oewav.at)
- ÖWAV-News (HTML-Newsletter)
- Tätigkeitsbericht des ÖWAV
- Veröffentlichungen zu Tagungen und Seminaren des ÖWAV
- Regelblätter*), Arbeitsbehelfe*) und Merkblätter des ÖWAV, Positions- und Ausschusspapiere
- Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen*)
- ÖWAV-WKO-Umweltmerkblätter für Gewerbebetriebe
- KA-Betriebsinfo¹⁾
- Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer¹⁾

Verbindungsstelle (Nationalkomitee) der

- European Water Association – EWA

Mitglied der österreichischen Vertretung zur

- European Union of National Associations of Water Suppliers and Waste Water Services – EurEau (gem. mit ÖVGW)
- International Solid Waste Association – ISWA
- International Water Association – IWA (gem. mit ÖVGW)

*) in Kommission bei Austrian Standards plus GmbH, Wien

¹⁾ Mitherausgeber

