



U



SACHSEN-ANHALT

Landesamt für Umweltschutz

Klärschlammmentsorgung

in Sachsen-Anhalt | Aktueller Stand 2022 und Prognose

Diese Schrift wird vom Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt kostenlos herausgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Der Nachdruck bedarf der Genehmigung. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf sie nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme zu Gunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Für den fachlichen Inhalt der Beiträge sind die Autorinnen und Autoren selbst verantwortlich. Die von ihnen vertretenen Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des/der Herausgeber übereinstimmen.

Impressum

Herausgeber

Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt
Reideburger Str. 47 • 06116 Halle (Saale)
Tel.: 0345 5704-0
Fax: 0345 5704-605
E-Mail: poststelle@lau.mwu.sachsen-anhalt.de
www.lau.sachsen-anhalt.de

Erarbeitung

INTECUS GmbH Abfallwirtschaft und umweltintegratives Management
Pohlandstr. 17
01309 Dresden
Tel.: 0351 31823-0
Fax: 0351 31823-33
E-Mail: intecus.dresden@intecus.de
www.intecus.de

Autorinnen und Autoren

Jörg Wagner, Romana Richter

1. Auflage
Dezember 2022

Inhalt

1	Einführung	6
2	Rechtliche Grundlagen	7
2.1	Wasserrecht	7
2.2	Kreislaufwirtschaftsrecht	7
2.2.1	Kreislaufwirtschaftsgesetz	7
2.2.2	Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung (Neufassung der Klärschlammverordnung).....	9
2.2.3	Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung – AbfKlärV)	15
2.2.4	Düngerecht	19
2.2.5	Immissionsschutzrecht.....	21
3	Technische Grundlagen.....	22
3.1	Klärschlammbehandlung im Rahmen der Abwasserbehandlung	23
3.1.1	Schlammstabilisierung (aerob/anaerob).....	23
3.1.2	Entwässerung.....	24
3.2	Klärschlammentsorgung	25
3.2.1	Klärschlamm Trocknung	25
3.2.2	Bodenbezogene Verwertung (inkl. sonstiger Behandlung).....	25
3.2.3	Mitverbrennung.....	26
3.2.4	Monoverbrennung.....	27
3.2.5	Alternative Verfahren	28
3.3	Phosphorrückgewinnung	28
3.3.1	Kristallisations- und Fällungsverfahren	30
3.3.2	Thermochemischer Aufschluss	30
3.3.3	Nasschemischer Aufschluss	31
3.3.4	Bewertung der Phosphorrückgewinnungsverfahren	31
4	Datengrundlagen und Methodik der Datenerhebung.....	31
4.1	Darstellung der Herangehensweise	31
4.2	Datengrundlagen	32
4.3	Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung und Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen	33
4.3.1	Mitteilungspflicht nach § 4 EigÜVO (Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung	33

4.3.2	Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt ...	34
5	Struktur der Abwasserbeseitigung	34
6	Aktueller Stand des Klärschlammanfalls und der Klärschlammentsorgung	36
6.1	Klärschlammanfall aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen	36
6.2	Qualität der Schlämme aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen	37
6.2.1	Schadstoffgehalte bodenbezogen verwerteter Klärschlämme.....	38
6.2.2	Phosphorgehalte.....	39
6.3	Klärschlammanfall aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen.....	40
6.4	Klärschlammentsorgung	41
6.4.1	Entsorgung von Klärschlämmen aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen .	41
6.4.2	Entsorgung von Klärschlämmen aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen.	42
6.4.3	Anlagen zur Klärschlammentsorgung in Sachsen-Anhalt.....	43
7	Prognosen zur zukünftigen Klärschlammentsorgung	46
7.1	Methodik der Prognose.....	46
7.1.1	Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt.....	46
7.1.2	Anschlussgrad an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen.....	47
7.1.3	Technische Änderungen auf den Abwasserbehandlungsanlagen	48
7.1.4	Import und Export von Klärschlämmen	49
7.2	Klärschlammmengenprognose bis 2032	51
7.2.1	Prognose des Klärschlammaufkommens von öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen	51
7.2.2	Prognose der in Sachsen-Anhalt zukünftig entsorgten Klärschlammmengen.....	52
7.2.3	Prognose der zukünftig zu verwertenden Klärschlammmaschen	56
7.2.4	Betrachtung der Prognoseunsicherheiten	57
8	Szenarien zur zukünftigen Klärschlammentsorgung	58
8.1	Mögliche Szenarien der zukünftigen Klärschlammentsorgung.....	58
8.2	Regionale Betrachtung	60
8.2.1	Region Nord	61
8.2.2	Region Mitte	65
8.2.3	Region Süd.....	69
9	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	74
9.1	Grundsätzliches.....	74
9.2	Abfallrechtliche Vollzugs- und Planungsbehörden	75
9.3	Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung	75

9.3.1	Zeitnahe konzeptionelle Überlegungen zur P-Rückgewinnung	75
9.3.2	Mittelfristige Prüfung von Alternativen zur bodenbezogenen Verwertung.....	76
9.3.3	Frühzeitige und langfristige Sicherung von Kontingenten in der Monoverbrennung	76
9.3.4	Prüfung der P-Reduktion auf der Kläranlage im Einzelfall.....	76
9.3.5	Beachtung vergabe- und abfallrechtlicher Vorgaben bei Beauftragung Dritter	77
9.4	Akteure der Entsorgungswirtschaft	77
9.4.1	Kritische Prüfung der möglichen Auslastung weiterer Klärschlammmonoverbrennungsanlagen.....	77
9.4.2	Sicherstellung ausreichender P-Rückgewinnungskapazitäten	77
9.4.3	Nutzung alternativer Abfallströme bzw. Angebot alternativer Dienstleistungen	77
9.5	Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger	78
10	Zusammenfassung	78
Anhang 1 – Datenblätter zur Phosphorrückgewinnung		85

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Prinzipielle Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung und -verwertung (nach DWA KEK-1.4, 2016).....	23
Abbildung 2:	Einteilung der P-Rückgewinnungsverfahren (nach Montag et al. (2021).....	30
Abbildung 3:	Anzahl und Verteilung der Abwasserbehandlungsanlagen auf die verschiedenen Größenklassen (GK).....	35
Abbildung 4:	Lage der Abwasserbehandlungsanlagen der GK 4b und 5 im Land Sachsen-Anhalt	36
Abbildung 5:	Verteilung der im Jahr 2020 angefallenen Klärschlammengen in Tonnen Trockenmasse (t TM) auf die Größenklassen	37
Abbildung 6:	Entsorgungswege für Klärschlamm im Jahr 2020 (Quelle: StaLA).....	41
Abbildung 7:	Verwertungswege für Klärschlämme der Kläranlagen GK 4b und 5 im Jahr 2020	42
Abbildung 8:	Entsorgungswege in industriellen Abwasserbehandlungsanlagen angefallenen Klärschlämmen.....	43
Abbildung 9:	Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt bis 2032 auf Basis der 7. Regionalisierten Bevölkerungsprognose (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt).....	47
Abbildung 10:	Vergleich des Klärschlammaufkommens 2020 in Sachsen-Anhalt mit den vorhandenen, geplanten und in Bau befindlichen Verwertungskapazitäten...	50

Abbildung 11: Prognose des Klärschlammanfalls aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt bis 2032 (ohne Import und Export).....	52
Abbildung 12: Anlagen zur Behandlung von Klärschlamm – Übersicht Bundesrepublik (östlicher Teil).....	53
Abbildung 13: Regionale Einteilung Sachsen-Anhalt mit Abwasserbehandlungsanlagen GK 4b und 5 (Quelle: INTECUS)	61
Abbildung 14: Übersicht über die Region Nord mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme.....	62
Abbildung 15: Entsorgungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Nord (Datenquelle: StaLA, 2022).....	63
Abbildung 16: Übersicht über die Region Mitte mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme.....	66
Abbildung 17: Entsorgungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Mitte (Datenquelle: StaLA, 2022).....	67
Abbildung 18: Übersicht über die Region Süd mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme	70
Abbildung 19: Verwertungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Süd (Datenquelle: StaLA, 2022).....	71
Abbildung 20: Vergleich der in der Region Süd für den Zeitraum 2029/32 prognostizierten Klärschlammmengen mit den in Betrieb und im Bau befindlichen sowie den geplanten thermischen Behandlungskapazitäten der Region Süd	72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Zukünftige Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlamm (nach DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5, 2018).....	13
Tabelle 2-2: Boden- und klärschlammbezogene Grenzwerte nach § 7 und 8 AbfKlärV	18
Tabelle 3-1: Phosphorrückgewinnungspotenziale an verschiedenen Ansatzstellen (Pinnekamp et al., 2013).....	29
Tabelle 4-1: Im Rahmen des Berichtes berücksichtigte Abfallarten	32
Tabelle 4-2: Verwendete Datengrundlagen	32
Tabelle 6-1: Qualitäten der in 2020 bodenbezogen verwerteten Klärschlämme im Land Sachsen-Anhalt (LAU, 2021)	38
Tabelle 6-2: Anzahl und Klärschlammanfall industrieller-gewerblicher Kläranlagen nach Wirtschaftszweigen.....	40
Tabelle 6-3: Entwicklung der Klärschlammmengen im Land Sachsen-Anhalt im Zeitraum 2016–2020 (Quelle: StaLA (2022))	41

Tabelle 6-4:	In Betrieb befindliche Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung in Sachsen-Anhalt (LvWA, 2021, eigene Recherchen).....	45
Tabelle 6-5:	Geplante und im Bau befindliche Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung in Sachsen-Anhalt (LvWA, 2021, eigene Recherchen).....	45
Tabelle 7-1:	Konkret geplante technische Änderungen mit Auswirkung auf die Klärschlammmenge	48
Tabelle 7-2:	Import und Export von kommunalen Klärschlämmen bezogen auf das Land Sachsen-Anhalt (StaLA, 2022a, StaLA 2022b; umgerechnet auf TM).....	49
Tabelle 7-3:	Einflussgrößen der Klärschlammanfallprognose und deren Auswirkungen ...	51
Tabelle 7-4:	Maximal verfügbare Klärschlammengen der an Sachsen-Anhalt angrenzenden Bundesländer für einen Import nach Sachsen-Anhalt (Quelle: eigene Recherchen; LAGA 2022)	55
Tabelle 7-5:	Prognoseszenarien für Klärschlammimporte nach Sachsen-Anhalt (t TM/a).	56
Tabelle 7-6:	Prognose der in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlammaschen	56
Tabelle 8-1:	Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammanfall Region Nord 2020–2032	63
Tabelle 8-2:	Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Nord im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)	64
Tabelle 8-3:	Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammanfall Region Mitte 2020–2032	67
Tabelle 8-4:	Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Mitte im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)	68
Tabelle 8-5:	Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammanfall Region Süd 2020–2032	71
Tabelle 8-6:	Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Süd im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)	73

1 Einführung

Die am 3. Oktober 2017 in Kraft getretene novellierte Klärschlammverordnung schreibt die Rückgewinnung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors für größere Abwasserbehandlungsanlagen vor. Die Verpflichtung wird ab 2029 in zwei Schritten umgesetzt. Zudem wurden die düngerechtlichen Vorschriften für die bodenbezogene Klärschlammverwertung verschärft. Darüber hinaus schränken bestehende Rahmenbedingungen (bspw. die Zunahme des Ökolandbaus, Verwertungskonkurrenz mit landwirtschaftsstämmigen Wirtschaftsdüngern und Gärresten) die Möglichkeiten der Klärschlammverwertung auf landwirtschaftlichen Flächen ein. Dies führt bereits seit einigen Jahren zu einer Verschiebung von der bodenbezogenen Klärschlammverwertung hin zu thermischen Entsorgungswegen. Infolgedessen wird, insbesondere auch im Land Sachsen-Anhalt, in diesen Bereich investiert. Die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung zieht neue technische Entwicklungen nach sich. Neben etablierten Technologien wird an alternativen Klärschlammverwertungsverfahren geforscht.

Der vorliegende Bericht stellt die aktuelle Situation und die zukünftigen Entwicklungen von Klärschlammaufkommen und -entsorgung im Land Sachsen-Anhalt dar. Ziel ist die Bereitstellung umfassender aktueller Informationen über die Klärschlamm Entsorgung im Land Sachsen-Anhalt, vorrangig zu aktuellem Aufkommen und Entsorgungswegen von Klärschlämmen (inkl. Import und Export) zukünftige Entsorgungskapazitäten für Klärschlämme sowie Stand und Planung von Entsorgungskapazitäten.

Für die Darstellung und Bewertung der zukünftigen Klärschlamm Entsorgung im Land Sachsen-Anhalt erfolgt zunächst eine Analyse der aktuellen Situation von Klärschlammaufkommen und Entsorgungswegen auf Basis des Jahres 2020. Darauf aufbauend werden prognostische Betrachtungen zum Klärschlammaufkommen bis zum Jahr 2030 angestellt. Zudem werden die zukünftigen Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für Klärschlamm in mehreren Szenarien dahingehend analysiert, wie die Ziele der geltenden Klärschlammverordnung, insbesondere zur Phosphorrückgewinnung, zu erreichen sind. Auf Grundlage der Ergebnisse der genannten Arbeitsschritte werden Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Der Bericht zu Status und Prognosen der Klärschlamm Entsorgung in Sachsen-Anhalt dient den Behörden als Grundlage zur Bewertung der Berichte nach § 3a Abs. 1 AbfKlärV. Die zukünftigen Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlämme sollen zudem im Abfallwirtschaftsplan Berücksichtigung finden.

Nicht zuletzt kann der vorliegende Bericht den Aufgabenträgern der Abwasserbeseitigung, den Betreibern von Abwasserbehandlungsanlagen sowie allen anderen Akteuren der Klärschlamm Entsorgung in Sachsen-Anhalt als Grundlage für deren konzeptionelle und planerische Aufgaben dienen.

2 Rechtliche Grundlagen

Die Behandlung und Entsorgung von Klärschlamm bewegt sich im Grenzbereich zwischen Abfall- und Wasserrecht.

2.1 Wasserrecht

Gemäß § 54 Abs. 2 des Gesetzes zur Ordnung des Wasserrechts - Wasserhaushaltsgesetz (WHG) umfasst die Abwasserbeseitigung das Sammeln, Fortleiten, Behandeln, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln von Abwasser sowie das Entwässern von Klärschlamm in Zusammenhang mit der Abwasserbeseitigung. Zur Abwasserbeseitigung gehört auch die Beseitigung des in Kleinkläranlagen anfallenden Schlammes. Demnach unterliegen die Behandlungsschritte bis einschließlich der Klärschlammmentwässerungsverfahren auf der Kläranlage soweit sie der Abwasserbehandlung und -beseitigung zuzuordnen sind dem Anwendungs- und Geltungsbereich des Wasserrechts.

Zum WHG abweichende oder weitergehende Regelungen zum Umfang der Abwasserbeseitigung sind im Wassergesetz des Landes Sachsen-Anhalt nicht festgelegt.

Zuständig für die Abwasserbeseitigung sind nach § 78 Abs. 1 des Wassergesetzes für das Land Sachsen-Anhalt (WG LSA) die Gemeinden (Abwasserbeseitigungspflicht). Danach haben die Gemeinden das gesamte, auf ihrem Gebiet anfallende Abwasser einschließlich des in Kleinkläranlagen anfallenden Schlammes und des in abflusslosen Gruben gesammelten Abwassers zu beseitigen. Unter bestimmten Bedingungen kann die Gemeinde Abwasser oder Schlamm ganz oder teilweise ausschließen (§ 79a WG LSA). In diesen Fällen ist im Umfange des Ausschlusses derjenige zur Beseitigung verpflichtet, bei dem das Abwasser oder der Schlamm anfällt. Die Klärschlamm Entsorgung gehört gemäß WHG und WG LSA nicht zur Abwasserbeseitigung und ist damit auch nicht Gegenstand des unmittelbaren Aufgabenbereiches der Abwasserbeseitigungspflichtigen. Sie ist nicht vom Wasserrecht erfasst und unterliegt vollumfänglich den abfall- und düngerechtlichen Vorschriften.

2.2 Kreislaufwirtschaftsrecht

2.2.1 Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) hat den Zweck, die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen.

Die Vorschriften des Gesetzes gelten für

1. die Vermeidung von Abfällen sowie
2. die Verwertung von Abfällen,
3. die Beseitigung von Abfällen und
4. die sonstigen Maßnahmen der Abfallbewirtschaftung.

Zum Erreichen der o. a. Ziele legt § 6 Abs. 1 KrWG folgende Reihenfolge für die Maßnahmen zur Vermeidung und Bewirtschaftung von Abfällen fest (Abfallhierarchie):

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
5. Beseitigung

Abfallvermeidung nach § 3 Abs. 20 KrWG bezeichnet „[...] jede Maßnahme, die ergriffen wird, bevor ein Stoff, Material oder Erzeugnis zu Abfall geworden ist und dazu dient, die Abfallmenge, die schädlichen Auswirkungen des Abfalls auf Mensch und Umwelt oder den Gehalt an schädlichen Stoffen in Materialien und Erzeugnissen zu verringern [...]“. Die Klärschlammmenge kann durch geeignete Technik auf den Abwasserbeseitigungsanlagen verringert werden. So resultiert zum Beispiel aus der anaeroben Behandlung des Klärschlammes in einem Faulturn eine Verringerung der zu entsorgenden Klärschlammengen. Es gilt jedoch zu beachten, dass diese Technik nicht unerhebliche Investitionen bedeutet, welche sich auf den Gebührenhaushalt auswirken, und für kleine Anlagen aufgrund der geringen Klärschlammfallmengen nicht geeignet sind. Eine Verringerung der schädlichen Auswirkung des Klärschlammes auf Mensch und Umwelt erfolgt durch die gesetzlichen Vorgaben des Abfall- und Düngerechts. So enthält die Klärschlammverordnung (AbfKlärV) in § 5 klärschlammbezogene Untersuchungspflichten sowie in §§ 7, 8 i.V.m der Bundes-Boden- und Altlastenschutzverordnung (BBodSchV) sowie der Düngemittelverordnung (DümV) Grenzwerte für die bodenbezogene Verwertung eines Klärschlammes, Klärschlammgemisch oder -kompost (siehe Abschnitt 2.2.3).

Vorbereitung zur Wiederverwendung nach § 3 Abs. 24 KrWG ist „[...] jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfall geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt sind.“ Diese Stufe der Abfallhierarchie ist auf Klärschlamm nicht anwendbar, da dieser für keinen bestimmten Zweck erzeugt wird. Klärschlämme bilden lediglich einen Reststoff des Abwasseraufbereitungsprozess, welcher sich der Erzeuger entledigen will.

Recycling nach § 3 Abs. 25 KrWG ist „[...] jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufgearbeitet werden; es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, nicht aber die energetische Verwertung [...]“. In der Praxis wird diese Stufe der Abfallhierarchie durch Verwertungsverfahren wie Kompostierung, Vergärung sowie sonstige Verfahren zur Herstellung eines Klärschlammgemisches mit dem Einsatzzweck als Düngemittel oder Bodenhilfsstoff umgesetzt. Die direkte Ausbringung des Klärschlammes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ist eine stoffliche Verwertung, jedoch kein Recyclingverfahren im Sinne des KrWG. Neben dem Recycling des Klärschlammes als solchen, enthalten die Vorgaben der AbfKlärV eine Pflicht zur Phosphorrückgewinnung (siehe Abschnitt 2.2.2.2). Diese kann sowohl aus der Originalsubstanz (auf der Kläranlage oder in einer geeigneten Anlage nach Abgabe des Klärschlammes) als auch aus der Klärschlammmasche oder den kohlenstoffhaltigen Rückständen nach thermischer Vorbehandlung (Mono- oder Mitverbrennung) erfolgen (Phosphorrecycling).

Die vierte Stufe der Abfallhierarchie bildet die sonstige Verwertung, insbesondere die energetische Verwertung. Klärschlammengen, welche weder vermieden, noch recycelt

werden können, sind nach dem KrWG einer energetischen Verwertung zuzuführen. Dies erfolgt durch Mono- oder Mitverbrennung der Klärschlämme.

Eine Beseitigung nach § 3 Abs. 26 ist „[...] jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen werden. [...]“. Die Beseitigung hat für die Klärschlamm Entsorgung keine praktische Relevanz. Zum einen adressiert § 3 Abs. 1 AbfKlärV eine Verwertungspflicht an den Klärschlammhersteller, zum anderen ist die Deponierung unbehandelter Abfälle seit dem 01. Juni 2005 verboten. Die thermische Behandlung von Klärschlamm in Mono- oder Mitverbrennungsanlagen ist eine Verwertung im Sinne des Gesetzes.

In der zukünftigen Praxis kann die Abfallhierarchie von den Klärschlammherstellern nur differenziert umgesetzt werden. Dies resultiert vor allem durch das Verbot der bodenbezogenen Verwertung ab 2029 bzw. 2032 für Klärschlammhersteller, welche eine Abwasserbehandlungsanlage mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 Einwohnerwerten (EW) bzw. mehr als 50.000 EW betreiben. Für diese beschränkt sich die dritte Stufe der Abfallhierarchie auf die Phosphorrückgewinnung bzw. das Phosphorrecycling. Die Klärschlämme sind, entweder als Vorbehandlung zum Phosphorrecycling oder als Entsorgungsweg nach der Phosphorrückgewinnung, einer thermischen Behandlung zuzuführen. § 11 KrWG bildet die gesetzliche Grundlage für die Klärschlammverordnung (AbfKlärV), welche mit ihren Bestimmungen die Sicherung der ordnungsgemäßen und schadlosen Verwertung von Klärschlämmen umsetzt.

2.2.2 Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung (Neufassung der Klärschlammverordnung)

Die Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017, welche am 3. Oktober 2017 in Kraft getreten ist, hat „insbesondere das Ziel, die wertgebenden Bestandteile des Klärschlammes (Phosphor) umfassender als bisher in den Wirtschaftskreislauf zurückzuführen [...]“ (BMU, 2017). Ein weiteres Ziel der Neufassung der Klärschlammverordnung ist die bodenbezogene Verwertung der Klärschlämme deutlich zu begrenzen und damit die Schadstoffbelastung der Böden zu reduzieren.

Die Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung ist in acht Artikel unterteilt. Aus der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung gehen Änderungen für die folgenden Verordnungen hervor:

- AbfKlärV – Artikel 4, 5 und 6,
- Deponieverordnung (DepV) – Artikel 2,
- Verordnung über Anlagen zur biologischen Abfallbehandlung (30. BImSchV) – Artikel 3,
- Bioabfallverordnung (BioAbfV) – Artikel 3 sowie
- BBodSchV – Artikel 3.

Während Artikel 3 im Wesentlichen Änderungen von Definitionen und Bezeichnungen in den betreffenden Verordnungen enthält, resultieren aus den Artikeln 2 sowie 4–6 wesentliche inhaltliche Änderungen der jeweiligen Verordnung. Auf diese wird im Folgenden eingegangen.

Als wesentliche Änderung der DepV ergibt sich aus Artikel 2, dass die Berichtspflicht nach § 23 Abs 1 DepV nicht mehr nur bei der Langzeitlagerung von

Klärschlammmonoverbrennungsaschen entfallen kann, sondern vielmehr auch bei der Langzeitlagerung von Aschen aus der Klärschlammmitverbrennung sowie von kohlenstoffhaltigen Rückständen. Die Ausnahme von der Berichtspflicht ist auf solche Aschen bzw. kohlenstoffhaltigen Rückstände beschränkt, welche zu dem Zweck einer späteren Phosphorrückgewinnung in einem Langzeitlager abgelagert wurden bzw. werden. Weitere Anforderungen an den Betrieb und die Errichtung von Langzeitlagern nach DepV können Abschnitt 2.2.3.3 entnommen werden.

2.2.2.1 Berichtspflicht für Betreiber einer Abwasserbehandlungsanlage

Gemäß Artikel 4 zu § 3a AbfKlärV müssen Klärschlammherzeuger, welche im Kalenderjahr 2023 eine Abwasserbehandlungsanlage betrieben haben, der zuständigen Behörde bis spätestens 31. Dezember 2023 einen Bericht über die zukünftigen Maßnahmen zur Erfüllung der ab 2029 bzw. 2032 gelten Phosphorrückgewinnungspflicht, zum Ein- und Aufbringen des Klärschlammes in den Boden sowie des sonstigen Entsorgungsweg im Sinne des KrWG vorlegen. Klärschlammherzeuger, welche eine Abwasserbehandlungsanlage nach dem 31. Dezember 2023 in Betrieb nehmen, sind zur Berichtvorlage spätestens sechs Monate nach Inbetriebnahme der Abwasserbehandlungsanlage verpflichtet. Nach § 32 Abs. 1 AbfG LSA sind hier regelmäßig die unteren Abfallbehörden zuständig.

Neben den zukünftigen Entsorgungswegen und den Maßnahmen der Phosphorrückgewinnung haben die Klärschlammherzeuger in dem Bericht den Phosphorgehalt sowie den Gesamtgehalt an basisch wirksamen Stoffen (angegeben als Calciumoxid) der anfallenden Klärschlämme, aus Untersuchungen, welche im Kalenderjahr 2023 oder maximal ein Jahr zuvor durchgeführt wurden, anzugeben. Die Untersuchung der Klärschlammprobe auf den Phosphorgehalt sowie die Summe der basisch wirkenden Stoffe ist im Kalenderjahr 2027 zu wiederholen und der Behörde spätestens vier Wochen nach Durchführung der Untersuchung vorzulegen. Für Klärschlammherzeuger, welche nach dem 31. Dezember eine Abwasserbehandlungsanlage in Betrieb nehmen, gelten die allgemeinen Vorgaben zur Vorlage des Berichtes entsprechend.

Für die Berichtserstellung gibt es in der AbfKlärV kein Berichtsformat. Um landes- bzw. bundesweit vergleichbare Angaben zu erhalten, wird von der LAGA im Rahmen der Vollzugshinweise zur Umsetzung der AbfKlärV ein Berichtsformat empfohlen (LAGA, 2020).¹ Zudem wurde mit Art. 4 auch § 36 der AbfKlärV (Ordnungswidrigkeiten) um die Möglichkeit der Ahndung bei Verstoß gegen die zuvor aufgeführten Berichts- und Untersuchungspflichten ergänzt.

2.2.2.2 Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung

Mit der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung wurde in Artikel 5 zu § 3a–e AbfKlärV i.V.m Artikel 6 und 8 ebenfalls eine Pflicht zur Rückgewinnung des im Klärschlamm und/oder der Klärschlammverbrennungsaschen enthaltenen Phosphors (Phosphorrückgewinnungspflicht) verankert. Zu Anforderungen an die Rückgewinnung von Phosphor wurde § 3 AbfKlärV wie folgt ergänzt:

- § 3a Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm

¹ Diese Berichtsvorlage ist als Anlage zur Vollzugshilfe auf dem Internetauftritt der LAGA (<https://www.laga-online.de/Publikationen-50-Mitteilungen.html>) als Download verfügbar.

- § 3b Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen oder kohlenstoffhaltigen Rückständen
- § 3c Untersuchungspflichten
- § 3d Nachweispflichten
- § 3e Registerführung bei Phosphorrückgewinnung

Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm

Der Klärschlammherzeuger hat den in seiner Abwasserbehandlungsanlage anfallenden Klärschlamm unmittelbar

1. einer Phosphorrückgewinnung, wenn der Phosphorgehalt im anfallenden Klärschlamm 20 g/kg TM und mehr aufweist oder
2. einer thermischen Vorbehandlung in einer Klärschlammverbrennungs- oder Klärschlammmitverbrennungsanlage

zuzuführen. Die Vorgabe gilt für Klärschlammherzeuger, welche eine Abwasserbehandlungsanlage mit einer genehmigten Ausbaugröße von mehr 100.000 EW (GK 5) betreiben, ab dem Jahr 2029 und für Klärschlammherzeuger, welche eine Abwasserbehandlungsanlage mit einer genehmigten Ausbaugröße von mehr als 50.000 EW (GK 4b) betreiben, ab dem Jahr 2032.

Durch die in § 3 Abs. 1 Nr. 1 und 2 genannten Vorgaben dürfen Klärschlammherzeuger mit Abwasserbehandlungsanlagen einer genehmigten Ausbaugröße von mehr als 100.000 EW ab dem Jahr 2029 bzw. mehr als 50.000 EW ab dem Jahr 2032 die anfallenden Klärschlämme nicht mehr bodenbezogen verwerten. Klärschlammherzeuger, welche eine Abwasserbehandlungsanlage mit einer genehmigten Ausbaukapazität von 50.000 EW und weniger betreiben, dürfen, unabhängig von Phosphorgehalt und insofern die anfallenden Klärschlämme die Grenzwerte nach § 8 AbfklärV einhalten, auch über das Jahr 2032 hinaus die in ihren Anlagen anfallenden Klärschlämme bodenbezogen verwerten oder mit Zustimmung der zuständigen Behörde einem anderen geeigneten Entsorgungsverfahren zuführen. Die Möglichkeit der bodenbezogenen Klärschlammverwertung für Abwasserbehandlungsanlagen ≤ 50.000 EW ist unzulässig, wenn der anfallende Klärschlamm im Vorfeld bereits einer Phosphorrückgewinnung unterzogen wurde.

Zur Phosphorrückgewinnung nach § 3 Abs. 1 AbfklärV ist gemäß § 3a AbfklärV ein Verfahren anzuwenden, das den gemessenen Phosphorgehalt des behandelten Klärschlammes

1. um mindestens 50 Prozent oder
2. auf weniger als 20 g/kg TM

reduziert. Vor Abschluss des Phosphorrückgewinnungsverfahrens ist gemäß § 3a Abs. 2 AbfklärV die Vermischung mit Klärschlamm, welche einen geringeren Gehalt als 20 g/kg Phosphor aufweisen, nicht zulässig (Verdünnungsverbot).

Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammverbrennungsaschen oder kohlenstoffhaltigen Rückständen

Betreiber von Klärschlammverbrennungs- und Klärschlammmitverbrennungsanlagen sind verpflichtet, die Klärschlammverbrennungsaschen oder kohlenstoffhaltigen Rückstände, die nach einer Vorbehandlung des Klärschlammes anfallen, unmittelbar

1. einer Phosphorrückgewinnung oder
2. einer stofflichen Verwertung unter Nutzung des Phosphorgehaltes der Verbrennungsasche oder kohlenstoffhaltigen Rückstands

zuzuführen. Der Betreiber einer Klärschlammverbrennungs- oder Klärschlammmitverbrennungsanlage muss dabei gemäß § 3b AbfKlärV ein Verfahren anwenden, durch das mindestens 80 % des Phosphorgehaltes der Verbrennungsasche oder des kohlenstoffhaltigen Rückstandes zurückgewonnen werden. Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung gilt nicht für Betreiber einer Klärschlammverbrennungs- oder Klärschlammmitverbrennungsanlage, welche in ihrer Anlage ausschließlich Klärschlämme mit einem Phosphorgehalt < 20 g/kg TM einsetzen. Gemäß § 3b Abs. 2 müssen Klärschlammmitverbrennungsanlagen mit Kohle oder Gas befeuert werden.

Aus § 3b Abs. 3 geht hervor, dass vor Durchführung einer Phosphorrückgewinnung nach § 3 Abs. 2 Satz 1 die Lagerung der Klärschlammverbrennungsaschen und kohlenstoffhaltigen Rückständen zulässig ist, wenn

1. eine Vermischung mit anderen Abfällen, Stoffen oder Materialien und ein oberflächiger Abfluss der Klärschlammverbrennungsasche und des kohlenstoffhaltigen Rückstandes ausgeschlossen sind und
2. die Möglichkeit einer späteren Phosphorrückgewinnung aus der Klärschlammverbrennungsasche und des kohlenstoffhaltigen Rückstandes oder die Möglichkeit einer stofflichen Verwertung unter Nutzung des Phosphorgehaltes der Klärschlammverbrennungsasche und des kohlenstoffhaltigen Rückstandes gewährleistet bleibt.

Die Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Langzeitlagern richten sich nach Teil 5 der Verordnung über Deponien und Langzeitlager. Eine Übersicht der zukünftigen Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlamm in Abhängigkeit des Phosphorgehaltes und unter Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen ist der nachfolgenden Tabelle 2-1 zu entnehmen.

Tabelle 2-1: Zukünftige Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlamm (nach DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.5, 2018)

Übersicht Entsorgungsmöglichkeiten ab 01.01.2029	Kläranlagen ≤ 100 000 EW (ab 1. Januar 2029) bzw. KA ≤ 50 000 EW (ab 1. Januar 2032)			Kläranlage > 100 000 EW (ab 1. Januar 2029) bzw. Kläranlagen > 50 000 EW (ab 1. Januar 2032)		
	< 20 g P/kg TM	≥ 20 g P/kg TM	Nach P-Abreicherung des Klärschlammes	< 20 g P/kg TM	≥ 20 g P/kg TM	Nach P-Abreicherung des Klärschlammes
Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemischen und -komposten auf und in Böden gemäß den gesetzlichen Vorgaben	✓	✓	x	x	x	x
Thermische Vorbehandlung in Klärschlamm-(Mono-)Verbrennung bzw. in anderweitigen thermischen Verfahren bzw. Klärschlamm-Mitverbrennung ausschließlich mit Kohlefeuerung bzw. Gasfeuerung	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: keine P-Rückgewinnung erforderlich ¹⁾ , Deponierung zulässig	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: entweder ≥ 80 % P-Rückgewinnung oder Langzeitlagerung oder stoffliche Verwertung unter Nutzung des Phosphorgehalts	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: keine P-Rückgewinnung erforderlich, Deponierung zulässig	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: keine P-Rückgewinnung erforderlich ¹⁾ , Deponierung zulässig	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: entweder ≥ 80 % P-Rückgewinnung oder Langzeitlagerung oder stoffliche Verwertung unter Nutzung des Phosphorgehalts	✓ Verbrennungsasche bzw. kohlenstoffhaltiger Rückstand: keine P-Rückgewinnung erforderlich, Deponierung zulässig

Übersicht Entsorgungsmöglichkeiten ab 01.01.2029	Kläranlagen ≤ 100 000 EW (ab 1. Januar 2029) bzw. KA ≤ 50 000 EW (ab 1. Januar 2032)			Kläranlage > 100 000 EW (ab 1. Januar 2029) bzw. Kläranlagen > 50 000 EW (ab 1. Januar 2032)		
	< 20 g P/kg TM	≥ 20 g P/kg TM	Nach P-Abreicherung des Klärschlammes	< 20 g P/kg TM	≥ 20 g P/kg TM	Nach P-Abreicherung des Klärschlammes
Mitverbrennungsanlage ohne Beschränkung der Brennstoffe (zum Beispiel Altholz- und Ersatzbrennstoffe)	✓	X	✓	✓	X	✓
Anderweitige Abfallentsorgung (mit Zustimmung der Behörde), z. B. Zementwerke oder thermische Abfallbehandlungsanlagen	✓ ²⁾	✓ ²⁾	✓ ²⁾	✓	X	✓

- 1) Art. 5 Nr. 4 § 3 Abs. 2 zweiter Satz AbfKlärV: „Von der Pflicht nach Satz 1 sind ausgenommen Betreiber einer Klärschlammverbrennungsanlage und Betreiber einer Klärschlammmitverbrennungsanlage, in denen ausschließlich Klärschlamm mit einem Phosphorgehalt von weniger als 20 g je kg TM eingesetzt wird.“
- 2) Art. 5 Nr. 4 § 3 Abs. 3 AbfKlärV: „Abweichend von Absatz 1 kann der Klärschlammherzeuger, der eine Abwasserbehandlungsanlage mit einer genehmigten Ausbaugröße von bis zu 100 000 Einwohnerwerten (bzw. nach Änderung mit Artikel 6: „bis zu 50 000“) betreibt, den in dieser Anlage anfallenden Klärschlamm unabhängig vom Phosphorgehalt nach Maßgabe der in den Teilen 2 und 3 genannten Anforderungen auf oder in Böden verwerten oder nach Zustimmung der zuständigen Behörde einer anderweitigen Abfallentsorgung im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zuführen.“

2.2.3 Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost (Klärschlammverordnung – AbfKlärV)

2.2.3.1 Anwendungsbereich, Adressaten und Grundpflichten

Mit der Novelle der Klärschlammverordnung, Ausfertigungsdatum 27. September 2017, wurden durch den Gesetzgeber weitreichende Vorgaben und Anforderungen an „[...]“

1. das Auf- und Einbringen von Klärschlamm, eines Klärschlammgemischs und Klärschlammkompost zur Verwertung auf oder in einen Boden
 - mit landwirtschaftlicher Nutzung,
 - bei Maßnahmen des Landschaftsbaus,
 - mit einer Nutzung zu fortwirtschaftlichen Zwecken und
 - mit einer Nutzung als Haus-, Nutz- oder Kleingarten,
 - die Abgabe von Klärschlamm zur Herstellung eines Klärschlammgemisches oder eines Klärschlammkompostes,
 - die Abgabe von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost zur stofflichen Verwertung durch Auf- oder Einbringen auf oder in einen Boden (Verfahren nach § 1 Abs. 1 AbfKlärV),
 - die Behandlung und Untersuchung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch oder Klärschlammkompost sowie
 - die Untersuchung des Bodens, auf oder in den Klärschlamm, ein Klärschlammgemisch oder Klärschlammkompost auf- oder eingebracht werden soll [...].“

eingeführt. Die Verordnung gilt für Klärschlammherzeuger, Gemischhersteller, Komposthersteller, Klärschlammnutzer, Träger der Qualitätssicherungen im Sinne des § 12 Abs. 5 KrWG, Qualitätszeichennehmer im Sinne des § 12 Abs. 2 KrWG sowie Beförderer.

Grundsätzlich ist der Klärschlammherzeuger gemäß § 3 Abs. 1 AbfKlärV zur möglichst hochwertigen Verwertung des anfallenden Klärschlammes verpflichtet. Unabhängig davon gilt das Erfordernis der wirtschaftlichen und technischen Zumutbarkeit. Ausgenommen von der Verordnung sind Abwasserschlämme, welche in Anhang 1 der Bioabfallverordnung genannt werden, insofern das behandelte Abwasser industriellen Ursprungs ist und die Abwasserschlämme die Bestimmungen der Bioabfallverordnung einhalten.

2.2.3.2 Anforderungen an die Verwertung von Klärschlamm, Klärschlammgemisch und Klärschlammkompost auf und in Böden

Die novellierte AbfKlärV enthält Untersuchungsverpflichtungen, welche vorrangig an den Klärschlammherzeuger gerichtet sind. Diese gelten sowohl für den Boden, in oder auf den erstmalig ein Klärschlamm, Klärschlammgemisch oder Klärschlammkompost ein- oder aufgebracht werden soll, als auch für den aufzubringenden Klärschlamm selbst.

Der Boden ist vor der erstmaligen Ein- oder Aufbringung auf die Bodenart sowie auf die in Anhang 2 Nr. 4.1 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) genannten Schwermetalle

- Cadmium,
- Blei,
- Chrom,

- Kupfer,
- Quecksilber,
- Nickel und
- Zink

zu untersuchen. Ebenfalls ist der pH-Wert des Bodens zu bestimmen. In Abhängigkeit der Ausschöpfung des Grenzwertes für polychlorierte Biphenyle oder Benzo(a)pyren im auf- oder einzubringenden Klärschlamm, Klärschlammgemisch oder Klärschlammkompost ist der Boden ebenfalls auf diese organischen Schadstoffe zu untersuchen. Diese Verpflichtung tritt ein, wenn der Anteil der polychlorierten Biphenyle oder Benzo(a)pyren mehr als 70 % des vorgeschriebenen Grenzwertes beträgt (§ 4 Abs. 2 AbfklärV). Die Bodenanalyse ist alle zehn Jahre zu wiederholen.

Der Klärschlammherzeuger ist gemäß § 5 Abs. 1 AbfklärV ebenfalls verpflichtet, den Klärschlamm vor Abgabe an den Klärschlammnutzer, Gemisch- und/oder Komposthersteller auf die folgenden Parameter zu untersuchen

- Schwermetalle (Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Thallium, Zink),
- Summe der organischen Halogenverbindungen als adsorbierte organisch gebundene Halogene,
- Gesamtstickstoffgehalt,
- Phosphorgehalt,
- Trockenrückstand,
- Organische Substanz,
- Gehalt an basisch wirksamen Stoffen (bewertet als Calciumoxid),
- Eisengehalt und
- pH-Wert.

Die Untersuchung des Klärschlammes auf die zuvor genannten Parameter hat je angefangenen 250 Tonnen Trockenmasse, höchstens jedoch einmal monatlich zu erfolgen. Kleine Abwasserbehandlungsanlagen, welche jährlich 750 Tonnen Klärschlamm Trockenmasse oder weniger erzeugen, müssen die Untersuchung des Klärschlammes mindestens alle drei Monate durchführen.

In § 6 Abs. 1 und 2 AbfklärV wurde für Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von < 1.000 EW eine Ausnahmeregelung geschaffen. Diese müssen die Untersuchungen nach § 5 Abs. 1 lediglich alle zwei Jahre durchführen. Die zuständige Behörde kann den Zeitraum auf minimal 6 Monate und maximal vier Jahre verkürzen bzw. verlängern. Zusätzlich ist gemäß § 5 Abs. 2 AbfklärV die Untersuchung der abzugebenden Klärschlämme auf die organischen Schadstoffe

- polychlorierte Biphenyle,
- polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF), einschließlich dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle,
- Benzo(a)pyren und
- polyfluorierte Verbindungen mit den Einzelsubstanzen Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)

durch den Klärschlammherzeuger mindestens alle zwei Jahre durchzuführen. Die Untersuchungspflicht nach § 5 Abs. 2 kann bei Auf- oder Einbringen des Klärschlammes auf landwirtschaftlich genutzte Böden mit Zustimmung der zuständigen landwirtschaftlichen Behörde für Kläranlagen < 1.000 EW sogar gänzlich entfallen (§ 6 Abs. 2 AbfKlärV). Wird aus dem Klärschlamm ein Gemisch oder ein Kompost hergestellt, gelten gemäß § 5 Abs. 3 AbfKlärV die zuvor genannten boden- und klärschlammbezogenen Untersuchungspflichten ebenfalls für den Gemisch- und/oder Komposthersteller. Die Untersuchungen sind je angefangene 500 Tonnen Trockenmasse durchzuführen.

Die bodenbezogenen Grenzwerte nach § 7 AbfKlärV basieren auf Anhang 2 Nr. 4.1 und 4.2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV). Die klärschlammbezogenen Grenzwerte wurden durch die Novelle der AbfKlärV mit den Grenzwerten aus der Düngemittelverordnung (DüMV) harmonisiert. Die in Tabelle 2-2 aufgeführten klärschlammbezogenen Grenzwerte für

- Schwermetalle (außer Kupfer),
- Summe organischer Halogenverbindungen als adsorbierte organisch gebundene Halogene (AOX)
- Benzo(a)pyren sowie
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)

sind durch Anlage 2 Tabelle 1.4 Spalte 4 DüMV vorgegeben. Als maximal zulässiger Höchstgehalt für Kupfer gilt gemäß § 8 AbfKlärV der Grenzwert nach Anlage 1 Abschnitt 4.1 Nr. 4.1.1 Spalte 6 Abs. 2 DüMV. Neben den Grenzwerten aus der DüMV sind in Anlage 1 der AbfKlärV weiterhin zusätzlich Grenzwerte für

- Zink
- Summe organischer Halogenverbindungen als adsorbierte organisch gebundene Halogene (AOX)
- Benzo(a)pyren sowie
- Polychlorierte Biphenyle (PCB)

aufgeführt. Die nachfolgende Tabelle 2-2 zeigt eine Übersicht der Untersuchungsparameter nach § 7 und 8 AbfKlärV mit den dazugehörigen Grenzwerten:

Tabelle 2-2: Boden- und klärschlammbezogene Grenzwerte nach § 7 und 8 AbfKlärV

Parameter	Boden			Klärschlamm
	Sand	Ton	Lehm/Schluff	
	[mg/kg Trockenmasse (TM)]			
Kupfer	20	60	40	900
Zink	60	200	150	4.000
Blei	40	100	70	150
Cadmium	0,4	1,5	1	1,5
Chrom	30	100	60	–
Chrom VI	–	–	–	2,0
Nickel	15	70	50	80
Quecksilber	0,1	1	0,5	1,0
Arsen	–	–	–	40
Thallium	–	–	–	1,0
	Humusgehalt > 8 %		Humusgehalt ≤ 8 %	
AOX	–		–	400
Polychlorierte Biphenyle (PCB, 6 Kongenere)	0,1		0,05	0,1
Summe der Dioxine und dl-PCB (WHO-TEQ 2005)	–		–	30 ng*
Benzo(a)pyren	1,0		0,3	1,0
Perfluorierte Tenside (Summe PFOA und PFOS)	–		–	0,1

* ng = Nanogramm

2.2.3.3 Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV)

Aschen aus der Klärschlammverbrennung und Mitverbrennung von Klärschlämmen können zum Zweck einer späteren Phosphorrückgewinnung aus den Rückständen der Verbrennung in einem Langzeitlager abgelagert werden.

§ 2 Nr. 22 DepV legt fest, dass Langzeitlager eine Anlage zur Lagerung von Abfällen nach § 4 Abs. 1 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) i.V.m. Anhang 1 Nummer 8.14 der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) sind. Dies bedeutet, dass die Errichtung und der Betrieb von Langzeitlagern, im Gegensatz zu einer Deponie, einer immissionsschutzrechtlichen Genehmigung bedarf.

Die Anforderungen an Langzeitlager werden durch Teil 5 der DepV festgeschrieben. Gemäß § 23 Abs 1 gelten für die Errichtung und den Betrieb von Langzeitlagern die Vorschriften entsprechend:

- für die Klassen 0, I, II oder III der § 3 Absatz 1, 3 und 4, die §§ 4 bis 6, § 7 Absatz 1 sowie die §§ 8, 9, 12, 13 und 18,
- für die Klasse IV der § 3 Absatz 2 und 3, die §§ 4 bis 6, § 7 Absatz 2 sowie die §§ 8, 9, 12, 13 und 18

Bei Aschen aus der Verbrennung und Mitverbrennung von Klärschlämmen sowie kohlenstoffhaltigen Rückständen aus der Vorbehandlung von Klärschlämmen durch vergleichbare thermische Verfahren, welche zum Zwecke einer späteren Phosphorrückgewinnung und ohne die Vermischung mit anderen Abfällen in einem Langzeitlager abgelagert werden, kann auf Antrag eine Ausnahme von der Nachweispflicht,

darüber, dass die ordnungsgemäße und schadlose Verwertung oder gemeinwohlverträgliche Beseitigung gesichert ist (§ 23. Abs. 1 Satz 2), erfolgen. Die Ausnahme ist auf maximal fünf Jahre zu befristen, kann aber befristet verlängert werden.

In § 24 Abs. 2 DepV sind die Anforderungen an einen Sachverständigen für die Überprüfung der Einhaltung der Anforderungen des § 5 Abs. 3 Nr. 1 BImSchG, wonach auch nach Betriebseinstellung von dem Langzeitlager bzw. dessen Grundstück keine schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft hervorgerufen werden dürfen, geregelt.

2.2.4 Düngerecht

2.2.4.1 Düngegesetz (DüngG)

Zweck des Düngegesetzes (DüngG) vom 9. Januar 2009, zuletzt geändert am 10. August 2021, ist gemäß § 1 Nr. 3 unter anderen die Gefahr für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie den Naturhaushalt vorzubeugen oder abzuwenden, die durch das Herstellen, Inverkehrbringen oder die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Pflanzenhilfsmitteln und Kultursubstraten oder durch andere Maßnahmen des Düngens entstehen können. § 3 Abs. 2 DüngG schreibt vor, dass Stoffe nach § 2 DüngG nur nach guter fachlicher Praxis angewendet werden dürfen. Das Düngen nach guter fachlicher Praxis dient der Versorgung der Pflanze mit notwendigen Nährstoffen sowie der Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit. Zur guten fachlichen Praxis gehört dabei, dass Art, Menge und Zeitpunkt der Anwendung von Stoffen nach § 2 DüngG am Bedarf der Pflanze und des Bodens ausgerichtet werden. Das DüngG ist die Grundlage für den Erlass konkreter Verordnungen wie der Dünge- und Düngemittelverordnung.

2.2.4.2 Düngeverordnung (DüV)

Die Düngeverordnung (DüV), zuerst in Kraft getreten am 26. Mai 2017 und zuletzt geändert am 10. August 2021, konkretisiert die Vorgaben des Düngegesetzes hinsichtlich der guten fachlichen Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (§ 1 Abs. 1 Nr.1). Weiterhin hat die Verordnung den Zweck, die stofflichen Risiken durch die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Pflanzenhilfsmitteln auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und andere, durch die Verordnung ausdrücklich bestimmte Flächen, zu vermindern. Das Aufbringen von Düngemitteln sowie Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten oder Pflanzenhilfsmitteln ist gemäß § 3 Abs. 4 DüV nur zulässig, wenn vor dem Aufbringen die Gehalte an Gesamtstickstoff, verfügbarem Stickstoff oder Ammoniumstickstoff und Gesamtphosphat

1. auf Grund vorgeschriebener Kennzeichnung dem Betriebsinhaber bekannt sind,
2. auf der Grundlage von Daten der nach Landesrecht zuständigen Stelle vom Betriebsinhaber ermittelt oder
3. auf Grundlage wissenschaftlich anerkannter Messmethoden vom Betriebsinhaber oder dessen Auftrag festgestellt worden sind.

Gemäß § 3 Abs. 2 i.V.m § 4 DüV muss der Betriebsinhaber vor dem Aufbringen wesentlicher Stickstoff- und Phosphatmengen den Düngbedarf der Bewirtschaftungseinheit ermitteln.

Der ermittelte Düngebedarf darf im Rahmen der Düngemaßnahme nicht überschritten werden. Bei der Aufbringung bzw. Verwendung von organischen und organisch-mineralischen Düngemitteln, einschließlich Klärschlamm, darf gemäß § 6 Abs. 4 DüV die aufgebrachte Menge einen Gesamtstickstoff von 170 Kilogramm je Hektar und Jahr nicht überschreiten. Wird Klärschlammkompost als Düngemittel aufgebracht, darf die durch das Düngemittel eingetragene Gesamtstickstoffmenge, bezogen auf den Durchschnitt aller landwirtschaftlich genutzten Flächen des Betriebes, in einem Zeitraum von drei Jahren 510 Kilogramm je Hektar nicht überschreiten. Phosphathaltige Düngemittel, einschließlich Klärschlämme, dürfen auf hochversorgten Böden ($> 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g Boden CAL-Methode}$) nur in Höhe der Phosphatabfuhr durch die Ernteprodukte für maximal drei Jahre aufgebracht werden (§ 3 Abs. 6 DüV).

Eine große Bedeutung für die Anwendung von Klärschlämmen als Düngemittel auf landwirtschaftlich genutzten Flächen haben ebenfalls die nach DüV vorgegebenen Sperrfristen und Ausbringungsbeschränkungen. Gemäß § 6 Abs. 8 und 9 DüV dürfen stickstoffhaltige Düngemittel

1. auf Ackerland ab dem Zeitpunkt, ab dem die Ernte der letzten Hauptfrucht abgeschlossen ist, bis zum Ablauf des 31. Januar,
2. auf Grünland, Dauergrünland und Ackerland mit mehrjährigem Feldfutterbau bei der Aussaat bis zum Ablauf des 15. Mai in der Zeit vom 1. November bis zum Ablauf des 15. Januars

nicht aufgebracht werden. Gemäß § 5 Abs. 1 DüV dürfen stickstoff- oder phosphathaltige Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel nicht aufgebracht werden, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder schneebedeckt ist. Seit dem 1. Januar 2021 gelten besondere Regelungen in nitratbelasteten Gebieten (so genannte „Rote Gebiete“). Insbesondere sind in diesen Gebieten folgende Regelungen zu beachten (§ 13a DüV):

- Verringerung der zulässigen Höchstmenge für Stickstoff um 20 Prozent im Vergleich zum ermittelten Bedarf,
- Obergrenze für die Ausbringung von organischen und organisch-mineralischen Düngern in Höhe von 170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr gilt flächengenau und nicht für den Durchschnitt aller Flächen,
- Erweiterung der Sperrfrist für die Ausbringung von Kompost vom 01.11 bis 31.01.

Stickstoffdüngung im Spätsommer/Herbst zu Winterraps, Wintergerste oder Zwischenfrüchte ohne Nutzung ist verboten. Für Winterraps gilt dieses Verbot nicht, wenn durch Bodenuntersuchung nachgewiesen ist, dass der verfügbare Stickstoffgehalt im Boden 45 kg/ha nicht überschreitet. Stickstoffdüngung zu Sommerkulturen (Aussaat im Frühjahr) darf nur erfolgen, wenn im Herbst des Vorjahres eine Zwischenfrucht angebaut wurde.

2.2.4.3 Verordnung über zusätzliche düngerechtliche Vorschriften im Land Sachsen-Anhalt (DüngeRZusV ST)

Die Verordnung über zusätzliche düngerechtliche Vorschriften im Land Sachsen-Anhalt, mit Ausfertigungsdatum vom 8. Januar 2021, nimmt Bezug auf § 13a DüV. Gemäß § 1 werden die mit Nitrat belasteten sowie die mit Phosphor eutrophierten Gebiete nach § 13a Abs. 1 DüV im Sachsen-Anhalt Viewer, dem webbasierten Geodaten-Viewer des Landesamtes für

Vermessung und Geoinformation, ausgewiesen. Die Überprüfung der Ausweisung der Gebiete sowie mögliche Änderungen erfolgen in den Folgejahren jeweils zum 1. Januar.

2.2.4.4 Düngemittelverordnung (DüMV)

Die seit dem Jahr 2012 geltende DüMV regelt insbesondere, unter welchen Voraussetzungen Klärschlamm als Düngemittel in Verkehr gebracht werden darf. Zulässige Ausgangsstoffe sind ausschließlich Klärschlämme gemäß AbfKlärV. Zum einen für die Herstellung von Phosphatdünger aus Aschen der Klärschlammverbrennung (Anlage 2 Tabelle 6.2 Nr. 6.2.3 DüMV) und zum anderen für die direkte stoffliche Verwertung der Klärschlämme (Anlage 2 Tabelle 7 Nr. 7.4.3 und Tabelle 8 Nr. 8.1.3 DüMV). Dabei sind insbesondere folgende Vorgaben und Hinweise zu beachten:

- Zugabe von Kalk nur in einer Qualität, die zugelassenen Düngemitteln entspricht.
- Zugabe von Bioabfällen, nur im Rahmen der Aufbereitung (z. B. im Faulturm) und nur in einer Qualität, die der Bioabfallverordnung entspricht.
- Aufbereitung der Ausgangsstoffe nur mit Stoffen, die der notwendigen Abwasser- und Schlammbehandlung einschließlich Hygienisierung oder sonstigen notwendigen Behandlung dienen. Werden Polymere eingesetzt, die sich um weniger als 20 % in zwei Jahren abbauen, gilt eine Obergrenze von 45 kg Wirksubstanz je Hektar innerhalb von 3 Jahren. Der so behandelte Klärschlamm ist mit einer entsprechenden Anwendungsvorgabe zu kennzeichnen. Für Polymere auf Basis von Chitin oder Stärke gelten diese Anwendungs- und Kennzeichnungsvorgaben nicht.
- Keine Rückführung von Rechengut, Sandfanggut; keine Rückführung von Flotaten oder Fettabscheiderinhalten aus fremden Kläranlagen (jeweils auch nicht im Rahmen der Schlammaufbereitung). Angabe der bei der Aufbereitung zugegebenen Stoffe und des jeweiligen Zwecks der Zugabe (z. B. zur Konditionierung, Hygienisierung, Fällung), bei der Zugabe von Kalken Angabe des zugegebenen Anteils in Prozent.

2.2.4.5 Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)

Die StoffBilV ist seit dem 01.01.2018 in Kraft. Sie regelt die Anforderungen für die gemäß § 11a Abs. 2 DüngG zu erstellenden betrieblichen Stoffstrombilanzen. Zu bilanzieren sind die Nährstoffmengen an Stickstoff und Phosphor, die dem Betrieb durch die verschiedenen Einsatzstoffe, Tiere, Saatgut usw. zugeführt werden und die er als landwirtschaftliche und tierische Erzeugnisse, Düngemittel usw. abgibt. Die mit Klärschlämmen oder Klärschlammkomposten dem landwirtschaftlichen Betrieb zugeführte Nährstoffmenge ist in der Stoffstrombilanz zu berücksichtigen.

2.2.5 Immissionsschutzrecht

2.2.5.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV)

Anlagen zur Behandlung von Klärschlämmen (Mono- und Mitverbrennungsanlagen, Kompostierungs- und Vergärungsanlagen) sowie Langzeitlager sind nach Immissionsschutzrecht zu genehmigen. Das BImSchG unterscheidet in Genehmigungsverfahren mit und ohne Öffentlichkeitsbeteiligung (vereinfachtes Verfahren). In der 4. BImSchV ist in Abhängigkeit von Anlagenart sowie Durchsatz- bzw.

Gesamtlagerkapazität festgelegt, welches Verfahren anzuwenden ist. Darüber hinaus unterliegen diese Anlagen bzw. Langzeitlager ab einer bestimmten in der 4. BImSchV festgelegten Kapazität der Industrieemissions-Richtlinie (IED-Anlage). IED-Anlagen haben insbesondere die Schlussfolgerungen zu den besten verfügbaren Techniken (BVT), die das zu berücksichtigende, branchenbezogene BVT-Merkblatt zusammenfasst, einzuhalten. Mit der Einstufung als IED-Anlage gehen zudem erweiterte Berichts- und Kontrollpflichten einher.

2.2.5.2 Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen (17. BImSchV)

Die 17. BImSchV legt die Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Anlagen fest, in denen u.a. Klärschlämme verbrannt bzw. mitverbrannt werden. Die Verordnung legt Grenzwerte für die Emissionen an Gesamtstaub, Schwefeloxiden, Halogenen, Stickstoffoxiden, Quecksilber, Kohlenmonoxid, organische Verbindungen und Schwermetallen fest. Darüber hinaus ist festgelegt, dass die Emissionen kontinuierlich zu überwachen und an die zuständige Behörde zu übermitteln sind. Um eine sichere Zerstörung organischer Schadstoffe zu gewährleisten, ist beim Verbrennungsvorgang eine Nachverbrennungstemperatur von 850°C für zwei Sekunden (nach der letzten Verbrennungsluftzuführung) einzuhalten. Der Organikgehalt der Verbrennungsaschen muss 3 % TOC bzw. 5 % Glühverlust unterschreiten. Darüber hinaus sind Anforderungen an

- die Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen,
- die Bekämpfung von Brandgefahren,
- die Behandlung von Abfällen und
- die Nutzung der entstehenden Wärme.

festgelegt.

2.2.5.3 Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)

Als erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz enthält die TA Luft Anforderungen an die Durchführung von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren sowie die Immissionen und Emissionen von Luftschadstoffen durch immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen. Zudem beschreibt die TA Luft Regelungen für bestimmte Anlagenarten. Dies betrifft folgende für die Behandlung von Klärschlämmen relevante Anlagenarten:

- Verbrennungsanlagen
- Anlagen zur Erzeugung von Kompost aus organischen Abfällen
- Anlagen zur biologischen Behandlung von Abfällen (insbesondere Vergärungsanlagen)
- Anlagen zum Trocknen von Klärschlamm
- Langzeitlager.

3 Technische Grundlagen

Die prinzipiellen Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung und -verwertung zeigt Abbildung 1. Die einzelnen Behandlungs- und Verwertungsschritte werden nachfolgend erläutert.

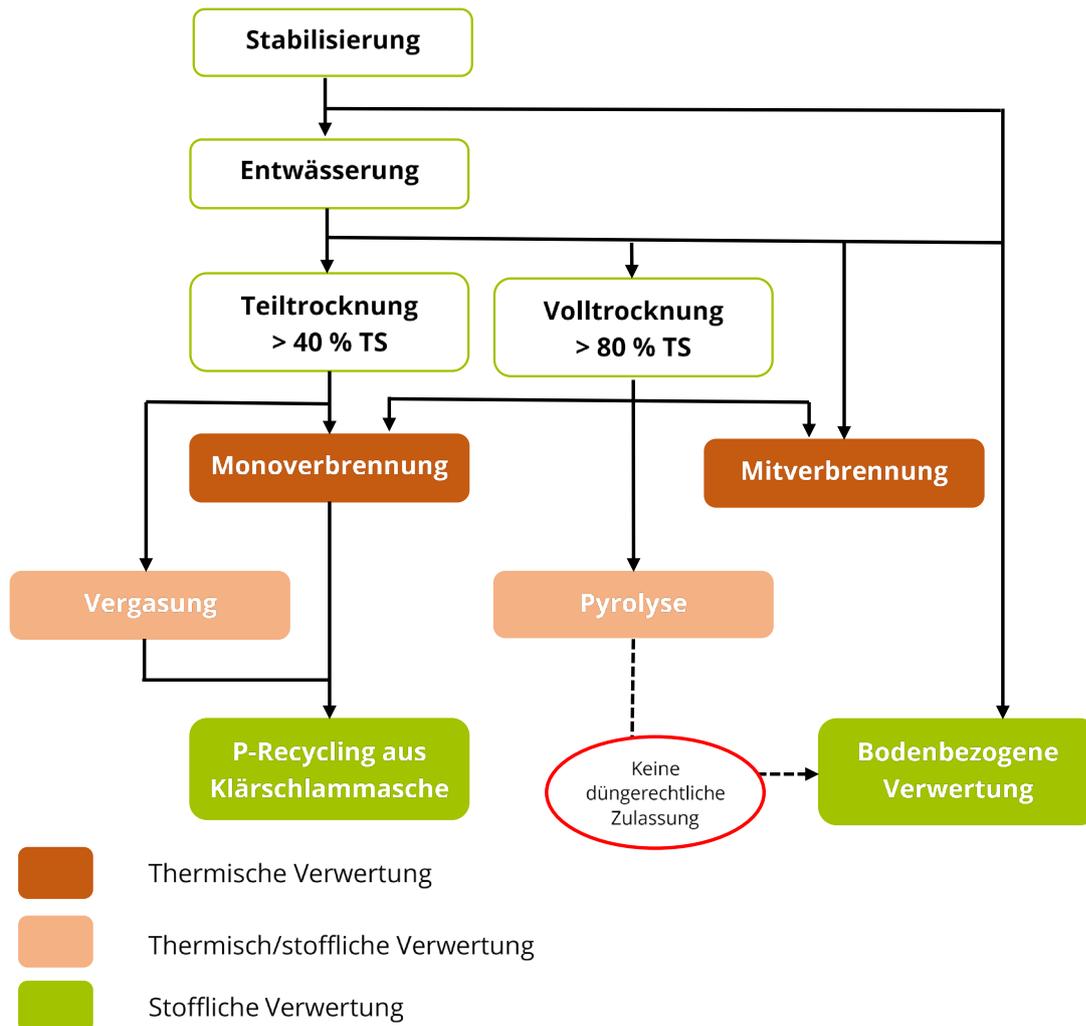


Abbildung 1: Prinzipielle Möglichkeiten der Klärschlammbehandlung und -verwertung (nach DWA KEK-1.4, 2016)

3.1 Klärschlammbehandlung im Rahmen der Abwasserbehandlung

3.1.1 Schlammstabilisierung (aerob/anaerob)

Die Stabilisierung des Klärschlammes dient dem Abbau der organischen Substanz. Durch die Verringerung der biologischen Aktivität werden insbesondere Geruchsprobleme vermieden. Auch die Entwässerbarkeit des Klärschlammes wird gesteigert. Grundsätzlich werden zwei Grundprinzipien unterschieden:

- simultane aerobe Schlammstabilisierung
- separate anaerobe Schlammstabilisierung (mit und ohne Faulgasnutzung)

Die simultane aerobe Stabilisierung spielt insbesondere für kleinere Kläranlagen eine Rolle. Die Stabilisierung erfolgt gemeinsam mit der Abwasserbehandlung in einem Becken (simultan). Dabei wird die organische Substanz durch die Zugabe von Luft (Sauerstoff) abgebaut. In größeren Anlagen hat sich die separate anaerobe Stabilisierung (Klärschlammfäulung) durchgesetzt. Der zuvor eingedickte Klärschlamm wird in

Faulbehältern unter Luftabschluss einem anaeroben Abbau unterzogen. Dabei entsteht ein Faulgas, welches zu ca. zwei Dritteln aus Methan, einem Drittel Kohlendioxid sowie geringen Mengen Wasserstoff, Schwefelwasserstoff sowie Ammoniak ($< 20 \text{ mg/Nm}^3$) und Siliciumverbindungen ($< 30 \text{ mg/Nm}^3$) entstehen besteht. Vorteile dieses Verfahrens sind, dass das entstehende Faulgas z. B. in Blockheizkraftwerken zur Energiegewinnung (Strom, Wärme) eingesetzt werden kann sowie der aufgrund des geringeren Schlammalters reduzierte Energieverbrauch.

3.1.2 Entwässerung

Die Entwässerung des Klärschlammes dient insbesondere der Einsparung von Transport- und Entsorgungskosten sowie der Ressourcenschonung aufgrund der Volumenreduktion und Heizwerterhöhung des zu behandelnden Klärschlammes. Des Weiteren wird der Klärschlamm stichfest und dadurch besser handhabbar als flüssiger Klärschlamm. Die Entwässerbarkeit des Klärschlammes hängt insbesondere von den unterschiedlich gebundenen Wasseranteilen im Klärschlamm ab. Man unterscheidet nach ATV (1996)

- freies Wasser (nicht gebundenes Wasser in Zwischen- bzw. Hohlräumen)
- Zwischenraumwasser (durch Kapillarkräfte an der Flocke gebunden)
- Oberflächenwasser (durch Adhäsionskräfte gebunden)
- Zellinnenwasser (Adsorptions- und Innenwasser)

Während freies Wasser durch Eindickung mittels Schwerkraft und Zwischenraumwasser durch mechanische Entwässerung abgetrennt werden können, ist für die Entfernung des Oberflächen- und Zellinnenwassers eine thermische Trocknung (siehe Abschnitt 3.2.1) erforderlich. Für die Entwässerung muss der Klärschlamm vorbehandelt werden. Elektrostatische Abstoßungskräfte aufgrund negativer Oberflächenladungen behindern die Sedimentation der Klärschlammteilchen. Folgende Verfahren werden angewendet:

- chemische Konditionierung (häufigste Form, Zugabe anorganischer oder organischer Flockungshilfsmittel)
- thermische Konditionierung (Gefrierbehandlung (wird nicht angewendet), Hitzebehandlung)
- mechanische Verfahren (Zugabe von Strukturmaterialien, wie Asche oder Kohle; kaum angewendet)

Die Entwässerung des konditionierten Klärschlammes erfolgt durch Schwerkraft (Dekanter, Zentrifuge) oder mittels Druck (Bandfilter-, Kammerfilter- oder Horizontal-Hydraulik-Filterpresse, Schneckenpresse). Durch diese Verfahren werden üblicherweise Trockenrückstände (TR) von 25 bis 30 % erreicht. Durch Polymer- bzw. Kalk-/Eisen-Konditionierung können mittels Kammerfilterpresse auch bis zu 40 % erreicht werden. (Schaum u. Lux, 2011). Größere Kläranlagen verfügen i.d.R. über eigene stationäre Entwässerungsanlagen. Kleinere Kläranlagen übergeben den anfallenden Klärschlamm an größere Anlagen mit stationärer Entwässerungsanlage. Zuweilen kommen mobile Entwässerungsanlagen zum Einsatz, die jeweils zeitweise auf verschiedenen Kläranlagen betrieben werden. Soweit die Entwässerung des Klärschlammes im Zusammenhang mit der Abwasserbehandlung (also auf der Kläranlage) erfolgt, unterfällt sie gemäß § 54 Abs. 2 WHG dem Wasserrecht und ist noch kein Verfahrensschritt der Abfallbehandlung.

3.2 Klärschlamm Entsorgung

3.2.1 Klärschlamm Trocknung

Insbesondere für thermische Entsorgungsverfahren bietet sich die Trocknung des entwässerten Klärschlammes an. Durch die Trocknung von Klärschlämmen lassen sich Trockenrückstände (TR) von 40 bis 95 % erzielen. Dadurch werden Volumen und Masse der Klärschlämme nochmals erheblich reduziert, was zu einer Verringerung der Transportaufwendungen führt und zum anderen den Heizwert der Klärschlämme erhöht. Zudem sind getrocknete Klärschlämme besser lager-, förder- und dosierbar. Aufgrund des niedrigen Wassergehalts ist die mikrobiologische Aktivität reduziert und die Schlämme sind je nach Trocknungsgrad weitgehend hygienisiert. Nach LfU (2019) ist Klärschlamm

- von 35 bis 60 % TR klebrig,
- von 60 bis 85 % TR fest und streufähig und
- von 85 bis 95 % TR feinkörnig mit Staubanteil.

Die klebrige Phase sollte aus verfahrenstechnischen Gründen vermieden werden, da sie zu Anbackungen in den Förderaggregaten führt. Die Trocknungsverfahren lassen sich prinzipiell in direkte (Konvektionstrockner) und indirekte (Kontaktstrockner) Verfahren sowie Strahlungstrockner unterscheiden. Eine direkte Trocknung ist dann gegeben, wenn der Wärmeträger (bspw. Heißluft, Dampf, Rauchgas) in direktem Kontakt mit dem Klärschlamm steht und das darin enthaltene Wasser verdampft. Die dabei entstehenden Brüden müssen aufbereitet werden. Direkte Trocknungsverfahren werden bspw. in Trommeltrocknern, Bandtrocknern oder Wirbelschichttrocknern genutzt. Bei der indirekten Trocknung wird die Oberfläche des Trockners durch einen Wärmeträger (bspw. Thermalöl), welcher erhitzt wird, erwärmt. Der Wärmeübergang vom Wärmeträger auf den Klärschlamm erfolgt somit indirekt über die Oberfläche des Trockners. Dieses Verfahren wird bspw. in Scheiben-, Dünnschicht-, Schnecken-, Knet- und auch in Wirbelschichttrocknern angewendet.

Das nach Anzahl der installierten Anlagen häufigste Trocknungsverfahren in Deutschland ist die solare Trocknung mit oder ohne externe Wärmezufuhr (grundsätzlich Abwärme). 90 von 203 Anlagen (Stand 2018, UBA (2018)) nutzen dieses Verfahren. Aufgrund der längeren Verweilzeiten des Klärschlammes in diesen Anlagen ist deren Kapazität jedoch geringer als es die Anzahl der Anlagen vermuten lässt.

3.2.2 Bodenbezogene Verwertung (inkl. sonstiger Behandlung)

Die bodenbezogene Verwertung umfasst sowohl die bodenbezogene als auch die landbauliche Verwertung. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die bodenbezogene Verwertung regeln das Kreislaufwirtschaftsrecht (siehe Abschnitt 2.2) und das Düngerecht (siehe Abschnitt 2.2.4). Die bodenbezogene Verwertung kann entweder durch direkte Ausbringung des hygienisierten Klärschlammes erfolgen oder der Klärschlamm wird als Ergebnis eines Kompostierungs-, Co-Vergärungs- oder Vererdungsverfahrens ausgebracht.

Durch Kompostierung von Klärschlämmen, Co-Vergärung und Vererdung entstehen Substrate, welche in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau bzw. der Rekultivierung Verwendung finden können. Durch die biologische Behandlung wird der Klärschlamm stabilisiert. Bei der Kompostierung wird die organische Substanz unter Luftzufuhr (aerob) teilweise abgebaut bzw. mineralisiert. Zudem wird durch die Selbsterwärmung während des

Kompostierungsvorgangs Wasser verdampft und der Klärschlamm dadurch getrocknet und hygienisiert.

Bei der Co-Vergärung wird Klärschlamm gemeinsam mit anderen organischen Substraten in einem ersten Schritt unter Luftabschluss (anaerob) behandelt. Dies kann in landwirtschaftlichen Biogasanlagen oder Abfallvergärungsanlagen erfolgen. Dabei wird Biogas erzeugt, welches energetisch verwertet werden kann. Je nach Prozesstemperatur findet eine Hygienisierung statt. Der nach der anaeroben Phase anfallende Gärrest kann in eine feste und eine flüssige Phase separiert werden. Der feste Gärrest wird üblicherweise kompostiert oder getrocknet, wodurch das Material ebenfalls hygienisiert wird. Die flüssige Phase kann durch verschiedene Methoden (Filtration, Membrantechnik, Eindampfen) zu Flüssigdünger weiterverarbeitet werden. Von diesen Prozessen zu unterscheiden ist die Faulung von Klärschlämmen bzw. die Co-Vergärung von Klärschlämmen mit externen organischen Substraten auf Kläranlagen, welche noch Teil der Abwasserbehandlung ist.

Bei der Vererdung wird Klärschlamm in Schilfbeete eingebracht. Das im Klärschlamm enthaltene Wasser wird zusammen mit Niederschlagswasser über Drainagen zur Kläranlage geleitet bzw. teilweise über die Blattoberflächen verdunstet. Durch die Nährstoffaustauschvorgänge im Wurzelbereich findet eine Mineralisierung der organischen Substanz statt, in deren Ergebnis eine Klärschlamm Erde entsteht. Je nach Volumen der Vererdungsbeete lagert der Klärschlamm dort mehrere Jahre. Dabei werden Massereduktionen bis zu 50 % und Volumenreduktionen von mehr als 90 % erreicht (Wehlberg, 2000). Die Vererdung verursacht geringere Kosten als maschinelle Entwässerungsverfahren, allerdings hat sie durch die langfristige Lagerung einen erheblichen Flächenverbrauch. Vorteilhaft ist zudem, dass im Gegensatz zur mechanischen Entwässerung auf synthetische Polymere verzichtet werden kann. Neben der bodenbezogenen Verwertung ist auch eine Verbrennung der Klärschlamm erden möglich. Die produzierten Klärschlammkomposte, -gärreste bzw. -erden können direkt ausgebracht oder zu Düngern aufbereitet werden, welche an den Bedarf der Abnehmer angepasst sind.

Die Ausbringung von Klärschlamm oder Gärresten aus der Co-Vergärung erfolgt je nach Entwässerungsgrad mit herkömmlicher landwirtschaftlicher Technik, wie Gülleausbringungstechnik oder mit Miststreuern. Klärschlammkompost und Klärschlamm Erde können mittels Miststreuern ausgebracht werden. Die anschließende Einarbeitung erfolgt mit der in der Landwirtschaft üblichen Bodenbearbeitungstechnik. Aufgrund der Schadstoffgehalte und auch der Verknappung geeigneter Ausbringungsflächen ist dieser Verwertungsweg allerdings bundesweit rückläufig.

3.2.3 Mitverbrennung

Die Mitverbrennung von Klärschlämmen erfolgt in Braun- und Steinkohlekraftwerken, Zementwerken und thermischen Abfallbehandlungsanlagen.

Der Einsatz von Klärschlämmen in Kohlekraftwerken erfolgt in Staubfeuerungsanlagen oder in Anlagen mit zirkulierender Wirbelschicht. Für den Einsatz als Brennstoff sind sowohl entwässerte (Staubfeuerung) als auch teil- oder vollgetrocknete (Wirbelschicht) Klärschlämme geeignet. Die Aufgabe des Klärschlamm erfolgt bei der Staubfeuerung über den Fallschacht in die Kohlemühle, wo der Klärschlamm mit der Kohle gemischt, gemahlen und getrocknet wird, bzw. bei Wirbelschichtanlagen direkt in die Feuerung. Begrenzt wird der Klärschlamm Einsatz zum einen durch den Schadstoffgehalt der Klärschlämme und deren

Einfluss auf die Emissionen und den Schadstoffgehalt der Verbrennungsrückstände sowie durch den für die Trocknung erforderlichen Wärmebedarf. Aufgrund dessen ist der Klärschlammeinsatz in Steinkohlekraftwerken auf 5 % und in Braunkohlekraftwerken auf 10 % der insgesamt eingesetzten Masse an Brennstoffen begrenzt. Aufgrund des vergleichsweise hohen Ascheanteils des Klärschlammes (30–50 % an der TM) zum Ascheanteil der Kohle (2,5–15 % an der TM) (Schnell u. Quicker (2020)) wird der Phosphoranteil im Vergleich zur Klärschlammmasche aus Klärschlammmonoverbrennungsanlagen (KVA) zwar halbiert, eine Phosphorrückgewinnung ist aber prinzipiell möglich. Allerdings werden vor dem Hintergrund des Kohleausstiegs keine Projekte in dieser Richtung verfolgt.

Der Klärschlammeinsatz in Zementwerken ist in den letzten Jahren gestiegen. Hintergründe sind der Rückgang der bodenbezogenen Verwertung und der im Vergleich zu anderen eingesetzten Brennstoffen wie Kohle oder Ersatzbrennstoffe geringe CO₂-Emissionsfaktor des Klärschlammes. Insofern trägt der Einsatz von Klärschlamm dazu bei, die CO₂-Emissionen der Zementproduktion zu senken, indem andere Brennstoffe substituiert werden. Es können sowohl entwässerte als auch (teil-)getrocknete Klärschlämme eingesetzt werden. Der Entwässerungsgrad bestimmt die Art der Förderung und den Ort der Aufgabe des Klärschlammes in den Drehrohrofen für die Klinkerherstellung. Da die Klärschlammmasche vollständig in den Klinker eingebunden wird, erfolgt eine vollständige stoffliche Verwertung des Klärschlammes. Nachteilig ist dabei jedoch, dass der im Klärschlamm enthaltene Phosphor dadurch nicht zurückgewonnen werden kann. Allerdings führen hohe Gehalte an oxidiertem Phosphor im Klinker dazu, dass dessen Festigkeitseigenschaften verschlechtert werden. Die Zementindustrie ist insofern daran interessiert, möglichst phosphorarme Klärschlämme zu verbrennen und unterstützt aus diesem Grund die Verfahren zur Phosphoreliminierung auf den Kläranlagen. Ausschlaggebend für den Einsatz von Klärschlämmen sind auch deren Schwermetallgehalte, da diese ebenfalls Einfluss auf die Qualität des erzeugten Klinkers und die Emissionen haben.

Die Mitverbrennung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen ist ebenfalls sowohl für entwässerte als auch (teil-)getrocknete Klärschlämme möglich. Überwiegend werden in Deutschland Rostfeuerungsanlagen betrieben. Im Bereich der Ersatzbrennstoffverwertung kommt auch die Wirbelschichttechnologie zum Einsatz. In beiden Verfahren können Klärschlämme eingesetzt werden. Begrenzend für den Anteil an Klärschlamm, der zugegeben werden kann, sind die Schadstoffgehalte des Klärschlammes und die daraus resultierenden Emissionen, die mögliche unvollständige Verbrennung des Klärschlammes aufgrund von Rostdurchfall in Rostfeuerungsanlagen sowie mangelhafter Ausbrand des Abfalls auf dem Verbrennungsrost aufgrund zu hohen Feuchteintrags. Eine Phosphorrückgewinnung aus den Verbrennungsrückständen ist nicht möglich.

3.2.4 Monoverbrennung

Die vorherrschende Technologie der Klärschlammmonoverbrennung ist die stationäre Wirbelschicht. Bei der Wirbelschichtverbrennung fungiert ein Sandbett als Wärmeträger, welcher die Wärmeenergie auf den Brennstoff überträgt. Das Sandbett wird durch Luftindüsung über einem Düsenboden bewegt. Der Düsenboden kann offen oder geschlossen sein. Offene Varianten ermöglichen einen Störstoffaustrag. Aufgrund der intensiven Durchmischung von Sandbett, Brennstoff und Verbrennungsluft wird ein guter

Ausbrand erreicht. Wirbelschichtanlagen werden bis zu einem Durchsatz von 100.000 t/a und Linie hergestellt.

Zunehmend rücken Drehrohröfen in den Fokus bei Anlagenplanungen. Drehrohröfen sind eine bei der Zementherstellung oder der Verbrennung von Sonderabfällen bewährte Technologie. Drehrohröfen können direkt (über Brenner innerhalb des Drehrohrs) oder indirekt (von außen) beheizt werden. Aufgrund des höheren Energiebedarfs haben Drehrohröfen wirtschaftliche Nachteile gegenüber der Wirbelschichtverbrennung. Um diese Nachteile auszugleichen, können Drehrohröfen mit thermischen Abfallbehandlungsverfahren kombiniert werden, indem sie die Abwärme der Abfallverbrennung nutzen. Eine solche Kombination wird bspw. beim EuPhoRe-Verfahren genutzt (siehe Abschnitt 3.3).

Daneben werden einzelne Anlagen betrieben, die die Verfahrensprinzipien Rostfeuerung, Etagenöfen oder Etagenwirbelöfen nutzen. In letzter Zeit werden verstärkt auch dezentrale Lösungen entwickelt, welche auf einem Downscaling der bislang eher zentralen Verbrennungstechnologien beruhen, die normalerweise auf große Durchsätze angewiesen sind, um wirtschaftlich arbeiten zu können. Zu nennen sind hier Anwendungen der Staubfeuerung oder des Drehrohröfens. Diese dezentralen Lösungen sind für große Kläranlagen oder Zusammenschlüsse mehrerer Kläranlagen geeignet. Die Wirtschaftlichkeit ist jeweils im Einzelfall zu betrachten.

3.2.5 Alternative Verfahren

Neben den etablierten Verbrennungstechnologien wurden verschiedene so genannte alternative Verfahren entwickelt, welche auf den Prinzipien der Pyrolyse, Vergasung oder hydrothermalen Carbonisierung (HTC) beruhen.

Bei der Pyrolyse werden organische Stoffe unter Luftabschluss und hohen Temperaturen (400–800°C) zersetzt. Es entsteht ein fester Rückstand (Karbonisat) und ein Pyrolysegas, welches energetisch genutzt werden kann. Einige Verfahren produzieren auch Pyrolyseöle, welche ebenfalls energetisch genutzt werden können. Ziel der Vergasung ist die Erzeugung eines Synthesegases aus organischen Substanzen unter reduzierter Sauerstoffzufuhr und hohen Temperaturen (über 800°C). Das Synthesegas kann energetisch genutzt werden. Zudem entsteht Asche als fester Rückstand.

Die hydrothermale Carbonisierung wird unter höherem Druck (bis 20 bar) und niedrigeren Temperaturen (200–250°C) betrieben als die Pyrolyse oder die Vergasung. Die organischen Substanzen werden dabei durch verschiedene Prozesse (Hydrolyse, Dehydratisierung, Decarboxylierung) zersetzt und wieder polymerisiert. Im Ergebnis entsteht ein festes Karbonisat. Allen alternativen Verfahren ist gemeinsam, dass diese entweder lediglich im Pilotmaßstab oder in Anlagen mit geringeren Durchsätzen realisiert wurden. Zudem ist die Eignung der Produkte für verschiedene Anwendungen noch klärungsbedürftig. Beispielsweise schließt das Düngerecht die Anwendung als Düngemittel derzeit aus.

3.3 Phosphorrückgewinnung

Die Phosphorrückgewinnungsverfahren setzen an verschiedenen Stellen an der Abwasserreinigung an. Zu nennen sind hier

- Rückgewinnung aus Kläranlagenablauf,
- Schlammwasser,
- Faul-/Klärschlamm

- oder Klärschlammasche.

Die Effizienz der P-Rückgewinnung ist bei vergleichsweise kleinen zu behandelnden Volumenströmen höher (siehe Tabelle 3-1), so dass eine P-Rückgewinnung aus dem Kläranlagenablauf nicht empfohlen werden kann.

Tabelle 3-1: Phosphorrückgewinnungspotenziale an verschiedenen Ansatzstellen (Pinnekamp et al., 2013)

Ansatzstelle	Volumen-/ Massenstrom	Phosphorkonzentration	Bindungsform	Rückgewinnungspotenzial
Ablauf Nachklärung	200 l/(E·d) ²	< 5 mg/l	gelöst	bis zu 55 % (wenn keine gezielte P-Elimination)
Schlammwasser	1 -10 l/(E·d)	20 - 100 mg/l	gelöst	bis zu 50 % (bei Bio-P + Klärschlamm-desintegration)
Faulschlamm	0,2 - 0,8 l/(E·d)	30 - 40 mg/l	gelöst, biologisch/chemisch gebunden	bis zu 90 %
Klärschlammasche	0,03 kg/(E·d)	60 - 80 g/kg	chemisch gebunden	bis zu 90 %

Die einzelnen Verfahren lassen sich verfahrenstechnisch in

- Kristallisations- und Fällungsverfahren,
- thermochemischen Verfahren und
- nasschemische Verfahren

unterteilen. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die Ansatzpunkte und die dafür derzeit in Entwicklung befindlichen Verfahren.

² l/(E·d) = Liter pro Einwohner und Tag

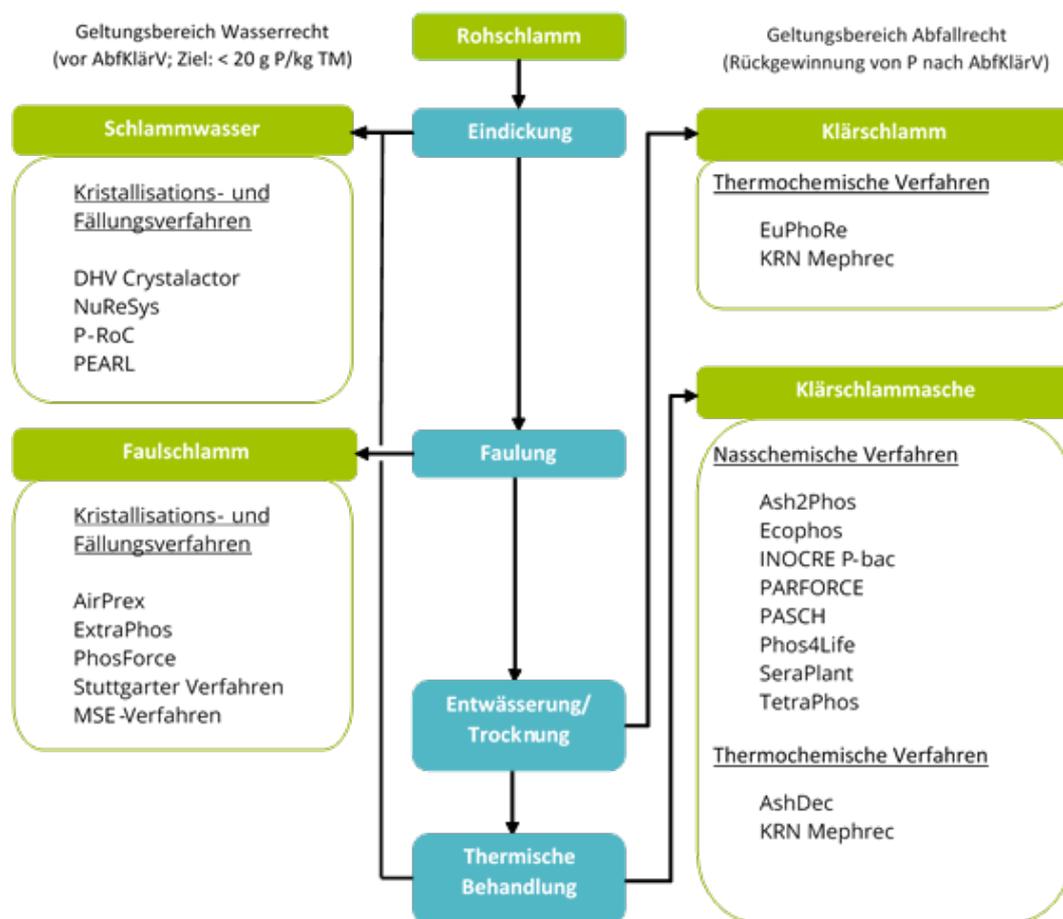


Abbildung 2: Einteilung der P-Rückgewinnungsverfahren (nach Montag et al. (2021))

3.3.1 Kristallisations- und Fällungsverfahren

Mittels Kristallisations- und Fällungsverfahren wird Phosphor aus der flüssigen Phase oder aus dem Faul-/Klärschlamm zurückgewonnen. Bezogen auf den Kläranlagenzulauf lassen sich Phosphorrückgewinnungsquoten von 5 bis 30 % erreichen (UBA, 2018). Die Verfahren werden an Stellen des Abwasserreinigungsprozesses eingesetzt, welche dem Wasserrecht und nicht dem Kreislaufwirtschaftsrecht unterliegen. Insofern können sie zwar zur Minderung des Phosphorgehaltes im Klärschlamm auf unter 20 g/kg TM eingesetzt werden, allerdings lassen sich mit diesen Verfahren nicht die Anforderungen der AbfKlärV zur P-Rückgewinnung erfüllen. Zudem führt der Einsatz von Fällmitteln zur Phosphorrückgewinnung zu einem höheren Salzeintrag in das Gewässer, welcher den Zielen der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) möglicherweise entgegenstehen kann.

3.3.2 Thermochemischer Aufschluss

Eine weitere Verfahrensart der Phosphorrückgewinnung ist der thermochemische Aufschluss, welcher bei den Faul-/Klärschlämmen bzw. der Klärschlammmasche ansetzt. Die Verfahren des thermochemischen Aufschlusses setzen in der Regel eine Monoverbrennung voraus. Sie sind technisch aufwändig und damit kostenintensiv, allerdings erreichen sie höhere Rückgewinnungsquoten von mehr als 90 %. Vorteilhaft ist zudem, dass aufgrund der bei

Verbrennungsvorgängen erreichten hohen Temperaturen organische Schadstoffe zuverlässig zerstört werden. Die Pflanzenverfügbarkeit des zurückgewonnenen Phosphors variiert je nach Verfahren und ist spezifisch zu betrachten (UBA, 2018).

3.3.3 Nasschemischer Aufschluss

Klärschlammaschen können auch nasschemisch behandelt werden, wodurch Rückgewinnungsquoten von mehr als 80 % erreicht werden können. Auch bei diesen werden organische Schadstoffe durch die vorgeschaltete thermische Behandlung zerstört. Vorteilhaft ist, dass einige Verfahren Phosphorsäure produzieren, welche ein breites Anwendungsspektrum aufweist, und damit nicht den Anforderungen der DüMV unterliegen. Um den Anforderungen der DüMV zu entsprechen, kann eine Schwermetallentfrachtung innerhalb der Prozesse erforderlich sein. Einzelne Verfahren haben dafür Lösungen implementiert.

3.3.4 Bewertung der Phosphorrückgewinnungsverfahren

In den letzten 30 Jahren wurden 50–100 Phosphatrückgewinnungsverfahren entwickelt, welche sich hinsichtlich des Ansatzes und der Verfahrenstechnik sehr ähneln. Die Zahl der Verfahren, welche im Pilotmaßstab erfolgreich getestet, großmaßstäbig umgesetzt wurden oder die Chance haben, dieses Entwicklungsstadium zu erreichen, ist deutlich geringer (Kraus et al., 2019). Zahlreiche weitere Verfahren sind zwar entwickelt worden, allerdings ist entweder die Informationsverfügbarkeit sehr begrenzt oder der gegenwärtige Entwicklungsstand (nur Labormaßstab) ist zu gering.

Mit Hilfe von systematisch aufgebauten Datenblättern (siehe Anhang 1) werden diese Verfahren genauer beschrieben. Die Datenblätter enthalten Informationen zu:

- Name des Verfahrens und Name der verfahrensentwickelnden Institution,
- Input (Ansatzpunkt),
- Verfahrenstyp,
- Rückgewinnungsrate,
- Beschreibung und schematische Darstellung des Verfahrens,
- gewonnenes Produkt,
- Vor- und Nachteile des Verfahrens,
- Entwicklungsstand sowie
- gutachterliche Bewertung der Umsetzungswahrscheinlichkeit.

Die Datenblätter bündeln Informationen aus verschiedenen Quellen (Angaben der Verfahrensentwickler, Sekundärliteratur, Datenbanken (z. B. der DPP e.V.)).

4 Datengrundlagen und Methodik der Datenerhebung

4.1 Darstellung der Herangehensweise

Zur Erstellung des Klärschlammberichtes wurde wie folgt vorgegangen:

- Zusammenstellung der rechtlichen und technischen Grundlagen
- Auswertung der Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung von Abwasserbehandlungsanlagen nach Eigenüberwachungsverordnung (EigÜVO) für das Berichtsjahr 2020

- Auswertung der verfügbaren statistischen Daten zu Anzahl der Kläranlagen und deren Betreiber, Klärschlammanfall, Klärschlammmentsorgung sowie
- Ergänzende Datenbeschaffung zu verfügbaren Entsorgungsanlagen in Sachsen-Anhalt

Die nachfolgenden Kapitel stellen den Kenntnisstand zum 14. Oktober 2022 dar. Die dargestellten Mengen und deren Entsorgungswege basieren auf der veröffentlichten Statistik, welche durch die Angaben der Anlagenbetreiber in den Eigenüberwachungsberichten aus dem Jahr 2020 auf Plausibilität geprüft und, wo nötig und sinnvoll, ergänzt wurde. Da die Angaben nicht für alle Anlagen vollständig und/oder nicht eindeutig waren, wurden diese durch eine Befragung der Anlagenbetreiber (siehe Abschnitt 4.3.2 sowie durch Gespräche mit Entsorgungsunternehmen ergänzt und überarbeitet.

Die Definition für Klärschlamm gemäß § 2 Abs. 4 AbfKlärV umfasst Klärschlämme aus häuslichem und kommunalem Abwasser sowie Abwasser, das in einer betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage behandelt wurde und in seiner stofflichen Zusammensetzung mit häuslichem und kommunalem Abwasser vergleichbar ist. Neben Klärschlämmen aus kommunalem Abwasser sind dies auch Klärschlämme aus Branchen gemäß Anlage 1 der Verordnung über kommunales und Industrieabwasser (KomAbwVO), wo ausschließlich Branchenzweige der Lebensmittelerzeugung und -verarbeitung aufgeführt sind. Für den vorliegende Bericht wurden demzufolge die in Tabelle 4-1 aufgeführten Abfallschlüsselnummern berücksichtigt.

Tabelle 4-1: Im Rahmen des Berichtes berücksichtigte Abfallarten

AS	Bezeichnung
02 02 04 02 03 05 02 04 03 02 05 02 02 06 03 02 07 05	Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung
19 08 05	Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser
19 08 12	Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen

4.2 Datengrundlagen

Als Datengrundlagen für den Bericht zu Status und Prognosen der Klärschlammmentsorgung in Sachsen-Anhalt wurden verschiedene Quellen recherchiert und ausgewertet. Eine Auflistung der im Wesentlichen genutzten Datenquellen enthält Tabelle 4-2:

Tabelle 4-2: Verwendete Datengrundlagen

Bereich/Thema	Datengrundlage
Klärschlammanfall- und Entsorgungswege 2020	Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung von Abwasserbehandlungsanlagen 2020 Lagebericht zur Beseitigung von kommunalem Abwasser in Sachsen-Anhalt 2021 Abfallstatistik des Statistischen Landesamtes Auflistung aller Entsorgungsanlagen, welche Klärschlämme behandeln dürfen (Quelle: LAU)

Bereich/Thema	Datengrundlage
	Angaben zu den in 2018-2020 in den Entsorgungsanlagen behandelten Klärschlammengen (Quelle: LVwA, UAB) Übersicht über im Genehmigungsverfahren befindliche und genehmigte Anlagen zur Klärschlammbehandlung (Quelle: LVwA) Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen Klärschlammberichte nach § 34 (3) AbfKlärV an StBA
Klärschlammprognose	Bevölkerungsstatistik Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen
Zukünftige Entsorgungskapazitäten	Angaben des LVwA zu Anlagenplanungen eigene Recherchen
Phosphorrückgewinnung	Angaben des LVwA zu Anlagenplanungen eigene Recherchen
zukünftige Entsorgungswege	Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen Ausschreibungsergebnisse

4.3 Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung und Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen

4.3.1 Mitteilungspflicht nach § 4 EigÜVO (Berichte zu den Ergebnissen der Eigenüberwachung)

Nach § 4 der bis zum 19. August 2021 gültigen EigÜVO hatten die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen,

- in denen die Abwasserbehandlung mit biologischen Verfahren erfolgt,
- mit physikalischen oder chemischen oder physikalisch-chemischen Verfahren mit einer Kapazität von mehr als 100 Kubikmeter je Tag,
- von Abwasserbehandlungsanlagen für Abwasser ab zehn Kubikmeter je Tag, sofern in dem wasserrechtlichen Bescheid oder in einer anderen öffentlich-rechtlichen Entscheidung Anforderungen für den Ort des Anfalls oder vor der Vermischung mit anderem Abwasser gestellt sind,

die Ergebnisse ihrer Eigenüberwachung in einem Bericht zusammenzufassen und diesen der zuständigen Wasserbehörde bis zum 31. März des Folgejahres vorzulegen. Die Berichte hatten u.a. Angaben zur Menge und zum Verbleib des Klärschlammes zu beinhalten. Aus den Berichten wurden folgende Angaben für die Erstellung des vorliegenden Berichtes verwendet:

- Ausbaugröße in [EW],
- Abwasserlast/Anschlusswert in [EW],
- Abwasserlast Gewerbe/Industrie [EGW],
- Einwohner, deren Abwasser auf der Kläranlage behandelt wurde in [EZ]
- Klärschlammfall in [t TM/a]
- Entsorgungsweg der angegebenen Klärschlammengen in (Angabe in t TM/a).

Die EigÜVO wurde im Jahr 2021 durch die Selbstüberwachungsverordnung (SÜVO), welche am 20. August 2021 in Kraft getreten ist, abgelöst. Ab dem Berichtsjahr 2022 basieren die Vorgaben zur Auswertung und Zusammenstellung der Selbstüberwachungsergebnisse auf § 5 SÜVO.

4.3.2 Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt

Erarbeitung eines Fragebogens

Ergänzend zur Auswertung der Eigenüberwachungsberichte der vorliegenden Eigenüberwachungsberichten (Stand: 15.12.2021) wurde eine Befragung der Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen durchgeführt. Dabei wurden Angaben über

- den Phosphorgehalt der entsorgten Klärschlämme,
- die Art der Verbrennung (Mono- oder Mitverbrennung) bei der thermischen Entsorgung des angefallenen Klärschlammes im Jahr 2020
- geplante technische Veränderungen, welche die anfallende Klärschlammmenge beeinflussen, sowie
- den zukünftig beabsichtigten Entsorgungsweg / die beabsichtigten Entsorgungswege der anfallenden Klärschlämme

abgefragt. Mit den so übermittelten Daten wurden die Angaben aus den Eigenüberwachungsberichten verifiziert und durch weitere Daten ergänzt.

5 Struktur der Abwasserbeseitigung

Die Abwasserbeseitigungspflicht obliegt gemäß § 78 WG LSA den Gemeinden. Die Gemeinden sollen gemäß § 83 Abs. 1 WG LSA Zweckverbände bilden, wenn eine Aufgabenerfüllung erst dann zu vertretbaren Bedingungen möglich wird (Freiverband). Sie können gemäß § 84 WG LSA zu einem Zweckverband zusammengeschlossen werden (Pflichtverband).

Im Jahr 2020 gab es in Sachsen-Anhalt 69 Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung. Im Jahr 2020 wurden in Sachsen-Anhalt 220 öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen betrieben, welche das Abwasser von 2,05 Mio. Einwohnern behandelten. Dies entspricht einem Anschlussgrad von etwa 94 %. Die gereinigte Abwasserlast belief sich auf 3,62 Mio. EW³. Die übrigen 6 % der Bevölkerung beseitigen das anfallende Abwasser dezentral (u. a. über Sammelgruben und Kleinkläranlagen)⁴.

Um eine Aufgliederung der Kläranlagen entsprechend den Anforderungen an die Phosphorrückgewinnung zu ermöglichen, werden die Anlagen zur Abwasserbehandlung (Kläranlagen) im Rahmen dieses Klärschlammberichtes in die folgenden sechs Größenklassen (GK) unterteilt (genehmigte Ausbaugrößen, angegeben in Einwohnerwerten (EW):

³ Quelle: Eigenüberwachungsberichte 2020

⁴ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2022): Direkte Entsorgung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit Standort in Sachsen-Anhalt nach Kreisen in Tonnen Trockensubstanz

- GK 1: < 1.000 EW
- GK 2: 1.000 EW bis 5.000 EW
- GK 3: > 5.000 EW bis 10.000 EW
- GK 4a: > 10.000 EW bis 50.000 EW
- GK 4b: > 50.000 EW bis 100.000 EW
- GK 5: > 100.000 EW

Unter Zugrundelegung der in den Berichten zur Eigenüberwachung für das Berichtsjahr 2020 angegebenen Ausbaugröße in [EW] ergibt sich die in Abbildung 3 dargestellte Verteilung der Kläranlagen in Sachsen-Anhalt auf die zuvor genannten GK 1–5.

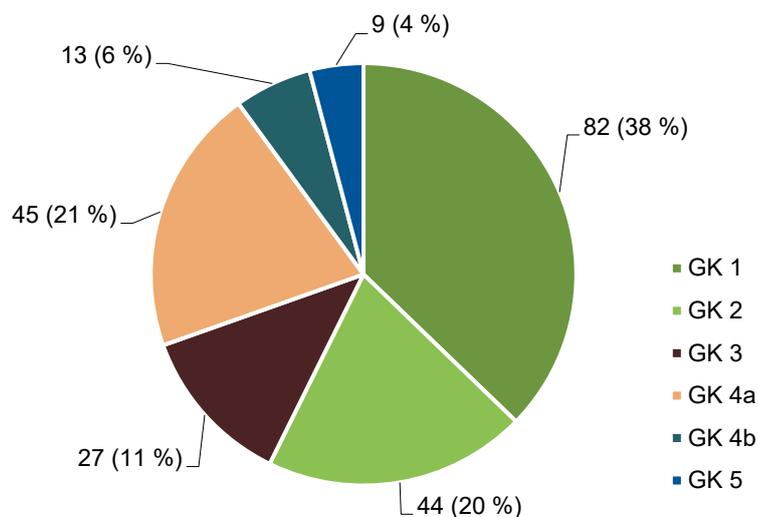


Abbildung 3: Anzahl und Verteilung der Abwasserbehandlungsanlagen auf die verschiedenen Größenklassen (GK).

Die räumliche Verteilung der Abwasserbehandlungsanlagen der GK 4b und GK 5 zeigt Abbildung 4. Es wird deutlich, dass der Schwerpunkt der größten Kläranlagen und damit auch des Klärschlammanfalls im südlichen Sachsen-Anhalt zu finden ist. Nördlich der Bundesautobahn A2 sind lediglich zwei der 22 Kläranlagen der GK 4b bzw. GK 5 zu finden.

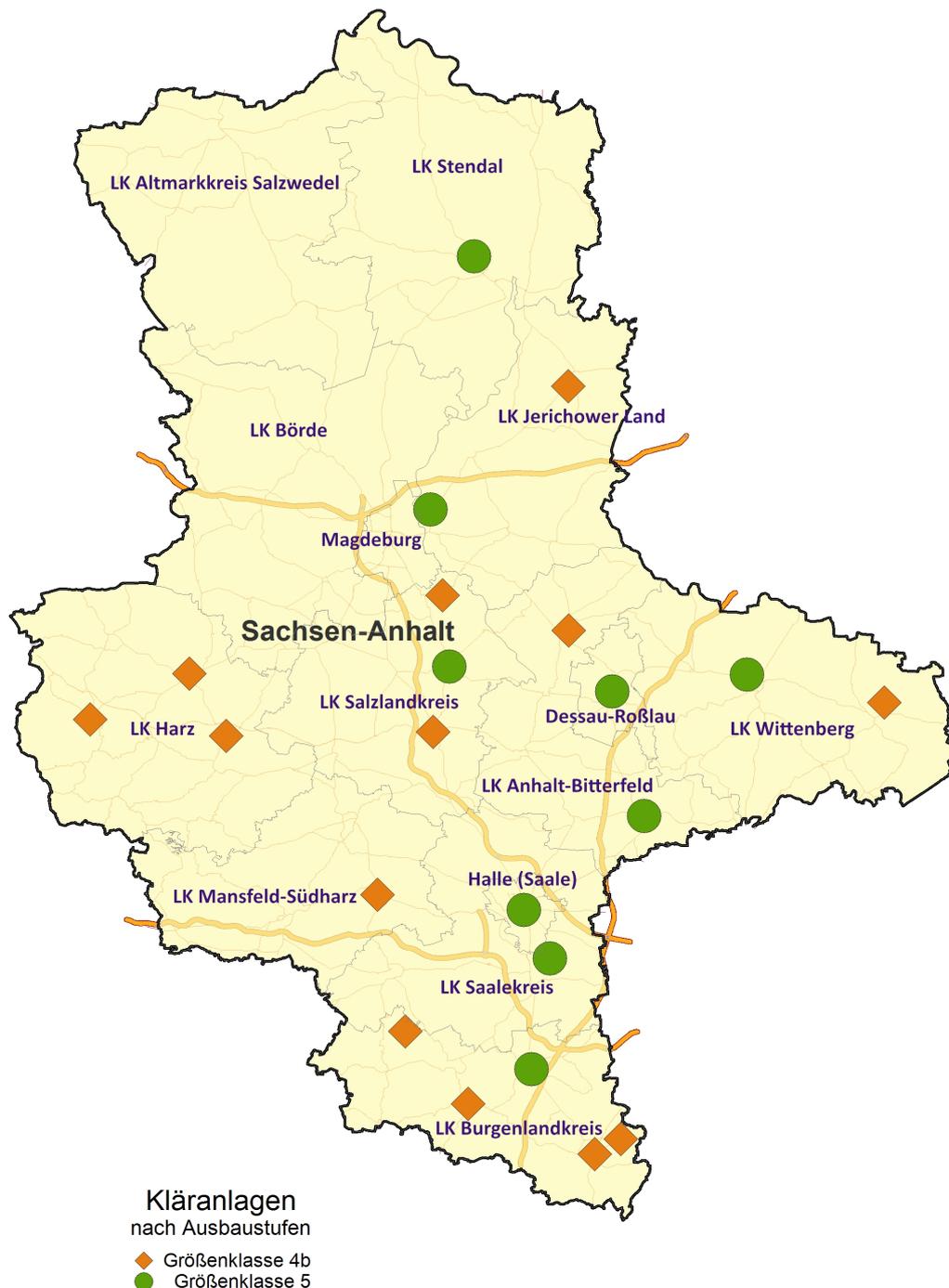


Abbildung 4: Lage der Abwasserbehandlungsanlagen der GK 4b und 5 im Land Sachsen-Anhalt

6 Aktueller Stand des Klärschlammanfalls und der Klärschlammentsorgung

6.1 Klärschlammanfall aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen

Nach den Daten des Statistischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (StaLA) zur Entsorgung von Klärschlämmen nach Regionen und den Ergebnissen der Eigenüberwachungsberichte, einschließlich der Nacherhebung, beträgt die im Jahr 2020 auf öffentlichen

Abwasserbehandlungsanlagen angefallene Klärschlammmenge etwa 53.000 Tonnen Trockenmasse (t TM).

Dabei zeigen die statistischen Daten und die erhobenen/ausgewerteten Daten aus den Eigenüberwachungsberichten eine hohe Übereinstimmung.

Aufgrund der fehlenden Anlagenspezifik der Daten des StaLa wird in der nachfolgenden Abbildung 5 die Verteilung der im Jahr 2020 angefallenen Klärschlammengen auf die GK 1–5 auf Basis der Angaben in den Eigenüberwachungsberichten dargestellt:

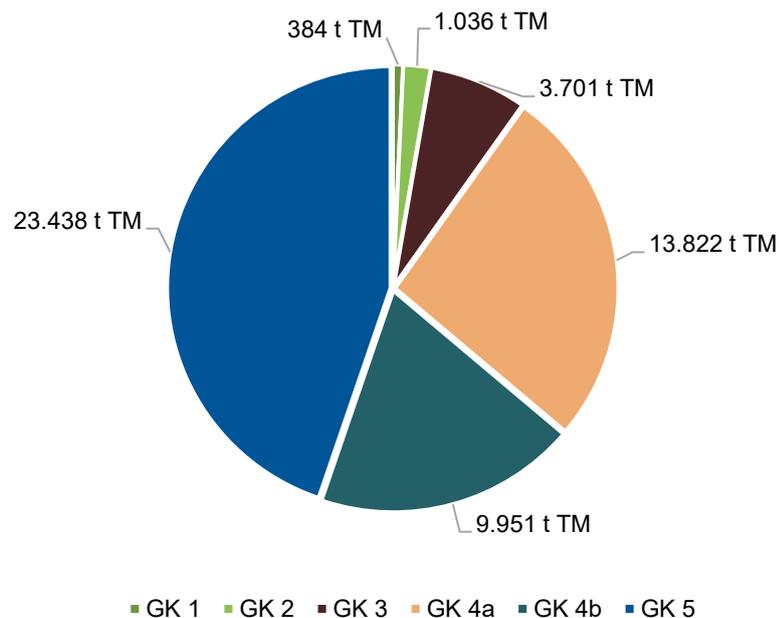


Abbildung 5: Verteilung der im Jahr 2020 angefallenen Klärschlammengen in Tonnen Trockenmasse (t TM) auf die Größenklassen

Erwartungsgemäß fällt in den Anlagen der GK 5 mit der geringsten Anlagenanzahl über alle Größenklassen die höchste Klärschlammmenge an, da in diesen das Abwasser von etwa 42 % der Einwohner Sachsen-Anhalts behandelt wird. Die zweithöchste Klärschlammmenge erzeugen Abwasserbehandlungsanlagen der GK 4a. Die geringste Klärschlammmenge fällt in der GK 1 an.

6.2 Qualität der Schlämme aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen

Für Klärschlämme, welche bodenbezogen verwertet werden, besteht nach § 8 AbfKlärV die Verpflichtung, die Klärschlämme vor ihrer Abgabe auf die in § 5 Abs. 1 und 2 AbfKlärV festgelegten Parameter untersuchen zu lassen. Gemäß § 5 Abs. 4 AbfKlärV sind die Ergebnisse der zuständigen Behörde zu melden. Die Untersuchungsvorgaben für thermisch zu verwertende Klärschlämme legen die jeweiligen Anlagenbetreiber fest. Eine Meldepflicht an die zuständige Behörde besteht in diesem Fall nicht. Dem folgend liegen für mindestens 51 % der entsorgten Klärschlämme (siehe Abbildung 6) keine Daten zur Qualität der abgegebenen Schlämme vor. Durch die Berichtspflicht im Jahr 2023 ergeben sich diesbezüglich keine grundlegenden Änderungen. Den Berichten sind ausschließlich der Phosphorgehalt sowie der Gehalt an basisch wirksamen Stoffen, bestimmt als Calciumoxid, beizulegen. Die Untersuchung ist im Jahr 2027 zu wiederholen.

Die nachfolgend dargestellten Klärschlammqualitäten beziehen sich daher ausschließlich auf die bodenbezogen verwerteten Klärschlämme. Der Phosphorgehalt der Klärschlämme war Gegenstand der Befragung der Anlagenbetreiber. Da die Aufgabenträger jedoch lediglich angeben sollten, ob der P-Gehalt der Klärschlämme größer oder kleiner ist als der Grenzwert zur Phosphorrückgewinnungspflicht von 20 g/kg TM, können zum P-Gehalt der nicht bodenbezogenen Klärschlämme keine Werte ausgewiesen werden. 24 der 42 Aufgabenträger, welche sich an der Befragung beteiligt hatten, gaben für mindestens eine der in ihrem Zuständigkeitsbereich befindlichen Abwasserbehandlungsanlagen eine Überschreitung des Grenzwertes an. 4 Aufgabenträger machten keine Angabe und 14 Aufgabenträger gaben an, dass der Grenzwert von 20 g/kg TM nicht überschritten wird.

6.2.1 Schadstoffgehalte bodenbezogen verwerteter Klärschlämme

Die nachfolgende Tabelle 6-1 zeigt das gewichtete arithmetische Mittel der gemäß § 34 Abs. 3 AbfKlärV durch die Klärschlammherzeuger übermittelten Untersuchungsergebnisse.

Tabelle 6-1: Qualitäten der in 2020 bodenbezogen verwerteten Klärschlämme im Land Sachsen-Anhalt (LAU, 2021)

Parameter	Maßeinheit	auf oder in landwirtschaftlich genutzten Böden	auf oder in Böden bei Maßnahmen des Landschaftbaus	Grenzwert § 8 Abs. 1 AbfKlärV
pH-Wert		7,27	6,99	
Eisengehalt (Fe)	mg/kg TM	35.271	42.521	
Organische Substanz	% in TM	67,8	56,7	
Trockenrückstand	% in TM	17,4	18,6	
Gesamtstickstoff (N)	mg/kg TM	52.903	48.347	
Ammonium (NH ₄ ⁺)	mg/kg TM	6.479	4.629	
Phosphor (P)	mg/kg TM	28.339	22.542	
Phosphat (P ₂ O ₅)	mg/kg TM	63.326	51.393	
basisch wirksame Stoffe, bewertet als Calciumoxid – CaO	mg/kg TM	37.652	52.746	
Arsen (As)	mg/kg TM	3,55	3,48	40
Blei (Pb)	mg/kg TM	30,55	40,09	150
Cadmium (Cd)	mg/kg TM	0,68	0,90	1,5
Chrom (Cr)	mg/kg TM	26,04	34,49	
Chrom (CrVI)	mg/kg TM	0,59	0,21	2,0
Kupfer (Cu)	mg/kg TM	241,36	315,62	900

Parameter	Maß- einheit	auf oder in landwirt- schaftlich genutzten Böden	auf oder in Bö- den bei Maß- nahmen des Landschafts- baus	Grenz- wert § 8 Abs. 1 Abf- klärV
Nickel (Ni)	mg/kg TM	24,02	29,74	80
Quecksilber (Hg)	mg/kg TM	0,36	0,33	1,0
Thallium (Tl)	mg/kg TM	0,21	0,26	1,0
Zink (Zn)	mg/kg TM	784,28	1261,47	4.000
Summe der organischen Halogen-Verbindungen (als adsorbierte organisch gebundene Halogene – AOX)	mg/kg TM	186,76	245,49	400
Benzo(a)pyren (B(a)P)	mg/kg TM	0,113	0,061	1,0
Polychlorierte Biphenyle (PCB), Kongener:				
28	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
52	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
101	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
138	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
153	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
180	mg/kg TM	0,013	0,020	0,1
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF) einschließlich dioxinähnlicher polychlorierter Biphenyle (dl-PCB)	ng TE/kg TM	4,78	3,03	30
Polyfluorierte Verbindungen (PFC) – als Summe der Einzelsubstanzen Perfluoroctansäure (PFOA) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	mg/kg TM	0,011	0,011	0,1

Es zeigt sich, dass im gewichteten Mittel aller bodenbezogen verwerteten Klärschlämme die Grenzwerte nach § 8 Abs. 1 AbfKlärV weit (meist mehr als 50 %) unterschritten werden.

Allerdings werden derzeit Gehalte an Mikroplastik, Arzneimittelrückständen, antibiotika-resistenten Bakterien, Antibiotika-Resistenzgenen, mobilen genetischen Elementen, persistenten Schadorganismen und Krankheitserregern in Klärschlämmen diskutiert, die zu einer Verschärfung der Grenzwertsituation für die bodenbezogene Verwertung führen können (siehe u. a. Wolters et al. (2022), Pietsch et al. (2015)).

6.2.2 Phosphorgehalte

Die Phosphorgehalte liegen im Mittel mit 2,8 % bei der landwirtschaftlichen Verwertung bzw. 2,3 % bei landschaftsbaulichen Maßnahmen (siehe Tabelle 6-1) über der Schwelle, ab

welcher ab dem 01.01.2029 bzw. 2032 eine P-Rückgewinnung erforderlich sein wird. Die P-Gehalte können jedoch zwischen den einzelnen Kläranlagen erheblich schwanken.

6.3 Klärschlammanfall aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen

Im Jahr 2020 haben 21 Abwasserbehandlungsanlagen, welche industrielles Abwasser behandeln, Angaben zum Klärschlammanfall gemacht. Vier der 21 Anlagen reinigen ebenfalls zu einem großen Anteil kommunales Abwasser⁵. Die Daten dieser Anlagen sind in dem vorhergehenden Abschnitt zu den öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen enthalten. Die übrigen 17 Anlagen sind auf Basis der Klassifizierung der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (DESTATIS, 2008), den nachfolgenden Wirtschaftszweigen (WZ), zuzuordnen:

Tabelle 6-2: Anzahl und Klärschlammanfall industrieller-gewerblicher Kläranlagen nach Wirtschaftszweigen

WZ 2008 Kode	Anzahl Anlagen	Klärschlammanfall [t TM/a]
10.2 – Fischverarbeitung	1	12,00
10.85 – Herstellung von Fertiggerichten	4	3.273,00
10.81 – Herstellung von Zucker	1	1.020,00
11.0 – Getränkeherstellung	2	82,60
17.11 – Herstellung von Holz und Zellstoff	1	6.447,00
19. – Kokerei und Mineralölverarbeitung	1	8.416,00
20 – Herstellung von chemischen Erzeugnissen	2	1.424,30
21 – Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	1	24,30
23.6 – Herstellung von Erzeugnissen aus Zement, Beton und Gips	1	3,12
55.1 – Hotels	1	9,48
gemischt (mehrere Betriebe am Standort)	1	1.400
Herstellung Bioethanol	1	172,13
Summe	17	22.283,93

Wie aus Tabelle 6-2 hervorgeht, sind etwa 22.284 t TM Klärschlamm im Jahr 2020 in industriellen-gewerblichen Abwasserbehandlungsanlagen angefallen. Die Erzeuger der größten Klärschlammengen waren:

- TOTAL Raffinerie Mitteldeutschland GmbH (8.416 t TM)
- Zellstoff Stendal GmbH (6.447 t TM)
- InfraLeuna GmbH (1.400 t TM) sowie
- Nordzucker AG, Werk Klein Wanzleben (1.020 t TM)

Ca. 5.000 t TM (Klärschlämme aus der Nahrungsmittelindustrie, Hotels) sind mit Klärschlämmen von häuslichem Abwasser vergleichbar und unterfallen, wenn in den Betrieben keine Trennung vom Sanitärabwasser erfolgt, der AbfklärV.

⁵ Quelle: Eigenüberwachungsberichte 2020

6.4 Klärschlamm Entsorgung

6.4.1 Entsorgung von Klärschlämmen aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen

Die Entwicklung der Klärschlamm Entsorgungsmengen der letzten fünf Jahre zeigt die nachfolgende Tabelle 6-3.

Tabelle 6-3: Entwicklung der Klärschlamm Mengen im Land Sachsen-Anhalt im Zeitraum 2016–2020 (Quelle: StaLA (2022) ⁶)

Jahr	Klärschlamm Menge [t TM/a]
2016	57.814
2017	53.432
2018	50.853
2019	51.872
2020	53.009

Aus Tabelle 6-3 geht hervor, dass die entsorgte Klärschlamm Menge bis zum Jahr 2018 um etwa 6.960 t TM bzw. 12 % zurückgegangen ist. Ab dem Jahr 2019 stieg die Klärschlamm Menge wieder an. Bis einschließlich des Jahres 2020 wurde ein Anstieg um 2.156 t TM bzw. 4,2 % verzeichnet. Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die Entsorgungswege, welche für die im Jahr 2020 angefallenen Klärschlämme genutzt wurden.

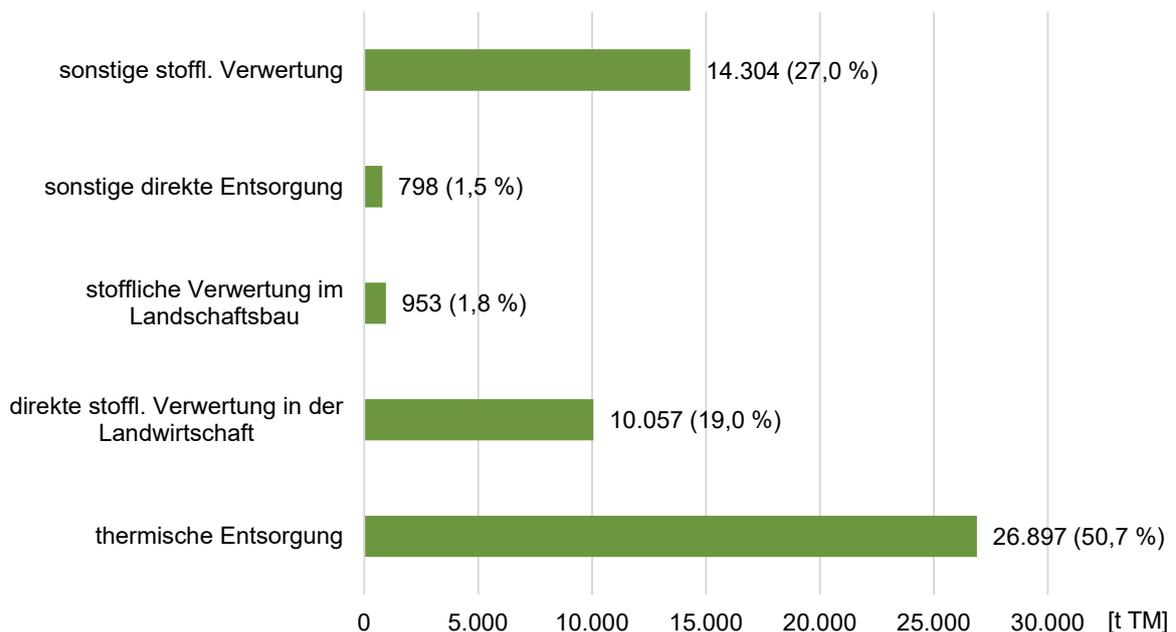


Abbildung 6: Entsorgungswege für Klärschlamm im Jahr 2020 (Quelle: StaLA)

Zu erkennen ist, dass etwas mehr als die Hälfte der in Sachsen-Anhalt im Jahr 2020 auf öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen angefallenen Klärschlämme thermisch entsorgt wurde. Dem folgt die Kompostierung des Klärschlamm (27,0 %), in der Statistik unter sonstige stoffliche Verwertung zusammengefasst, sowie die direkte Ausbringung in der Landwirtschaft (19,0 %). Alle weiteren Entsorgungswege stellen, bezogen auf die entsorgten

⁶ Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt (2022): Direkte Entsorgung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit Standort in Sachsen-Anhalt nach Kreisen in Tonnen Trockensubstanz

Klärschlammengen, eher einen untergeordneten Anteil. Unter „sonstige direkte Entsorgung“ wird u.a. eine Behandlung in Klärschlammvererdungsbeete/-anlagen zusammengefasst.

22 Abwasserbehandlungsanlagen sind aufgrund ihrer genehmigten Ausbaugröße der GK 4b und 5 zuzuordnen. Diese Kläranlagen bzw. die Betreiber dieser Kläranlagen unterliegen einer Phosphorrückgewinnungspflicht ab 2029 bzw. 2032. In diesen 22 Abwasserbehandlungsanlagen fielen mit 33.969 t TM/a etwa 63 % der im Jahr 2020 entsorgten Klärschlammengen an. Die von den Kläranlagen dieser GK genutzten Entsorgungswege zeigt die nachfolgende Abbildung 7:

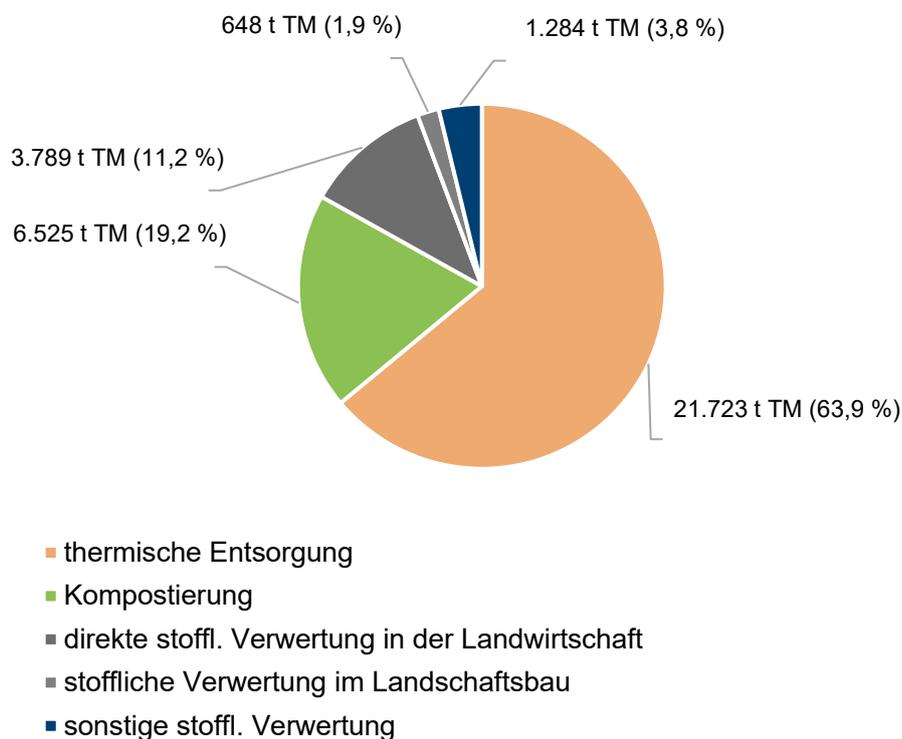


Abbildung 7: Verwertungswege für Klärschlämme der Kläranlagen GK 4b und 5 im Jahr 2020

Aus Abbildung 7 geht hervor, dass im Jahr 2020 etwa 36,1 % der angefallenen Klärschlammengen der GK 4b und 5 einer stofflichen Verwertung (hier einschließlich Kompostierung) zugeführt wurden. Dies bedeutet, unter Berücksichtigung des ab 2029 bzw. 2032 geltenden Verbotes der bodenbezogenen Verwertung für Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 100.000 bzw. mehr als 50.000 EW, dass etwa 12.246 t TM Klärschlamm nicht mehr bodenbezogen verwertet werden dürfen und demnach einer thermischen Behandlung (Mono- oder Mitverbrennung) zuzuführen sind.

6.4.2 Entsorgung von Klärschlämmen aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt die Entsorgungswege der Klärschlämme aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen:

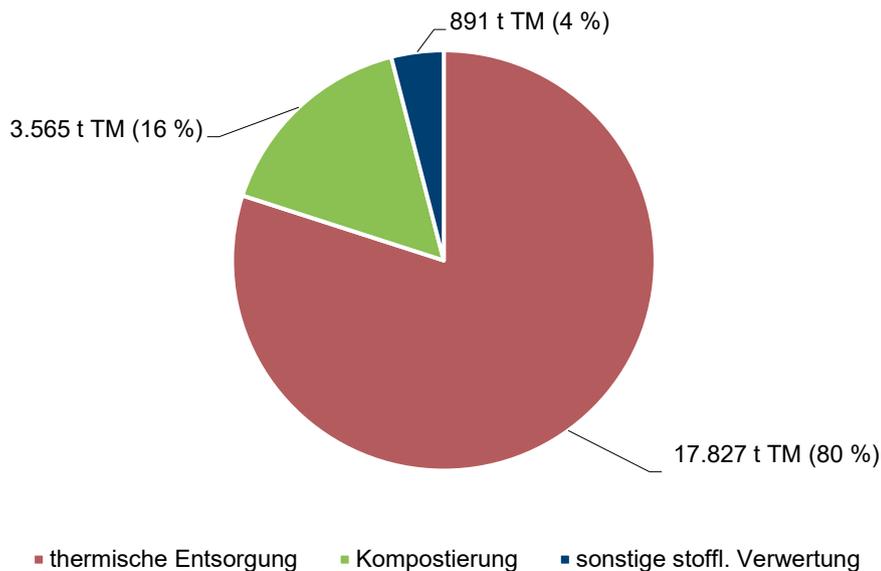


Abbildung 8: Entsorgungswege in industriellen Abwasserbehandlungsanlagen angefallenen Klärschlämmen

Der überwiegende Teil der industriellen Klärschlämme im Land Sachsen-Anhalt wird thermisch behandelt. Von den zuvor genannten vier industriellen Klärschlammherzeugern, welche einen Großteil der Klärschlammengen erzeugen, wird lediglich der Klärschlamm der Nordzucker AG einer sonstigen stofflichen Verwertung zugeführt. Die Klärschlämme der übrigen drei industriellen Anlagen werden thermisch behandelt.

6.4.3 Anlagen zur Klärschlammbehandlung in Sachsen-Anhalt

Sachsen-Anhalt verfügt über zahlreiche Anlagen zur Klärschlammbehandlung, welche bereits betrieben werden, weitere Anlagen sind in Planung. Nachfolgend werden Anlagen aufgeführt, welche über die Genehmigung verfügen, Klärschlämme aus häuslichem und kommunalem Abwasser sowie Abwasser, das in einer betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage behandelt wurde und in seiner stofflichen Zusammensetzung mit häuslichem und kommunalem Abwasser vergleichbar ist (Definition gemäß § 2 Abs. 4 AbfKlärV), zu behandeln. Neben Klärschlämmen aus kommunalem Abwasser sind dies auch Klärschlämme aus Branchen gemäß Anlage 1 der Verordnung über kommunales und Industrieabwasser (KomAbwVO). Folgende Abfallarten sind zu nennen:

- 02 02 04 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Zubereitung und Verarbeitung von Fleisch, Fisch und anderen Nahrungsmitteln tierischen Ursprungs)
- 02 03 05 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Zubereitung und Verarbeitung von Obst, Gemüse, Getreide, Speiseölen, Kakao, Kaffee, Tee und Tabak, aus der Konservenherstellung, der Herstellung von Hefe und Hefeextrakt sowie der Zubereitung und Fermentierung von Melasse)
- 02 04 03 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Zuckerherstellung)
- 02 05 02 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Milchverarbeitung)
- 02 06 03 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Herstellung von Back- und Süßwaren)
- 02 07 05 Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung (Herstellung von alkoholischen und alkoholfreien Getränken (ohne Kaffee, Tee und Kakao))
- 19 08 05 Schlämme aus der Behandlung von kommunalem Abwasser
- 19 08 12 Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser mit Ausnahme derjenigen, die unter 19 08 11 fallen

Derzeit verfügen in Sachsen-Anhalt insbesondere die folgenden Anlagenarten (inkl. Anzahl der in Betrieb befindlichen Anlagen) über eine Genehmigung zur Behandlung der zuvor genannten Klärschlämme (Abfrage Landesverwaltungsamt, Stand 2021):

- Kompostierungsanlagen (80)
- Vergärungsanlagen (7)
- biologische Bodenbehandlungsanlagen (4)
- chemische, physikalische, chemisch-physikalische und chemisch-physikalische Konditionierungsanlagen (13)
- Klärschlammmonoverbrennungsanlagen (1)
- Restabfall- bzw. Hausmüllverbrennungsanlagen (5)
- Sonderabfallverbrennungsanlagen (1)
- Kraftwerke (1)
- Pyrolyseanlagen (1)
- Ziegeleien (1)
- Zementwerke (1)
- Klärschlamm-trocknungsanlagen (2)
- Klärschlamm-lager (52)

Zukünftig wird sich die Struktur der Klärschlamm-treatment ändern und den Vorgaben der AbfKlärV anpassen. Bundesweit ist ein eindeutiger Trend zur Klärschlammmonoverbrennung zu erkennen, welcher sich auch in den Planungen neuer Anlagen in Sachsen-Anhalt widerspiegelt. Tabelle 6-4 listet die derzeit in Betrieb befindlichen und Tabelle 6-5 die geplanten bzw im Bau befindlichen Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung auf.

Tabelle 6-4: In Betrieb befindliche Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung in Sachsen-Anhalt (LvwA, 2021, eigene Recherchen)

Anlage	Antragsteller	Verfahrensstand	Kapazität	P-Rückgewinnung
Errichtung und Betrieb einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage am Standort Bitterfeld	KSR Klärschlammrecycling Bitterfeld-Wolfen GmbH	Anlage befindet sich in der Errichtung (war bereits in Betrieb, Nachrüstung erforderlich, Wiederinbetriebnahme voraussichtlich IV. Quartal 2022)	65.000 t TM/a	nein
Klärschlammmonoverbrennungsanlage am Standort Bitterfeld-Wolfen mit Klärschlamm-trocknung	Gemeinschaftskläwerk Bitterfeld-Wolfen GmbH	Anlage ist in Betrieb	15.200 t TM/a	nein
Anlage zur Klärschlammmonoverbrennung, Klärschlamm-trocknung und zeitweiliger Lagerung am Standort Halle-Lochau	sludge2energy GmbH	Anlage ist in Betrieb	11.000 t TM/a	nein
Mitverbrennung von Klärschlämmen mit Klärschlamm-trocknung	SCHWENK Zement GmbH & Co. KG Werk Bernburg	Anlage ist in Betrieb	35.000 t TM/a	nein
Klärschlamm-trocknung am Standort Zorbau	Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH	Anlage ist in Betrieb	18.750 t TM/a	nein
Düngemittelproduktions- und Phosphorrückgewinnungsanlage am Standort Haldensleben	Seraplant GmbH	In Betrieb (derzeit Stillstand aufgrund vorläufiger Insolvenz, Weiterbetrieb angestrebt)	Produktionskapazität von 60.000 t/a Düngemitteln; ca. 20.000 t/a Klärschlamm-masche	ja

Tabelle 6-5: Geplante und im Bau befindliche Anlagen zur thermischen Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung in Sachsen-Anhalt (LvwA, 2021, eigene Recherchen)

Anlage	Antragsteller	Verfahrensstand	Kapazität	P-Rückgewinnung
Errichtung und Betrieb einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage (Wirbelschicht) am Standort der bestehenden Thermischen Restabfallbehandlungsanlage am Standort Leuna	MVV Umwelt Asset GmbH	Antragsunterlagen einschließlich UVP-Bericht werden derzeit erstellt	30.000 t TM/a	ja
Errichtung und Betrieb einer Anlage zur Klärschlamm-trocknung und Klärschlammmonoverbrennungsanlage im Chemie- und Industriepark Zeitz	Wiese Umwelt Service GmbH	Scoping-Unterlagen vorgelegt	25.000 t TM/a	ja

Anlage	Antragsteller	Verfahrensstand	Kapazität	P-Rückgewinnung
Errichtung und den Betrieb einer Klärschlammmonverbrennungsanlage (Wirbelschicht) am Standort Magdeburg-Rothensee	Müllheizkraftwerk Rothensee GmbH	genehmigt, Baubeginn 2021; Betriebsbeginn 2024	13.200 t TM/a	nein
Phosphorrückgewinnungsanlage am Standort Schkopau	Phosphorgewinnung Schkopau GmbH (PGS)	im Genehmigungsverfahren, Inbetriebnahme 2024	30.000 t/a Klärschlammmasche, ggf. in 2026 2. Linie mit weiteren 30.000 t/a	ja

7 Prognosen zur zukünftigen Klärschlamm Entsorgung

7.1 Methodik der Prognose

Die Prognose der zukünftig in Sachsen-Anhalt anfallenden und zu behandelnden Klärschlammmenge ist im Wesentlichen von vier Faktoren abhängig. Zunächst sind die drei Faktoren zu nennen, welche das Klärschlammaufkommen im Land Sachsen-Anhalt beeinflussen:

- Bevölkerungsentwicklung in Sachsen-Anhalt,
- Anschlussgrad an die öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie
- technische Änderungen auf den Abwasserbehandlungsanlagen, welche die anfallenden Klärschlammengen beeinflussen.

Hinzu kommen Importmengen aus anderen Bundesländern, welche sich maßgeblich auf die insgesamt im Land Sachsen-Anhalt zu behandelnde Klärschlammmenge auswirken. Im Folgenden wird auf jeden der vier Faktoren im Einzelnen eingegangen und dessen Relevanz für die Prognose des Klärschlammfalls erläutert. Klärschlämme aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen (AS 19 08 12) finden, insoweit diese keine kommunalen oder häuslichen Abwässer mitbehandeln oder mit diesen vergleichbar sind, keinen Eingang in die nachfolgende Prognose, da diese nicht dem Anwendungsbereich der AbfKlärV unterliegen.

7.1.1 Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt

Zum 31.12.2021 lebten in Sachsen-Anhalt 2.169.253 Einwohnerinnen und Einwohner. Zur Bewertung der Entwicklung des Klärschlammaufkommens auf Basis der Bevölkerungsentwicklung wird die 7. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für das Land Sachsen-Anhalt⁷, erstellt und veröffentlicht durch das Statistische Landesamt, herangezogen. Die 7. Regionalisierte Bevölkerungsprognose basiert auf den Jahren 2017–2019. In dieser wurde die überproportionale Zuwanderung aus dem Ausland in den Jahren 2014–2016 berücksichtigt. Im Vergleich zur 6. Regionalisierten Bevölkerungsprognose kam die 7. Regionalisierte Bevölkerungsprognose „[...] zu dem Ergebnis, dass sich die Bevölkerungsverluste deutlich verlangsamen.“ (StaLa, 2021). Die Bevölkerungsvorberechnung weist die Bevölkerungszahlen bis zum Jahr 2035 aus. Für die Bewertung des Klärschlammfalls wird aufgrund der rechtlichen Anforderungen der Prognosezeitraum bis

⁷ STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT, 2021: 7. Regionalisierte Bevölkerungsprognose Sachsen-Anhalt – Annahmen und Ergebnisse

2032 gewählt. Auf Basis der 7. Regionalisierten Bevölkerungsprognose ergibt sich bis zum Jahr 2032 folgende Bevölkerungsentwicklung:



Abbildung 9: Bevölkerungsentwicklung Sachsen-Anhalt bis 2032 auf Basis der 7. Regionalisierten Bevölkerungsprognose (Quelle: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt)

Für Sachsen-Anhalt wird ein Bevölkerungsrückgang um -11,9 % bzw. 265.190 Einwohner bis zum Jahr 2032 prognostiziert. Aus den Angaben der 7. Regionalisierten Bevölkerungsprognose ergibt sich für das Jahr 2022 ein Rückgang der Bevölkerung um 1,1 %, für 2023 und 2024 jährlich um 0,8 %, von 2025 bis 2028 um 0,9 % und von 2029 bis 2032 um 1,0 %.

Für die Prognose des Klärschlammanfalls wurde eine proportionale Auswirkung der Bevölkerungsentwicklung auf den Klärschlammanfall angenommen.

7.1.2 Anschlussgrad an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen

Zum Stichtag 31.12.2020 waren 95,4 % der Einwohner Sachsen-Anhalts an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen angeschlossen (Lagebericht 2021, MWU Sachsen-Anhalt). Der Anschlussgrad ist im Wesentlichen seit dem Jahr 2018 auf einem gleichbleibenden Niveau. Aufgrund des bereits hohen Anschlussgrades sind im Prognosezeitraum keine wesentlichen Änderungen zu erwarten, welche die anfallende Klärschlammenge beeinflussen würden.

7.1.3 Technische Änderungen auf den Abwasserbehandlungsanlagen

Im Rahmen einer Befragung, welche zur Konkretisierung und Vervollständigung der Angaben in den Eigenüberwachungsberichten durchgeführt wurde (siehe Abschnitt 4.3.2), wurden die Betreiber der Abwasserbehandlungsanlagen gebeten, Aussagen zu zukünftigen technischen Änderungen auf ihren Abwasserbehandlungsanlagen mit Einfluss auf die anfallende Klärschlammmenge zu machen.

Von den 42 Betreibern, welche sich an der Befragung beteiligt haben, gaben sieben Betreiber zukünftige technische Änderungen an, drei davon den Bau bzw. die Inbetriebnahme einer Faulungsanlage, welche die anfallenden Klärschlammengen um etwa 30–40 % verringern kann. Von zwei weiteren Betreibern, welche sich nicht an der Befragung beteiligt haben, sind ebenfalls Planungen zum Bau einer Faulungsanlage bekannt⁸ (Tabelle 7-1).

Tabelle 7-1: Konkret geplante technische Änderungen mit Auswirkung auf die Klärschlammmenge⁹

Nr. Betreiber	GK	Klärschlammmenge [t/a]	technische Maßnahme	Umsetzungszeitraum / Inbetriebnahme
1.	4b	107,29	Errichtung einer Faulungsanlage mit Gasspeicher und BHKW-Anlage	keine Angabe
2.	1	7,00 ¹⁰	Reduzierung Klärschlammmenge um ca. 1 t; geplante Maßnahme nicht konkret benannt	keine Angabe
3.	4a	431,80	Faulungsanlage seit 2021 im Bau	geplante Inbetriebnahme im II. oder III. Quartal 2022 (Verschiebung gilt als wahrscheinlich)
4.	4b	1.247,09	Errichtung einer Faulungsanlage	keine Angabe; in Planung
5.	4b	1.068	Errichtung einer Faulungsanlage	Beginn ab 2023

Unter der Annahme, dass durch eine Klärschlammfäulung eine Reduktion des Klärschlammaufkommens von 35 % erzielt werden kann, resultiert aus den in Tabelle 7-1 angegebenen Klärschlammengen der vier Abwasserbehandlungsanlagen bzw. Aufgabenträger ein theoretisches Reduktionspotenzial von ca. 1.000 t TM. Das entspricht einem Anteil am Gesamtklärschlammaufkommen aus dem Jahr 2020 von 1,9 %. Weitere Aufgabenträger prüfen derartige Maßnahmen derzeit, so dass mit einer Reduktion von 2–3 % innerhalb des Prognosezeitraums zu rechnen ist.

In der Prognose des zukünftigen Klärschlammaufkommens ist das Reduktionspotenzial zu berücksichtigen. Da drei der vier Aufgabenträger keine konkrete Zeitschiene benennen konnten, ist in die reale Prognose des Klärschlammmanfalls bis 2032 zunächst lediglich die technische Änderung von Betreiber 3 eingeflossen. Bei einer Mengenreduktion durch Fäulung um 35 % reduziert sich der Klärschlammmanfall auf der KA von Betreiber 3 um 151 t TM auf insgesamt rund 280 t TM pro Jahr (0,3 % des Gesamtklärschlammaufkommens im Jahr 2020). Aufgrund der Angaben des Aufgabenträgers zur zeitlichen Umsetzung der

⁸ Quelle: schriftliche Mitteilung des Betreibers via E-Mail an das LAU bzw. Mitteilung des LVwA

⁹ Quelle: Befragung INTECUS

¹⁰ Abgabe des Klärschlammes an die ZKA Zeitz (Göbitz)

Maßnahme (auch unter dem Aspekt der zeitlichen Verzögerung) sowie der Anlauf- und Einstellungszeit des Faulbehälters wird davon ausgegangen, dass die Reduktion des Klärschlammanfalls in jedem Fall im Jahr 2024 eintritt. Demfolgend wurden von dem Klärschlammanfall für das Jahr 2024, welcher sich in Verbindung mit der prozentualen Bevölkerungsentwicklung ergibt (siehe Abschnitt 7.1.1), 151 t TM Reduktionspotenzial der KA von Betreiber 3 abgezogen.

Eine zweite Prognose (Variante 1; Abbildung 11) berücksichtigt ebenfalls die Aufgabenträger, bei denen die zeitlich Umsetzung der geplanten technischen Änderungen derzeit noch unkonkret ist. Werden die technischen Maßnahmen bis 2032 umgesetzt, verringert sich das Klärschlammaufkommen nochmals um 683 Tonnen (Gesamtreduktionspotenzial abzüglich des Reduktionspotenzials der KA von Betreiber 3). Unter Beachtung von Bauzeiten und Inbetriebnahme der Faultürme und der Annahme, dass die Realisierung der Maßnahmen ohne Unterbrechung umgesetzt wird, erfolgt für die Prognose die Festlegung der Reduzierung des Gesamtklärschlammaufkommens um 683 t TM im Jahr 2026¹¹.

7.1.4 Import und Export von Klärschlämmen

Der Im- und Export von Klärschlämmen beeinflusst neben dem Aufkommen an Klärschlämmen aus den Kläranlagen Sachsen-Anhalts die in Sachsen-Anhalt zu behandelnde Klärschlammmenge. Aufgrund der verfügbaren Behandlungskapazitäten weist Sachsen-Anhalt einen deutlichen Importüberschuss an kommunalen Klärschlämmen auf.

Tabelle 7-2: Import und Export von kommunalen Klärschlämmen bezogen auf das Land Sachsen-Anhalt (StaLA, 2022a, StaLA 2022b; umgerechnet auf TM)

	2017	2018	2019	2020
Import	89.820	104.979	94.565	95.135
Export	2.913	4.375	5.002	5.559
Importüberschuss	86.907	100.604	89.563	89.576

Im Zeitraum 2017 bis 2020 betrug der Importüberschuss mit Ausnahme des Jahres 2018 knapp 90.000 t TM pro Jahr. Im Jahr 2018 stieg der Importüberschuss zwischenzeitlich auf ca. 100.000 t TM an. Den Statistiken lässt sich zudem entnehmen, dass von diesen Importmengen jährlich zwischen 55.000 und 70.000 t TM in energetischen Verwertungsanlagen und zwischen 22.500 und 33.000 t TM in biologischen Behandlungsanlagen (insbesondere Kompostierung) verwertet werden. Die Behandlung in thermischen Abfallbehandlungsanlagen, chemisch-physikalischen und sonstigen Behandlungsanlagen spielt eine untergeordnete Rolle. In der Prognose wird davon ausgegangen, dass sich an den vergleichsweise geringen Exportmengen zukünftig nicht viel ändern wird. Es ist eher damit zu rechnen, dass die Mengen zurückgehen werden, wenn bspw. die Mitverbrennung in Braunkohlekraftwerken ausläuft.

¹¹ Je nach individuellen Planungen und Rahmenbedingungen kann die Realisierung der jeweiligen Maßnahme auch früher oder später erfolgen und sich die jährlich prognostizierten Klärschlammengen geringfügig verschieben. Gleiches gilt, wenn die Faultürme die angenommene Mengenreduzierung unter- oder übererfüllen.

Zudem sind Schlämme aus der betriebseigenen Abwasserbehandlung in der Lebensmittelherstellung sowie nicht gefährliche Schlämme aus der biologischen Behandlung von industriellem Abwasser zu betrachten. Aufgrund der für das Statistische Landesamt geltenden Geheimhaltungsvorschriften sind vollständige Daten zum Aufkommen, den Verwertungswegen sowie Im- und Export nicht verfügbar. Durch einen Abgleich der verfügbaren abfallstatistischen Daten sowie einer Abfrage der bei den Überwachungsbehörden vorhandenen Angaben zu den behandelten Abfallmengen wurde ein Mengenpotenzial von ca. 50.000 t TM/a für diese Klärschlämme abgeschätzt, wobei dieser Wert einen Mittelwert darstellt, der Schwankungen unterliegt. Der überwiegende Teil dieser Abfälle stammt von Abfallerzeugern im Land Sachsen-Anhalt. Die bodenbezogene Verwertung spielt bei diesen Schlämmen eine untergeordnete Rolle. Die Importmengen werden zukünftig wesentlich durch die Errichtung der in Sachsen-Anhalt geplanten und im Bau befindlichen Verwertungskapazitäten sowie durch die diesbezüglichen Aktivitäten in den angrenzenden Bundesländern bestimmt.

Abbildung 10 zeigt einen Vergleich zwischen dem Klärschlammaufkommen aus der öffentlichen Abwasserbehandlung im Land Sachsen-Anhalt im Jahr 2020 sowie den derzeit in Betrieb, im Bau bzw. in Planung befindlichen thermischen Behandlungskapazitäten in Sachsen-Anhalt. Nicht berücksichtigt sind dabei Kohlekraftwerke, da diese entsprechend dem Stilllegungsplan für die Kohleverstromung mittelfristig nicht mehr für die Mitverbrennung zur Verfügung stehen werden.

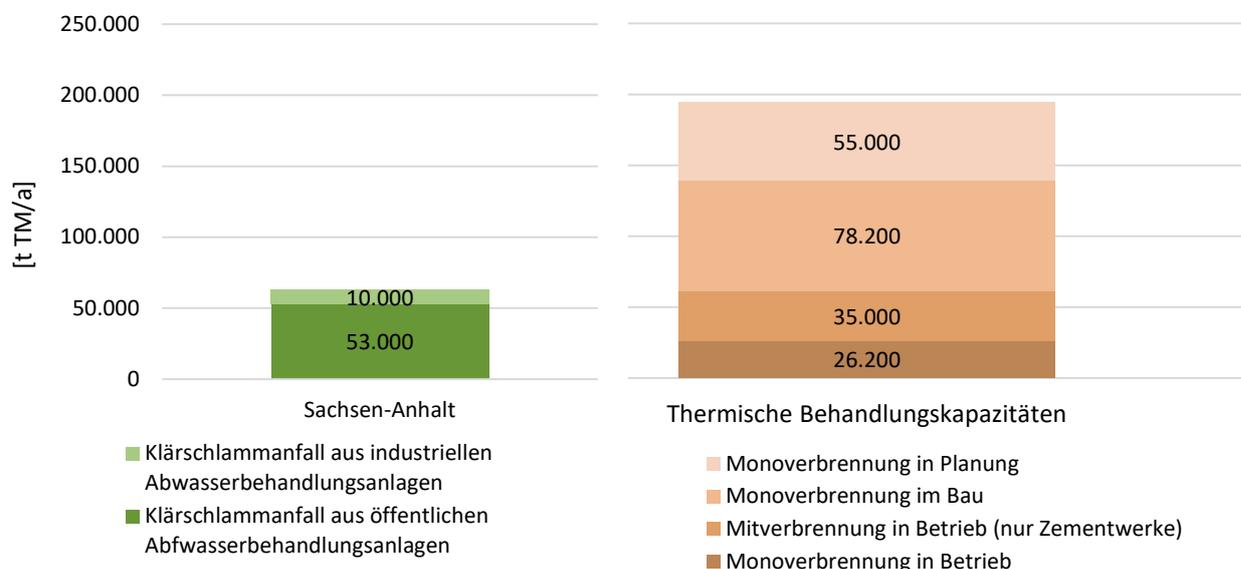


Abbildung 10: Vergleich des Klärschlammaufkommens 2020 in Sachsen-Anhalt mit den vorhandenen, geplanten und in Bau befindlichen Verwertungskapazitäten

Es wird deutlich, dass bei Realisierung aller bislang bekannten Projekte, die Kapazität deutlich das Aufkommen an Klärschlämmen in Sachsen-Anhalt übersteigen wird. Dies gilt auch wenn man unterstellt, dass in Planung befindliche Projekte nicht mehr realisiert werden würden. Zur Auslastung dieser Anlagen sind insofern Importe nötig, welche nachfolgend in zwei Szenarien Eingang in die Prognose der zu entsorgenden Klärschlammengen finden (siehe Abschnitt 7.2.2).

7.2 Klärschlammprognose bis 2032

7.2.1 Prognose des Klärschlammaufkommens von öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen

Die Prognose des Klärschlammaufkommens wird, wie in den vorhergehenden Abschnitten erläutert, maßgeblich durch die Bevölkerungsentwicklung bis zum Jahr 2032 beeinflusst, während die technischen Änderungen auf den Abwasserbehandlungsanlagen zum jetzigen Kenntnisstand einen marginalen Einfluss von etwa 1 % darstellen. Eine relevante Veränderung des Anschlussgrades der Bevölkerung an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen ist nicht zu erwarten und hat keinen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung des Klärschlammmanfalls. Alle Einflussgrößen und deren prognostizierte Auswirkungen auf den Klärschlammmanfall bis zum Jahr 2032 zeigt die nachfolgende Tabelle 7-3:

Tabelle 7-3: Einflussgrößen der Klärschlammmanfallprognose und deren Auswirkungen

Einflussgröße	Auswirkung auf Klärschlammmanfall
Bevölkerungsentwicklung	2022: -1,1 % 2023, 2024: jährlich -0,8 % 2025 –2028: jährlich -0,9 % 2029–2032: jährlich -1,0 %
Anschlussgrad an öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen	keine Auswirkungen
technische Änderungen	2024: -151 t TM bzw. -0,3% 2026: -683 t TM bzw. -1,3 %

Startwert der Prognose ist der Klärschlammmanfall aus dem Jahr 2020 von 53.009 t TM. In Verbindung mit Tabelle 7-3 ergibt sich bis zum Jahr 2032 folgender prognostizierter Klärschlammmanfall:

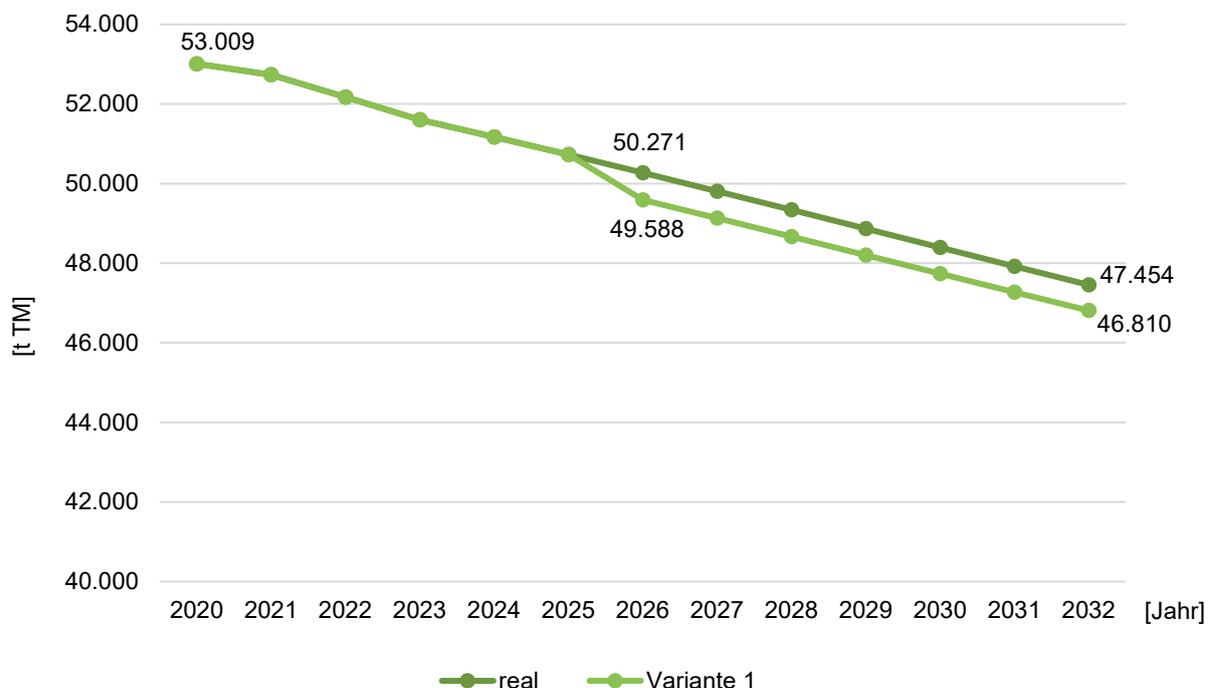


Abbildung 11: Prognose des Klärschlammanfalls aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen in Sachsen-Anhalt bis 2032 (ohne Import und Export)

Für das Jahr 2032 wird ein Klärschlammanfall von etwa 47.454 t TM (real) bzw. 46.810 t TM (Variante 1) prognostiziert. Dies entspricht einem Rückgang des Klärschlammaufkommens im Vergleich zum Jahr 2020 um 5.555 t TM (10,5 %) bzw. 6.199 t TM (11,7 %). Für die zu berücksichtigenden Klärschlamm-mengen aus industriellen Abwasserbehandlungsanlagen wird von einem gleichbleibenden Aufkommen ausgegangen. Daten, welche eine Tendenz zur Veränderung der Mengen stützen würden, liegen für diese Stoffströme nicht vor.

7.2.2 Prognose der in Sachsen-Anhalt zukünftig entsorgten Klärschlamm-mengen

Von dem in Abbildung 11 prognostizierten Klärschlammanfall sind die bis 2032 in Sachsen-Anhalt insgesamt zu entsorgenden Klärschlamm-mengen zu unterscheiden. Wie im Abschnitt 7.1.4 festgestellt, überwiegen in Sachsen-Anhalt die Importe. Maßgeblich für den Importüberschuss sind die Aktivitäten zum Bau von Entsorgungsanlagen sowie die in den angrenzenden Bundesländern zur Verfügung stehenden Behandlungskapazitäten. Eine genaue Prognose des Importüberschusses ist nicht möglich, da dieser vom Entsorgungsmarkt abhängig ist und neben den Planungen in Sachsen-Anhalt auch in den angrenzenden Bundesländern mehrere Anlagen in der Planung/Überlegung sind, welche die Mengenströme maßgeblich beeinflussen können. Wie sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Situation in den angrenzenden Bundesländern einschätzen lässt, wird nachfolgend erläutert und eine realistische und eine optimistische Einschätzung aus Sicht der Auslastung der in Sachsen-Anhalt befindlichen Anlagenkapazitäten abgegeben.

Eine Übersicht der Behandlungsanlagen, welche sich in Sachsen-Anhalt und den angrenzenden Bundesländern in Diskussion, Planung, Bau oder Betrieb befinden, zeigt die nachfolgende Abbildung 12.

Anlagen zur Behandlung von Klärschlamm
- Bundesrepublik - östlicher Teil, Stand 10/2022 -



Abbildung 12: Anlagen zur Behandlung von Klärschlamm – Übersicht Bundesrepublik (östlicher Teil)

Mecklenburg-Vorpommern: Am Standort Stavenhagen ist eine Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) im Bau und am Standort Rostock eine in Diskussion. Daneben wird eine kleine Anlage in Bergen auf Rügen betrieben. Bereits die Kapazität der Anlage in Stavenhagen überschreitet das in Mecklenburg-Vorpommern anfallende Klärschlammaufkommen. Es ist kaum mit Exporten nach Sachsen-Anhalt zu rechnen. Sowohl in der realistischen als auch der optimistischen Einschätzung wird von keinen Exporten nach Sachsen-Anhalt ausgegangen.

Berlin/Brandenburg: Beide Bundesländer sind im Zusammenhang zu sehen, da die Berliner Wasserbetriebe (BWB) Kläranlagen auf dem Gebiet des Landes Brandenburg betreiben und somit durch Brandenburger Einwohner erzeugte Klärschlamm-mengen mit entsorgen. Die BWB betreiben eine KVA in Berlin Ruhleben und errichten eine KVA in Waßmannsdorf. Die Kapazität beider Anlagen übersteigt das Berliner Klärschlammaufkommen und wird für Brandenburger Mengen mit genutzt. Der Norden des Bundeslandes (ca. 10.000 t TM/a) wird teilweise durch die Kapazitäten der KVA Stavenhagen in Mecklenburg-Vorpommern abgedeckt. Im Süden Brandenburgs (ca. 20.000 t TM/a) plant eine kommunale Klärschlammkooperation die Errichtung einer KVA im Raum Cottbus. In der optimistischen Sicht wird, unter der Voraussetzung, dass die kommunale Kooperation in Brandenburg nicht zustande kommt, von einem Potenzial von 20.000 t TM/a ausgegangen. In der realistischen Variante ist mit Exporten nicht zu rechnen.

Sachsen: Die Klärschlämme der Leipziger Kläranlage sowie von vier Nebenkäranlagen (ca. 11.000 t TM/a) werden bis mindestens 2032 in der KVA in Bitterfeld-Wolfen entsorgt und somit nach Sachsen-Anhalt exportiert. Darüber hinaus sind KVA in Chemnitz, Dresden und Boxberg geplant, deren geplante Kapazität das Klärschlammaufkommen in Sachsen übersteigen wird, so dass mit weiteren Exporten nach Sachsen-Anhalt langfristig nicht zu rechnen ist. In der optimistischen Variante wird davon ausgegangen, dass 11.000 t TM/a (Leipzig) weiterhin nach Sachsen-Anhalt exportiert werden, in der realistischen Variante wird zukünftig mit keinen Exporten mehr gerechnet.

Thüringen: Die Stadt Erfurt plant eine eigene Lösung mit einer Kapazität von ca. 5.000 t TM/a. Zudem bemüht sich mit dem Zweckverband zur Kommunalen Klärschlammverwertung Thüringen ein Zusammenschluss Thüringer Kläranlagenbetreiber um einen Standort für eine KVA. Bislang ist kein Standort bekannt. Der Zweckverband wird voraussichtlich fast 50 % (knapp 16.000 t TM/a) der in Thüringen anfallenden Klärschlämme entsorgen. Die verbleibende Menge von 14.000 t TM/a wird anderweitig entsorgt. In der optimistischen Variante wird von einem Exportpotenzial von 30.000 t TM/a und in der realistischen Variante von 14.000 t TM/a ausgegangen.

Niedersachsen: In Niedersachsen sind derzeit drei KVA (Hannover, Hildesheim, Helmstedt) mit jeweils 30.000–35.000 t TM/a sowie eine weitere kleinere KVA in Planung bzw. in Betrieb. Diese Anlagen decken zusammen ca. 50 % (ca. 95.000 t TM/a) des Klärschlammaufkommens in Niedersachsen ab. Die drei größeren Anlagen liegen alle im östlichen Teil des Bundeslandes, teilweise dicht an der Grenze zu Sachsen-Anhalt. Mit Exporten nach Sachsen-Anhalt ist nach gegenwärtigem Stand zukünftig kaum zu rechnen, da sich die im westlichen Teil des Bundeslandes befindlichen Abwasserbehandlungsanlagen eher in Richtung Nordrhein-Westfalen orientieren werden, wo ebenfalls größere thermische Klärschlammbehandlungskapazitäten entstehen werden. In der optimistischen Variante wird angenommen, dass 25 % der verbleibenden Menge (ca. 24.000 t TM/a) nach Sachsen-Anhalt exportiert werden könnten, die realistische Variante geht von keinen Exporten aus.

Tabelle 7-4 summiert das verfügbare Potenzial der benachbarten Bundesländer für einen Export nach Sachsen-Anhalt auf ca. 85.000 t TM/a in der optimistischen bzw. 14.000 t TM/a in der realistischen Variante. Zu berücksichtigen ist, dass dieses Potenzial durch den Anteil an weiterhin bodenbezogenen Klärschlämmen gemindert wird. Darum wird für die einzelnen Bundesländer auf Basis einer Annahme von 10 % des Gesamtklärschlamm-anfalls der Anteil

einer möglichen bodenbezogenen Verwertung abgeschätzt. Dieser verringert das jeweilige Potenzial auf 76.500 bzw. 12.600 t TM/a.

Tabelle 7-4: Maximal verfügbare Klärschlammengen der an Sachsen-Anhalt angrenzenden Bundesländer für einen Import nach Sachsen-Anhalt (Quelle: eigene Recherchen; LAGA 2022)

Bundesland	Optimistische Variante (t TM/a)	Realistische Variante (t TM/a)
Berlin/Brandenburg	20.000	0
Sachsen	11.000	0
Thüringen	30.000	14.000
Niedersachsen	24.000	0
Summe (gesamt)	85.000	14.000
Verbleibender Anteil an bodenbezogener Verwertung in den Bundesländern (10 %)	-8.500	-1.400
Summe Potenzial Import nach Sachsen-Anhalt zur thermischen Behandlung	76.500	12.600

Das optimistische Potenzial von 76.500 t TM/a ist etwas geringer als die aktuelle Importmenge. Die realistische Variante liegt mit nur noch 12.600 t TM/a deutlich darunter. Folgende Prognoseszenarien werden für die erforderlichen Importmengen zur Abdeckung der Behandlungskapazitäten in Sachsen-Anhalt betrachtet:

1. Prognose „MIN“: Importmengen unter Berücksichtigung der betriebenen und im Bau befindlichen KVA
2. Prognose „MAX“: Importmengen unter Berücksichtigung der betriebenen, im Bau befindlichen und in Planung befindlichen KVA

Tabelle 7-5 zeigt die erforderliche Importmenge zur Abdeckung der in den zwei Prognoseszenarien berücksichtigten thermischen Behandlungskapazitäten. Dazu werden die für die beiden Prognoseszenarien relevanten thermischen Behandlungskapazitäten den in Sachsen-Anhalt anfallenden kommunalen und den zu berücksichtigenden industriellen Klärschlammengen gegenübergestellt. Das im Abschnitt 7.2.1 prognostizierte kommunale Klärschlammaufkommen Sachsens-Anhalts (siehe Abbildung 11) wird dabei um einen angenommenen Anteil der bodenbezogenen Verwertung in 2025 von 20 % und 10 % ab 2029 vermindert.

Tabelle 7-5: Prognoseszenarien für Klärschlammimporte nach Sachsen-Anhalt (t TM/a)

Prognoseszenario	Thermische Behandlungskapazität Sachsen-Anhalt	Kommunaler Klärschlamm zur thermischen Behandlung	Industrieller Klärschlamm	Erforderliche Importmenge
MIN 2025	139.400	40.000	5.000	94.400
MIN 2029	139.400	43.000	5.000	91.400
MAX 2025	139.400	40.000	5.000	94.400
MAX 2029	194.400	43.000	5.000	146.400

Aus den in Tabelle 7-5 dargestellten Prognoseszenarien wird ersichtlich, dass das in den Nachbarländern verfügbare maximale Importpotenzial der optimistischen Variante von bis zu 76.500 t TM/a die erforderlichen Importmengen bereits das MIN-Szenario nicht mehr abdecken. Werden die in den Nachbarländern derzeit in Planung bzw. Diskussion befindlichen Anlagen umgesetzt, wird sich das Potenzial des Imports aus diesen Bundesländern noch deutlich verringern. Es ist mit Auslastungsproblemen der in Sachsen-Anhalt in Betrieb und im Bau befindlichen thermischen Behandlungskapazitäten bereits im MIN-Szenario zu rechnen.

7.2.3 Prognose der zukünftig zu verwertenden Klärschlammmaschen

Klärschlammmaschen von Klärschlämmen, die mehr als 20 g P/kg TM enthalten haben, müssen ab 2029 einer Phosphorrückgewinnung unterzogen werden. Da phosphorarme Klärschlämme nicht in Klärschlammmonoverbrennungsanlagen, sondern kostengünstiger in der Mitverbrennung entsorgt werden dürften, wird hier davon ausgegangen, dass alle Klärschlammmaschen aus Klärschlammmonoverbrennungsanlagen in Phosphorrückgewinnungsanlagen behandelt werden müssen. Alternativ ist bei entsprechender Qualität auch ein direkter Einsatz in der Düngemittelherstellung möglich.

Bei der thermischen Entsorgung von Klärschlämmen fallen ca. 45-50 % Klärschlammmasche bezogen auf die Klärschlamm-trockenmasse an.

Demzufolge ist mit den in Tabelle 7-6 dargestellten Mengen an Klärschlammmonoverbrennungsaschen zu rechnen.

Tabelle 7-6: Prognose der in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlammmaschen

Prognoseansatz	Klärschlammmasche [t/a]
In Sachsen-Anhalt anfallende Klärschlämme [maximal 53.000 t TM/a]	maximal 23.850–26.500
Output der in Sachsen-Anhalt in Betrieb befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen (Kapazität: 104.400 t TM/a)	ca. 46.980–52.200
Output der in Sachsen-Anhalt in Betrieb und in Diskussion befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen (Kapazität: 159.400 t TM/a)	ca. 71.730–79.700

In Sachsen-Anhalt werden derzeit folgende Phosphorrückgewinnungsanlagen betrieben bzw. sind in Planung:

- Seraplant GmbH Haldensleben (in Betrieb; derzeit Stillstand aufgrund vorläufiger Insolvenz, Weiterbetrieb angestrebt), Kapazität: ca. 20.000 t Klärschlammmasche pro Jahr
- Phosphorgewinnung Schkopau GmbH (in Planung), Kapazität: 30.000 t Klärschlammmasche pro Jahr, ggf. in 2026 Errichtung einer 2. Linie mit weiteren 30.000 t Klärschlammmasche pro Jahr

Die beschriebenen Kapazitäten würden theoretisch ausreichen, um die in den derzeit bereits in Betrieb befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen anfallenden Aschen zu verwerten. Allerdings ist der Weiterbetrieb der Anlage in Haldensleben nicht gesichert. Zudem verfügt diese Anlage über eine Kooperationsvereinbarung mit der EEW Energy from Waste GmbH, so dass die Anlage auch Aschen aus EEW-Anlagen verwertet, welche sich nicht in Sachsen-Anhalt befinden. In welchem Umfang die anfallenden Aschen direkt in der Düngemittelindustrie Verwendung finden können, lässt sich nicht prognostizieren.

Insofern ist festzustellen, dass die derzeit betriebenen bzw. in Planung befindlichen Phosphorrückgewinnungskapazitäten ausreichend sind für die Klärschlammmonoverbrennungsaschen, die bei der thermischen Verwertung der in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlämme entstehen (bis zu 23.850–26.500 t/a).

Für die insgesamt in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlammmonoverbrennungsaschen (46.980-52.200 t/a), welche zu einem großen Anteil durch die thermische Behandlung importierter Klärschlämme entstehen (siehe Abschnitt 7.2.2), bedarf es weiterer Kapazitäten, um eine autarke Phosphorrückgewinnung innerhalb des Bundeslandes sicherzustellen. Die Größenordnung ist abhängig von der verwerteten Menge an Klärschlammmonoverbrennungsaschen aus Sachsen-Anhalt bei der Seraplant GmbH in Haldensleben, der Umsetzung der geplanten Anlage der Phosphorgewinnung Schkopau GmbH sowie des Umfangs des direkten Einsatzes in der Düngemittelindustrie.

Die derzeit noch in Diskussion befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen an den Standorten Zeitz und Leuna sollen in Verbindung mit jeweils eigenen Phosphorrückgewinnungsanlagen umgesetzt werden. Insofern haben diese Planungen keinen Einfluss auf die obige Feststellung.

7.2.4 Betrachtung der Prognoseunsicherheiten

Folgende Unsicherheitsfaktoren beeinflussen die Prognosen und betrachteten Szenarien:

- Wenn nur Angaben in Originalsubstanz verfügbar waren (bspw. Abfallstatistik des Statistischen Landesamtes) wurden die Werte mit dem Faktor 0,25 in Trockensubstanz umgerechnet. In der Praxis schwankt der Trockensubstanzgehalt entwässerter Klärschlämme allerdings im Bereich zwischen 20 und 30 %. Diese Unsicherheit wird insgesamt als gering eingeschätzt.
- Technische Änderungen (bspw. die Errichtung von Klärschlammfäulungsanlagen), konnten in der Prognose nur berücksichtigt werden, insoweit im Rahmen der Befragung der Kläranlagenbetreiber dazu Angaben gemacht wurden. Bei einigen Anlagen war der Zeitpunkt der Inbetriebnahme der technischen Änderung unklar. Aufgrund des geringen Einflusses der einzelnen technischen Änderungen auf die Gesamtmengen ist auch hier die Auswirkung der Unsicherheiten vergleichsweise gering.
- Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist die hohe Anzahl der Teichkläranlagen (TKA) in Sachsen-Anhalt in der Prognose. Die Unsicherheit ist darauf zurückzuführen, dass auf Teichkläranlagen Klärschlamm in hohen zeitlichen Abständen, in der Regel alle 2–3 Jahre anfällt. In Auswertung der Eigenüberwachungsberichte aus dem Jahr 2020 wurde für insgesamt 41 Abwasserbehandlungsanlagen kein Klärschlammfall im Jahr 2020 registriert. Je nach dem individuellen Beräumungszyklus der TKA kann der Klärschlammfall in den Folgejahren deshalb durchaus höher sein als im

Jahr 2020. Inwieweit ein Mengenausgleich mit den TKA besteht, welche im Jahr 2020 beräumt wurden und dafür in den darauffolgenden 2–3 Jahre nicht, kann nicht abgeschätzt werden. Aufgrund der vergleichsweise geringen Klärschlammmenge, die in Teichkläranlagen anfällt, ist die Auswirkung dieser Unsicherheit gering.

- Die der Abfallstatistik des statistischen Landesamtes entnommenen Mengen der Klärschlämme aus der Lebensmittelerzeugung wurden zu 100 % berücksichtigt. Dabei kann nicht eingeschätzt werden, ob diese Schlämme die Voraussetzungen des § 2 Abs. 4 Nr. 2 AbfklärV erfüllen, dass sie bei der Reinigung von Abwasser erzeugt wurden, welches in einer betriebseigenen Abwasserbehandlungsanlage behandelt wurde und in seiner stofflichen Zusammensetzung mit häuslichem und kommunalem Abwasser vergleichbar ist. Dies ist in der Regel dann der Fall, wenn keine strikte Trennung der Produktionsabwässer von den im Betrieb anfallenden Sanitärabwässern vorgenommen wird. Insofern ist das angegebene Mengenpotenzial als maximales Potenzial zu verstehen und ist in der Realität geringer. Für den betrachteten Stoffstrom sind die Auswirkungen dieser Unsicherheit hoch.
- Bei der Prognose der Auslastung der thermischen Behandlungskapazitäten wird die Verwertung von importierten Klärschlämmen in Kompostieranlagen nicht berücksichtigt, da deren zukünftige Kapazitäten nicht abschätzbar sind. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass im Zuge des Rückgangs der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlämmen die Kapazitäten der Kompostieranlagen durch andere Abfälle (bspw. Bioabfälle) genutzt werden. Da bezogen auf alle betrachteten Stoffströme mehr als 25.000 t TM/a derzeit noch kompostiert werden, ist die Auswirkung hoch.
- Die Kalkulation des Exportpotenzials der benachbarten Bundesländer bildet den dortigen IST-Stand der Planungen ab. Zukünftige Veränderungen können nicht ausgeschlossen werden. Wie hoch dieser Unsicherheitsfaktor ist, hängt von der Realisierung geplanter Projekte und neu bekanntwerdender Projekte ab und kann demzufolge nicht bewertet werden.
- Die Umsetzung der derzeit in Diskussion befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen ist unklar.
- Der Weiterbetrieb der Phosphorrückgewinnungsanlage in Haldensleben ist derzeit nicht gesichert, zudem ist der Umfang der Verwertung von Klärschlammmonoverbrennungssaschen aus anderen Bundesländern in dieser Anlage nicht bekannt.
- Der Umfang einer möglichen direkten Verwertung von Klärschlammmonoverbrennungssaschen in der Düngemittelindustrie ist nicht bekannt.

8 Szenarien zur zukünftigen Klärschlammentsorgung

8.1 Mögliche Szenarien der zukünftigen Klärschlammentsorgung

Zur Bewertung möglicher Optionen der zukünftigen Entsorgung der Klärschlämme in Sachsen-Anhalt werden drei unter den Bedingungen in Sachsen-Anhalt als realistisch anzunehmende Szenarien betrachtet.

Für alle Szenarien gelten folgende Randbedingungen:

- Die zukünftigen Klärschlammengen werden durch eine regionalisierte Prognose ermittelt, welche insbesondere auf der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung sowie

auf bekannten Modernisierungsvorhaben auf Kläranlagen mit Einfluss auf die Klärschlammmenge beruht. Darüber hinaus wird der für die Anlagenauslastung erforderliche Klärschlammimport berücksichtigt. Hinsichtlich des Anschlussgrades der Bevölkerung an die öffentliche Abwasserentsorgung wird von einem gleichbleibenden Stand ausgegangen.

- Die für die Klärschlammentsorgung verfügbaren Kapazitäten in der Mono- und der Mitverbrennung werden in zwei Stufen betrachtet. Die erste Stufe bilden die derzeit in Betrieb und im Bau befindlichen Anlagen, die zweite Stufe bilden die derzeit in Planung befindlichen Anlagen. Mindestkriterium für den Planungsstatus ist ein eingereichter immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsantrag.
- Mitverbrennungskapazitäten in Kohlekraftwerken (Schkopau, Deuben) werden nicht mitbetrachtet, da sie aufgrund des beschlossenen Kohleausstiegs nicht als zukünftig tragfähige Lösungen angesehen werden können. Gleichwohl bilden sie bis zu ihrer Außerbetriebnahme eine wichtige Grundlage der Klärschlammentsorgung.
- Es wird angestrebt, die Entsorgung der in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlämme in Sachsen-Anhalt durchzuführen (Entsorgungsautarkie).
- Bei der Nutzung von Anlagen Dritter durch Aufgabenträger der kommunalen Abwasserentsorgung ist das Vergaberecht zu beachten. Die Entsorgung der anfallenden Klärschlämme hat im Ergebnis eines öffentlichen Vergabeverfahrens in der Anlage zu erfolgen, welche das wirtschaftlichste Angebot abgegeben hat. Die vorliegende Szenarienbetrachtung verfolgt das Prinzip der örtlichen Nähe. Durch die Ergebnisse der öffentlichen Vergabe kann es in der Realität zu Abweichungen von dieser Betrachtung kommen.
- Die Regionen werden zwar grundsätzlich für sich betrachtet, allerdings können Synergien zwischen einzelnen Regionen durchaus sinnvoll sein und werden entsprechend in der Szenarienbetrachtung erwähnt.
- Kapazitäten in Kompostieranlagen werden nicht explizit betrachtet. Für die Kompostierung bestehen aktuell in allen Regionen ausreichende Kapazitäten, um den Bedarf zur Klärschlammkompostierung zu decken. Bei einem zu erwartenden Rückgang der bodenbezogenen Verwertung und des damit rückläufigen Bedarfs an Kompostierkapazitäten müssen diese Anlagen die Klärschlämme durch andere Input-Materialien, bspw. Bioabfälle, substituieren.

Szenario 1: Fortführung der gegenwärtigen Situation unter Berücksichtigung der P-Rückgewinnungspflicht

Das Szenario beinhaltet die Fortführung der jeweiligen gegenwärtigen Situation, indem lediglich die ab 2029/32 geltenden Mindestanforderungen an die P-Rückgewinnung umgesetzt werden. Es wird angenommen, dass die Klärschlämme aller Kläranlagen der GK 5 ab 2029 und aller Kläranlagen der GK 4b ab 2032 in Klärschlammmonoverbrennungsanlagen mit anschließender P-Rückgewinnung als wahrscheinlichste Option der zukünftigen Klärschlammentsorgung entsorgt werden. Die Kläranlagen der GK 1 bis GK 4a entsorgen die anfallenden Klärschlämme auf dem bereits derzeit praktizierten Entsorgungsweg. Eine Ausnahme bilden Kläranlagen der GK 1 bis GK 4a deren Klärschlämme mehr als 20 g P/kg TM enthalten und derzeit mitverbrannt werden, weil sie die Voraussetzungen nach AbfKlärV für die bodenbezogene Verwertung nicht erfüllen. Eine Phosphorrückgewinnung aus der Asche von kohle- und gasbefeuerten

Kraftwerken ist zwar zulässig, ist jedoch als Option nach gegenwärtigem Stand wenig wahrscheinlich. Insofern müssen auch diese Klärschlämme zukünftig in Monoverbrennungsanlagen behandelt werden.

Szenario 2: Mono- und Mitverbrennung aller Klärschlämme

Im Rahmen dieses Szenarios werden sämtliche Klärschlämme einer thermischen Entsorgung mit Phosphorrückgewinnung zugeführt. Die Phosphorrückgewinnung kann dabei entweder durch direkten Einsatz der aufbereiteten Asche in der Düngemittelindustrie oder durch eines der in Entwicklung bzw. schon im Betrieb befindlichen Phosphorrückgewinnungsverfahren erfolgen. Derzeit befinden sich noch zahlreiche Verfahren im Pilotmaßstab (siehe Abschnitt 3.3 und Anhang 1)

Es findet keine bodenbezogene Verwertung mehr statt. Das Szenario zielt auf die zukünftige Möglichkeit sich verschärfender Vorgaben der bodenbezogenen Verwertung ab. Vor dem Hintergrund der Diskussionen um Mikroplastik und um die Gehalte an Arzneimittelrückständen in den anfallenden Klärschlämmen ist der Wegfall des bodenbezogenen Entsorgungsweges eine realistische Option.

Szenario 3: Etablierung dezentraler Verfahren

Diesem Szenario liegt die Etablierung dezentraler Verfahren mit geringen Durchsätzen zugrunde. Neben zentralen Klärschlammmono- und -mitverbrennungsanlagen sind Lösungen mit geringeren Durchsätzen bereits großtechnisch verfügbar, welche den Vorteil geringerer Transportentfernungen bieten. Die Phosphorrückgewinnung kann dabei, wie im Szenario 2, direkt durch den Einsatz der Asche oder deren Behandlung durch eines der Phosphorrückgewinnungsverfahren erfolgen. In Frage kommen bspw. Verbrennungsverfahren auf Basis der Drehrohrtechnologie, die bereits praxisbewährt sind. Die Drehrohrofentechnologie wird von verschiedenen Herstellern mit Durchsatzleistungen zwischen 1.000 bis 5.000 t TM/a angeboten. Die Kosten einer solchen Lösung orientieren sich an den Kosten der zentralen Behandlungsanlagen. Der wesentliche Vorteil liegt in der Minimierung der Transportkosten. Pyrolyseverfahren können derzeit aufgrund der fehlenden düngemittelrechtlichen Zulässigkeit der landwirtschaftlichen Verwertung der Pyrolyseprodukte nicht empfohlen werden. Inwieweit die Zulassung zukünftig erfolgt, ist nicht abzusehen.

Struvitfällungsverfahren wurden als Szenario nicht betrachtet, da in Sachsen-Anhalt nur wenige Kläranlagen betrieben werden, welche über eine für Struvitfällungsverfahren erforderliche biologische Phosphorelimination verfügen. Gleichwohl ist denkbar, dass derartige Verfahren auf einzelnen Anlagen zur Anwendung kommen könnten und werden demzufolge in den Steckbriefen zum Kapitel 3.3 mit beschrieben.

8.2 Regionale Betrachtung

Die Szenarien kommen im Rahmen einer regionalisierten Betrachtung zur Anwendung. Das Land Sachsen-Anhalt wird unter Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten in drei Regionen unterteilt, welche nachfolgend beschrieben werden.



Abbildung 13: Regionale Einteilung Sachsen-Anhalt mit Abwasserbehandlungsanlagen GK 4b und 5 (Quelle: INTECUS)

8.2.1 Region Nord

8.2.1.1 Charakteristik der Region Nord

Die Region Nord setzt sich aus den Landkreisen Salzwedel, Stendal und Jerichower Land zusammen. Im Jahr 2020 fielen in den drei Landkreisen insgesamt 5.692 t TM an Klärschlamm an. Kennzeichnend für die Region sind eine geringe Anzahl großer Kläranlagen der GK4b und GK5 (jeweils eine) sowie das Fehlen thermischer Behandlungskapazitäten.

Zwar befindet sich eine weitere Kläranlage der GK5 in Gerwisch (Landkreis Jerichower Land), da allerdings in dieser Kläranlage das Abwasser der Stadt Magdeburg beseitigt wird

und die anfallenden Klärschlämme zukünftig in Magdeburg-Rothensee entsorgt werden, wird diese Kläranlage der Region Mitte zugeordnet. Dies gilt ebenso für die in der Kläranlage Gerwisch anfallenden Klärschlämme.

Abbildung 14 zeigt eine Übersicht über die Region mit den Kläranlagen der GK 4b und 5 sowie den geplanten und in Betrieb befindlichen Behandlungsanlagen für Klärschlämme.

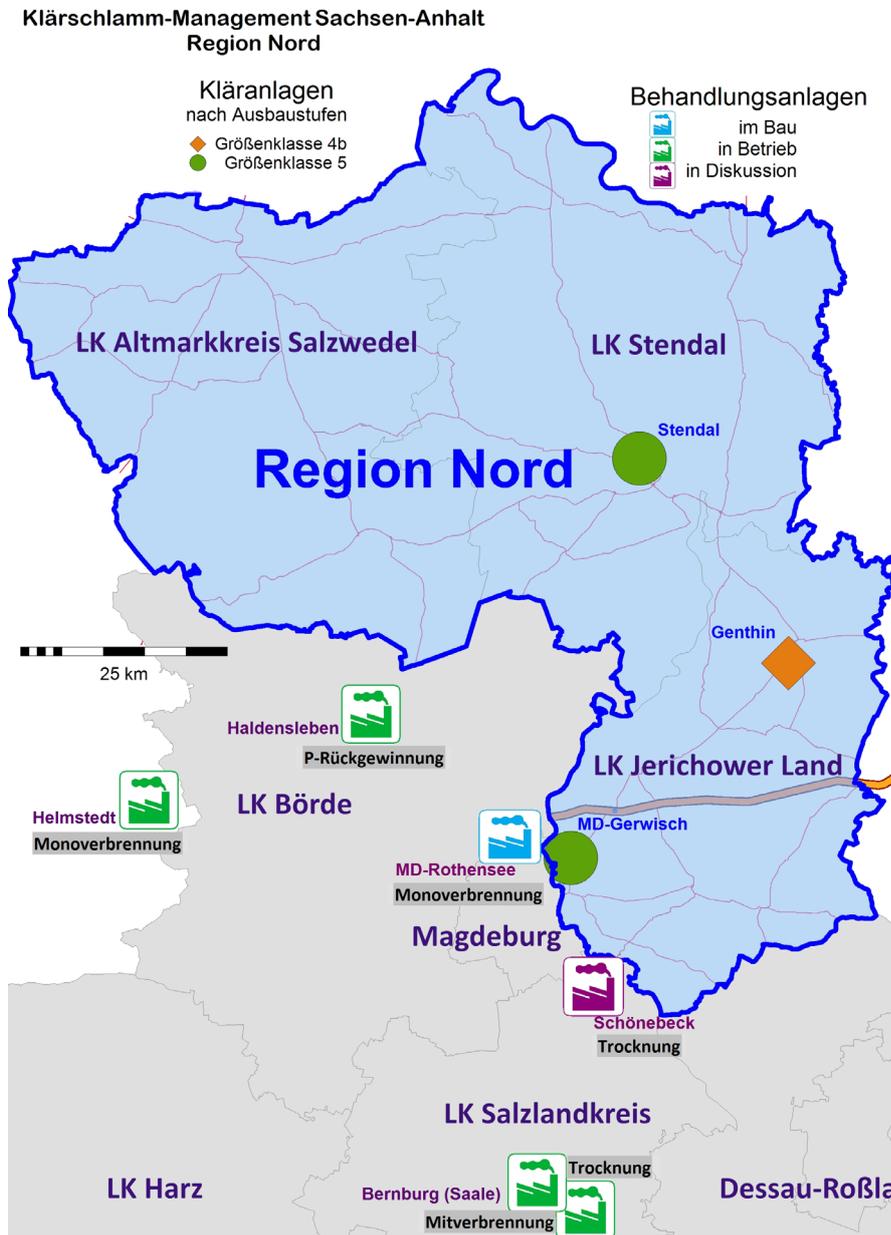


Abbildung 14: Übersicht über die Region Nord mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme

Aufgrund der geringen Anzahl größerer Kläranlagen sowie des Fehlens thermischer Behandlungskapazitäten in der Region dominiert bei der Verwertung der anfallenden Klärschlämme mit 81 % die bodenbezogene Verwertung. 50 % der Klärschlämme werden direkt landwirtschaftlich verwertet, 31 % kompostiert. Lediglich 19 % der anfallenden Klärschlämme werden thermisch entsorgt (Bezugsjahr 2020). Abbildung 15 zeigt die

mengenmäßige und prozentuale Aufteilung der anfallenden Klärschlämme auf die einzelnen Entsorgungswege im Jahr 2020.

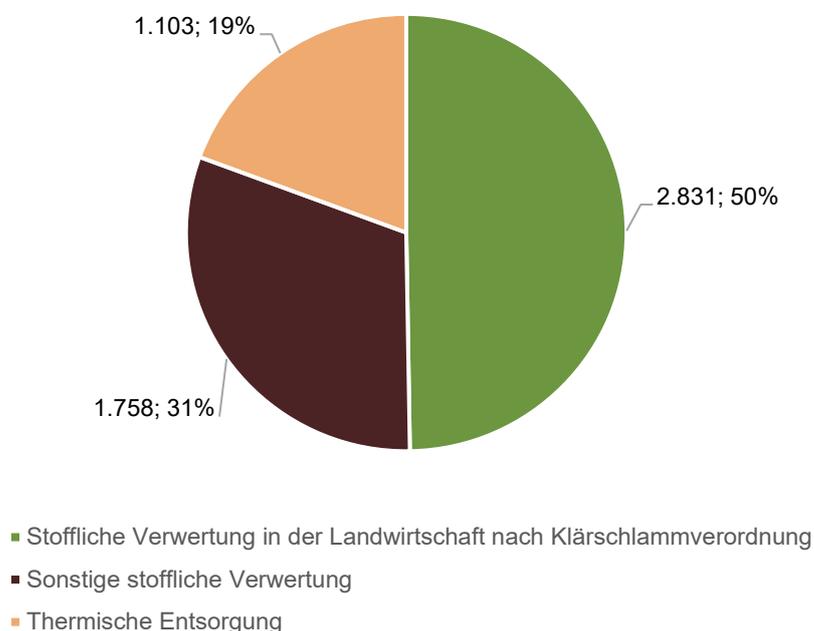


Abbildung 15: Entsorgungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Nord (Datenquelle: StaLA, 2022)

Ab 2029 sind die in der Kläranlage Stendal-Stadtforst anfallenden Klärschlämme (GK5, ca. 1.646 t TM/a in 2020 (lt. Bericht zur Eigenüberwachung)) und ab 2032 zudem die Klärschlämme aus der Kläranlage Genthin (GK4b, 503 t TM/a in 2020 (lt. Bericht zur Eigenüberwachung)) einer P-Rückgewinnung zu unterziehen. Beide Kläranlagen verwerten die anfallenden Klärschlämme derzeit noch bodenbezogen, was ab 2029 bzw. 2032 nicht mehr zulässig ist. Tabelle 8-1 zeigt die Prognose der zukünftig anfallenden Klärschlammengen. Aufgrund der rückläufigen Bevölkerungsentwicklung ist auch mit einem Rückgang der Klärschlammengen bis 2032 um ca. 11 % zu rechnen. Tabelle 8-1 zeigt die Entwicklung der prognostizierten Klärschlammengen bis zum Jahr 2032.

Tabelle 8-1: Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammmanfall Region Nord 2020–2032

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Einwohner	282.575	279.247	276.833	274.382	271.904	269.384	266.821
Klärschlamm [t TM/a]	5.692	5.625	5.576	5.527	5.477	5.426	5.375
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Einwohner	264.217	261.584	258.942	256.303	253.671	251.048	
Klärschlamm [t TM/a]	5.322	5.269	5.216	5.163	5.110	5.057	

8.2.1.2 Szenarienbetrachtung für die Region Nord

Die Region Nord verfügt derzeit über einen hohen Anteil an bodenbezogen verwerteten Klärschlämmen. In Tabelle 8-2 sind die im Jahr 2020 genutzten Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 der Region Nord dargestellt.

Tabelle 8-2: Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Nord im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)

Kläranlage	GK	Klärschlamm- menge 2020 [t TM]	Verwertungsweg 2020
Stendal	5	1.646	100 % direkte landwirtschaftliche Verwertung
Genthin	4b	503	20 % direkte landwirtschaftliche Verwertung, 80 % Kompostierung
Summe		2.146	

Für die meisten Kläranlagen der Region besteht vor dem Hintergrund der zukünftigen Regelungen der AbfKlärV kein Anlass, die derzeit genutzte Verwertungsmöglichkeit zu ändern. Lediglich die Kläranlagen Stendal (ab 2029) und Genthin (ab 2032), die beide zusammen eine Klärschlammmenge von ca. 2.150 t TM erzeugen, dürfen diesen Entsorgungsweg zukünftig nicht mehr nutzen. Beide Kläranlagen entsorgen zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch bodenbezogen.

Das Szenario 1 (Fortführung der gegenwärtigen Situation unter Berücksichtigung der P-Rückgewinnungspflicht) lässt sich insofern gut auf die Region Nord übertragen.

Für die Kläranlagen Stendal und Genthin liegt die Klärschlammmonoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee in zumutbarer Transportentfernung (ca. 50 km (Genthin) bzw. 70 km (Stendal)). Da sich die Klärschlammmonoverbrennungsanlagen der Region Süd bereits in über 100 km Entfernung befinden, ist die Nutzung der Kapazitäten in Magdeburg zu empfehlen. Für alle anderen Kläranlagen, die derzeit bodenbezogen verwerten, erscheint die Fortführung dieses Verwertungsweges im derzeitigen Umfang weiterhin möglich und sinnvoll.

Als Risiken für dieses Szenario sind zum einen Kostenentwicklungen bei der bodenbezogenen Verwertung aufgrund wachsender Flächenkonkurrenz zu nennen. Zwar ist derzeit aufgrund der gestiegenen Düngemittelpreise wieder eine verstärkte Nachfrage nach Alternativen zu Mineraldüngern zu verzeichnen, allerdings ist derzeit nicht abzusehen, wie lange diese Situation Bestand haben wird und es möglicherweise wieder zu sinkenden Preisen auf dem Mineraldüngermarkt kommen wird. Zum anderen ist mittelfristig mit einer verstärkten Diskussion des Eintrags von Schadstoffen, antibiotikaresistenten Bakterien, Antibiotika-Resistenzgenen und mobilen genetischen Elementen (Wolters et al., 2022) sowie von Mikroplastik in den Boden zu rechnen, die zu einer Verschärfung von Grenzwerten und damit zu einer weiteren Einschränkung der bodenbezogenen Klärschlammverwertung führen könnte. Die Entsorgungssicherheit ist unter den Voraussetzungen, dass die bodenbezogene Verwertung weiterhin möglich ist und die Klärschlämme der Kläranlagen Stendal und Genthin in Magdeburg-Rothensee mit anschließender Phosphorrückgewinnung thermisch entsorgt werden können, im Szenario 1 gegeben.

Alternativ zum Szenario 1 könnte auch das Szenario 3 zum Tragen kommen, wenn für die Klärschlämme, die zukünftig einer Phosphorrückgewinnungspflicht unterliegen, keine Behandlungskapazitäten in einer zentralen Klärschlammmonoverbrennungsanlage in zumutbarer Transportentfernung zur Verfügung stehen. Dann könnte eine dezentrale thermische Behandlung der anfallenden Klärschlämme die Entsorgungssicherheit gewährleisten. Die anfallende Asche könnte bei entsprechender Qualität direkt landwirtschaftlich verwertet werden oder müsste ein Phosphorrückgewinnungsverfahren durchlaufen. Die Wahl dieser Option ist als Einzelfallentscheidung im Rahmen eines

Wirtschaftlichkeitsvergleichs im Vergleich zur Entsorgung in den in der Region Süd vorhandenen thermischen Behandlungsanlagen (ca. 150 km Transportentfernung) zu prüfen. Auch eine Entsorgung in Niedersachsen (Transportentfernung nach Helmstedt ca. 100 km) wäre in diesem Fall eine Vergleichsoption. Die Anlage in Stavenhagen (Mecklenburg-Vorpommern) ist mit ca. 200 km Transportentfernung deutlich weiter entfernt. Bei der Betrachtung der dezentralen Option ist auch zu prüfen, welche Anlagengröße zum Einsatz kommen soll und inwieweit mittels kommunaler Kooperationen der Anlageninput gesichert werden kann.

Das Szenario 2 (Mono- und Mitverbrennung aller Klärschlämme) ist für die Region Nord, solange die bodenbezogene Verwertung möglich bleibt, keine Option. Aufgrund der geringen Anzahl größerer Kläranlagen besteht seitens der Kläranlagenbetreiber kein Bedarf für dieses Szenario. Zudem befindet sich lediglich die Klärschlammmonoverbrennungsanlage in Magdeburg-Rothensee in einer Transportentfernung von weniger als 100 km.

8.2.1.3 Fazit

Die Region Nord verfügt bislang über keine regional etablierte Anlage für die Klärschlamm Entsorgung. Die bodenbezogene Verwertung spielt eine große Rolle.

Die bodenbezogene Verwertung in der Landwirtschaft sollte in der ländlich geprägten und dünn besiedelten Region Nord als kostengünstiger und regionaler Verwertungsweg beibehalten werden, sofern die Grenzwerte für die bodenbezogene Verwertung nicht verschärft werden. Die Klärschlamm mengen der Kläranlagen Stendal und Genthin, für die zukünftig die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung wirksam wird, können prinzipiell in der Klärschlammmonoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee verwertet werden. Die Entsorgungssicherheit könnte unter diesen Voraussetzungen sichergestellt werden.

Da sich die Bedingungen für die bodenbezogene Verwertung aufgrund der Diskussionen um Mikroplastik und Arzneimittelrückstände zukünftig möglicherweise verschlechtern werden, bietet es sich an, mittelfristig über Alternativen nachzudenken. Für diesen Fall bzw. wenn die geschilderten Voraussetzungen für Szenario 1 nicht gegeben sind, sollte eine dezentrale Lösung unter Maßgabe einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Erwägung gezogen werden (Szenario 3).

8.2.2 **Region Mitte**

8.2.2.1 Charakteristik der Region Mitte

Die Region Mitte umfasst im Wesentlichen den Einzugsbereich der am Standort Magdeburg-Rothensee im Bau befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlage. Sie umfasst die Stadt Magdeburg sowie die Landkreise Börde, Harz und den Salzlandkreis. Im Jahr 2020 fielen in der Region Mitte insgesamt 15.612 t TM Klärschlamm an. In der Region befinden sich zwei Kläranlagen der GK 5 (Magdeburg/Gerwisch (gelegen im LK Jerichower Land, Erläuterung siehe Abschnitt 8.2.1.1), Calbe (Saale)) sowie fünf Kläranlagen der GK 4b (Schönebeck, Bernburg, Halberstadt, Wernigerode, Quedlinburg).

In der Region Mitte befinden sich mehrere Anlagen zur thermischen Behandlung von Klärschlämmen. In Betrieb ist die Mitverbrennung mit vorgeschalteter Trocknung im Zementwerk am Standort Bernburg. Die Kapazität beträgt 35.000 t TM/a. Im Bau ist am Standort Magdeburg-Rothensee eine Klärschlammmonoverbrennungsanlage mit einer Kapazität von

13.200 t TM/a. Darüber hinaus ist am Standort Haldensleben eine Anlage zur Phosphorrückgewinnung mit einer Kapazität zur Erzeugung von 60.000 t/a an Phosphatdünger (Input ca. 20.000 t/a Klärschlammmasche) in Betrieb.¹²



Abbildung 16: Übersicht über die Region Mitte mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme

Bei der Klärschlammverwertung überwog im Jahr 2020 mit 53 % die thermische Entsorgung. 47 % der Klärschlämme wurden bodenbezogen verwertet, wobei 29 % vorher kompostiert wurden. Abbildung 17 zeigt die Verteilung der in der Region Mitte im Jahr 2020 genutzten Entsorgungswege.

¹² Aufgrund hoher Gaspreise befindet sich das Betreiberunternehmen derzeit (Stand September 2022) in vorläufiger Insolvenz. Geschäftsführer und Insolvenzverwalter sehen jedoch gute Chancen, den Betrieb am Standort fortzuführen (umweltwirtschaft.com, 2022).

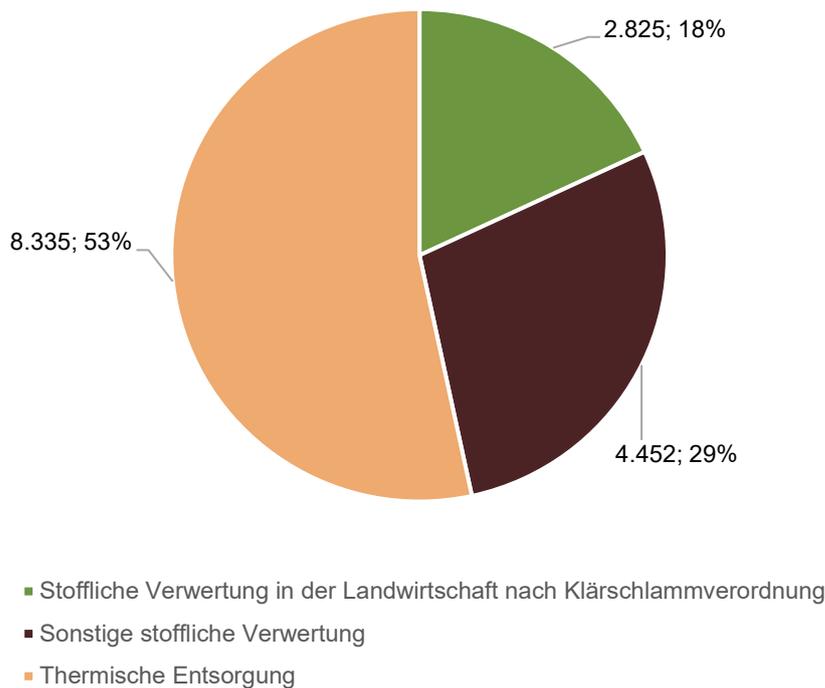


Abbildung 17: Entsorgungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Mitte (Datenquelle: StaLA, 2022)

Insbesondere der für die Region prognostizierte Bevölkerungsrückgang führt zu einem Rückgang der Klärschlammengen bis 2032 um ca. 10 %. Tabelle 8-3 zeigt die Entwicklung der prognostizierten Klärschlammengen bis zum Jahr 2032.

Tabelle 8-3: Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammmanfall Region Mitte 2020–2032

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Einwohner	804.774	799.633	793.698	787.546	781.219	774.747	768.086
Klärschlamm [t TM/a]	15.612	15.512	15.397	15.278	15.155	15.029	14.900
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Einwohner	761.297	754.411	747.468	740.497	733.532	726.621	
Klärschlamm [t TM/a]	14.769	14.635	14.500	14.365	14.230	14.096	

8.2.2.2 Szenarienbetrachtung für die Region Mitte

Die Region Mitte ist geprägt durch die Klärschlammmonoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee, welche den Bedarf der Region an Monoverbrennung von Klärschlämmen mit anschließender Phosphorrückgewinnung abdeckt. Die Phosphorrückgewinnung sollte, vorbehaltlich des Weiterbetriebs in der Anlage der Seraplant GmbH, am Standort Haldensleben erfolgen, mit der die EEW Energy from Waste GmbH als einer der Gesellschafter der MHKW Magdeburg-Rothensee GmbH eine Kooperationsvereinbarung abgeschlossen hat.

Zudem bestehen im Zementwerk der SCHWENK Zement GmbH am Standort Bernburg Mitverbrennungskapazitäten, die jedoch auch für Klärschlämme aus den anderen Regionen zur

Verfügung stehen. In Tabelle 8-4 sind die im Jahr 2020 genutzten Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 der Region Mitte dargestellt.

Tabelle 8-4: Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Mitte im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)

Kläranlage	GK	Klärschlamm- menge 2020 [t TM]	Verwertungsweg 2020
Magdeburg-Gerwisch	5	4.133	100 % Thermische Entsorgung
Calbe (Saale)	5	986	100 % Thermische Entsorgung
Schönebeck	4b	858	100 % Thermische Entsorgung
Bernburg	4b	846	100 % Thermische Entsorgung
Halberstadt	4b	558	74 % direkte landwirtschaftliche Verwertung, 26 % thermische Entsorgung
Wernigerode	4b	1.068	100 % Thermische Entsorgung
Quedlinburg	4b	675	45 % Kompostierung, 55 % sonstige stoffliche Verwertung/Vererdung
Summe		9.124	

Im Jahr 2020 sind in den Kläranlagen der GK 4b und 5 der Region Mitte 9.124 t TM an Klärschlämmen angefallen, das sind 58 % der Gesamtmenge der Region Mitte. 88 % dieser Klärschlämme wurden thermisch entsorgt, wobei es sich allerdings überwiegend um Mitverbrennung handelt. Diese Klärschlämme sind ab 2029/32 einer Klärschlammmonoverbrennung mit Phosphorrückgewinnung zuzuführen. Die Entsorgung der Klärschlämme der Kläranlage Magdeburg (GK 5) ist bereits für den Zeitraum 2024–2033 in der im Bau befindlichen Monoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee vertraglich gesichert.

Grundsätzlich kommt für die Region Mitte das Szenario 1 in Betracht. Kleinere Kläranlagen, welche weiterhin bodenbezogen verwerten dürfen, können diesen Entsorgungsweg weiterhin als kostengünstige und regionale Entsorgungsoption nutzen. Der größere Teil der Klärschlämme (mindestens 58 % der anfallenden Menge) muss zukünftig in einer Klärschlammmonoverbrennungsanlage mit anschließender Phosphorrückgewinnung behandelt werden. Hinzu kommt eine unbekannte Menge an Klärschlämmen aus kleineren Kläranlagen, welche nicht bodenbezogen verwertet werden können. Damit wäre die Klärschlammmonoverbrennungsanlage in Magdeburg-Rothensee ausgelastet, wenn man unterstellt, dass die Klärschlämme der Region Mitte nur in dieser Anlage entsorgt werden würden. Zudem besteht aus der Region Nord ein Kapazitätsbedarf von ca. 2.150 t TM/a, welcher aus Gründen der Transportentfernung ebenfalls in der Anlage in Magdeburg-Rothensee entsorgt werden sollte (siehe Abschnitt 8.2.1.2). Für die Phosphorrückgewinnung steht die Anlage der Seraplant GmbH in Haldensleben mit ausreichenden Kapazitäten zur Verfügung. Für Klärschlämme aus kleineren Anlagen, welche weniger als 2 % Phosphor enthalten, die allerdings die Grenzwerte nach AbfklärV für eine bodenbezogene Verwertung überschreiten, steht die Mitverbrennung im Zementwerk am Standort Bernburg zur Verfügung. Risiken für dieses Szenario bestehen in der möglichen Verschärfung der Anforderungen an den bodenbezogenen Verwertungsweg.

Auch das Szenario 2 (Mono- und Mitverbrennung aller Klärschlämme) wäre in der Region Mitte umsetzbar, da mit der Klärschlammmonoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee für 13.200 t TM/a an Klärschlämmen eine Entsorgungsoption mit Phosphorrückgewinnung zur Verfügung steht. Laut Prognose fallen 2029/32 noch ca. 14.500 t TM an Klärschlämmen

in der Region an. Wird wie im Szenario 1 unterstellt, dass 2.150 t TM aus der Region Nord in Magdeburg-Rothensee verwertet werden, verbleibt eine Kapazität von 11.050 t TM/a für Klärschlämme aus der Region Mitte. Für die Phosphorrückgewinnung steht auch in diesem Szenario die Anlage der Seraplant GmbH in Haldensleben mit ausreichenden Kapazitäten zur Verfügung. Es verbleiben demnach 3.450 t TM/a, welche in der Mitverbrennung verwertet werden müssten. Dies dürfen nur Klärschlämme sein, die weniger als 2 % Phosphor enthalten.

Vor dem Hintergrund der geschilderten ausreichenden Kapazitäten zur Behandlung der in der Region Mitte anfallenden Klärschlämme kommen dezentrale Lösungen (Szenario 3) aus wirtschaftlichen Erwägungen nicht in Betracht.

8.2.2.3 Fazit

Die Region Mitte ist mit der Klärschlammmonoverbrennungsanlage Magdeburg-Rothensee und dem Zementwerk Bernburg mit ausreichend thermischen Behandlungskapazitäten ausgestattet, um die in der Region anfallenden Klärschlämme zu entsorgen. Die Phosphorrückgewinnung kann in der Anlage der Seraplant GmbH in Haldensleben erfolgen. Sowohl das Szenario 1 (mit einem verbleibenden Anteil an bodenbezogener Verwertung) als auch das Szenario 2 (vollständige thermische Entsorgung) sind in der Region zur Gewährleistung der Entsorgungssicherheit zukünftig umsetzbar. Ein Bedarf für dezentrale Lösungen (Szenario 3) wird nicht gesehen.

8.2.3 **Region Süd**

8.2.3.1 Charakteristik der Region Süd

Die Region Süd besteht aus den Landkreisen Mansfeld-Südharz, Wittenberg, Anhalt-Bitterfeld, Saalekreis und Burgenlandkreis sowie den kreisfreien Städten Halle (Saale) und Dessau-Roßlau. Im Jahr 2020 fielen in der Region Süd insgesamt 31.705 t TM an kommunalem Klärschlamm an. In der Region befinden sich sechs Kläranlagen der GK 5 (Halle (Saale), Dessau-Roßlau, Wittenberg, Bitterfeld-Wolfen, Schkopau, Weißenfels) sowie sieben Kläranlagen der GK 4b (Zerbst/Anhalt, Jessen (Elster), Eisleben, Karsdorf, Naumburg (Saale), Zeitz, Infra Zeitz).

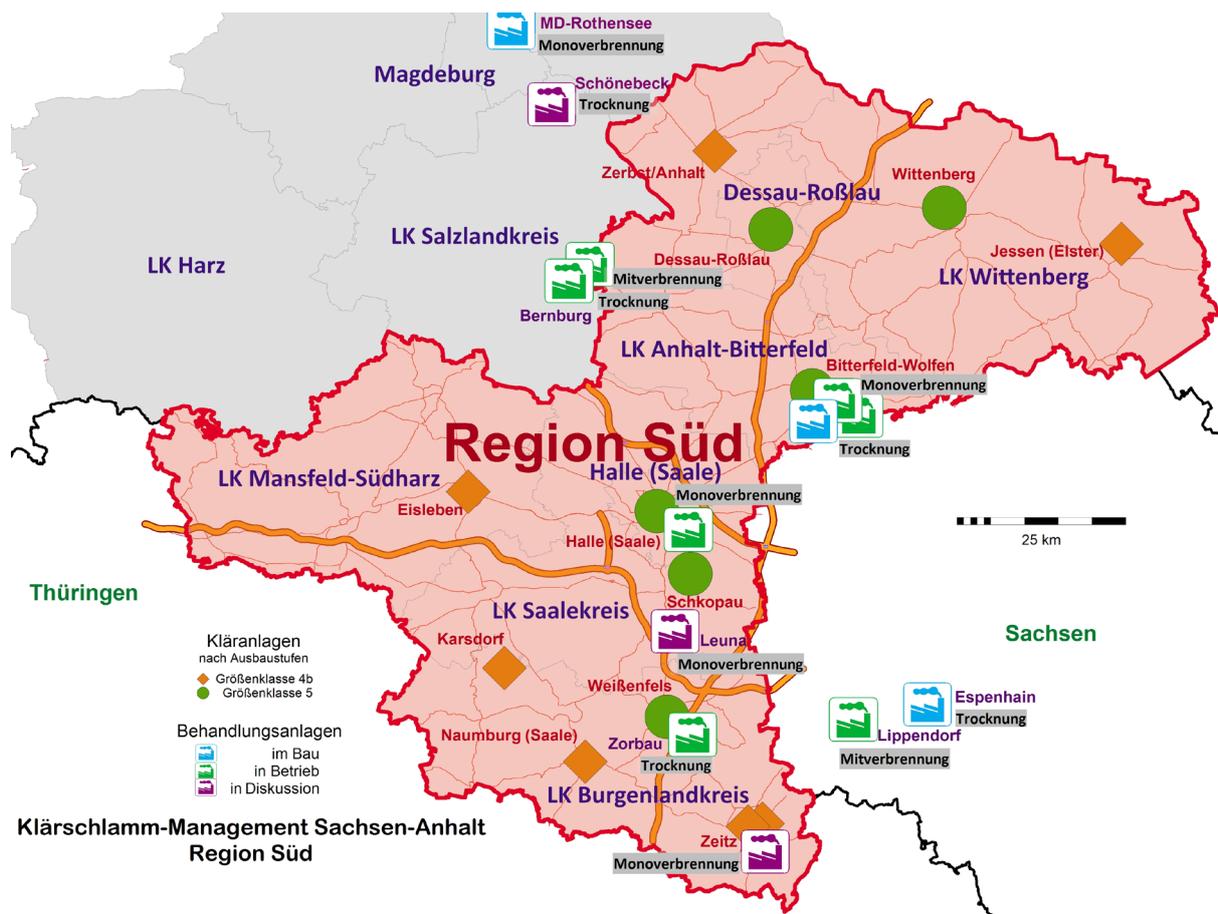


Abbildung 18: Übersicht über die Region Süd mit Kläranlagen der GK4b und 5 sowie Behandlungsanlagen für Klärschlämme

Bei der Klärschlammverwertung überwog im Jahr 2020 mit 55 % die thermische Entsorgung. 43 % der Klärschlämme wurden bodenbezogen verwertet, wobei 26 % vorher kompostiert wurden. 2 % werden auf sonstigen Wegen direkt entsorgt. Abbildung 19 zeigt die Verteilung der in der Region Mitte im Jahr 2020 genutzten Verwertungswege.

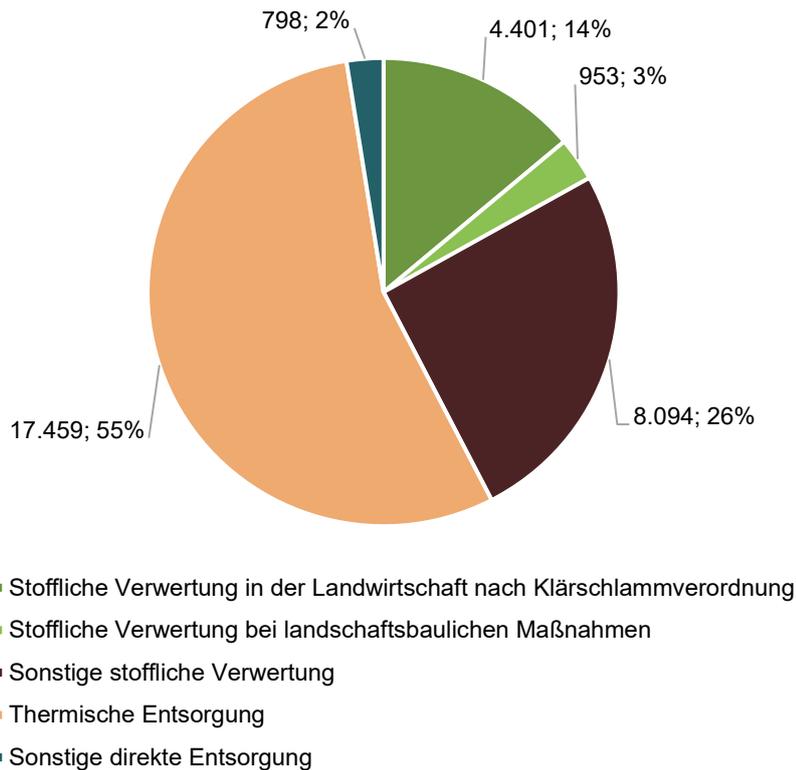


Abbildung 19: Verwertungswege der anfallenden Klärschlämme in der Region Süd (Datenquelle: StaLA, 2022)

Insbesondere der für die Region prognostizierte Bevölkerungsrückgang führt zu einem Rückgang der Klärschlammengen bis 2032 um ca. 10 %. Tabelle 8-5 zeigt die Entwicklung der prognostizierten Klärschlammengen bis zum Jahr 2032.

Tabelle 8-5: Prognose Bevölkerungszahlen und Klärschlammfall Region Süd 2020–2032

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Einwohner	1.093.335	1.084.310	1.075.851	1.067.064	1.057.997	1.048.707	1.039.177
Klärschlamm [t TM/a]	31.705	31.443	31.198	30.943	30.680	30.411	30.134
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Einwohner	1.029.481	1.019.645	1.009.742	999.842	989.990	980.222	
Klärschlamm [t TM/a]	29.853	29.568	29.281	28.994	28.708	28.425	

Diesen anfallenden Klärschlammengen stehen folgende Entsorgungsanlagen gegenüber:

Monoverbrennungsanlagen:

- Bitterfeld-Wolfen: 15.200 t TM/a (in Betrieb), 65.000 t TM/a (im Bau, Inbetriebnahme 2022)
- Halle-Lochau: 11.000 t TM/a (in Betrieb)
- Leuna: 35.000 t TM/a (in Diskussion)
- Zeitz: 25.000 t TM/a (in Diskussion)

Abbildung 20 zeigt einen Vergleich der für den Zeitraum 2029/32 prognostizierten Klärschlammengen der Region Süd mit den in Betrieb und im Bau befindlichen sowie den

geplanten thermischen Behandlungskapazitäten. Bei den Klärschlammengen wurden neben den Mengen aus kommunalen Kläranlagen auch 50 % der insgesamt anfallenden Mengen mit dem kommunalen Klärschlamm vergleichbaren Klärschlämmen aus der Lebensmittelindustrie (insgesamt ca. 5.000 t TM/a, siehe Abschnitt 6.3) berücksichtigt. Diese Klärschlammengen lassen sich aufgrund fehlender Datenbasis nicht genauer regionalisieren.

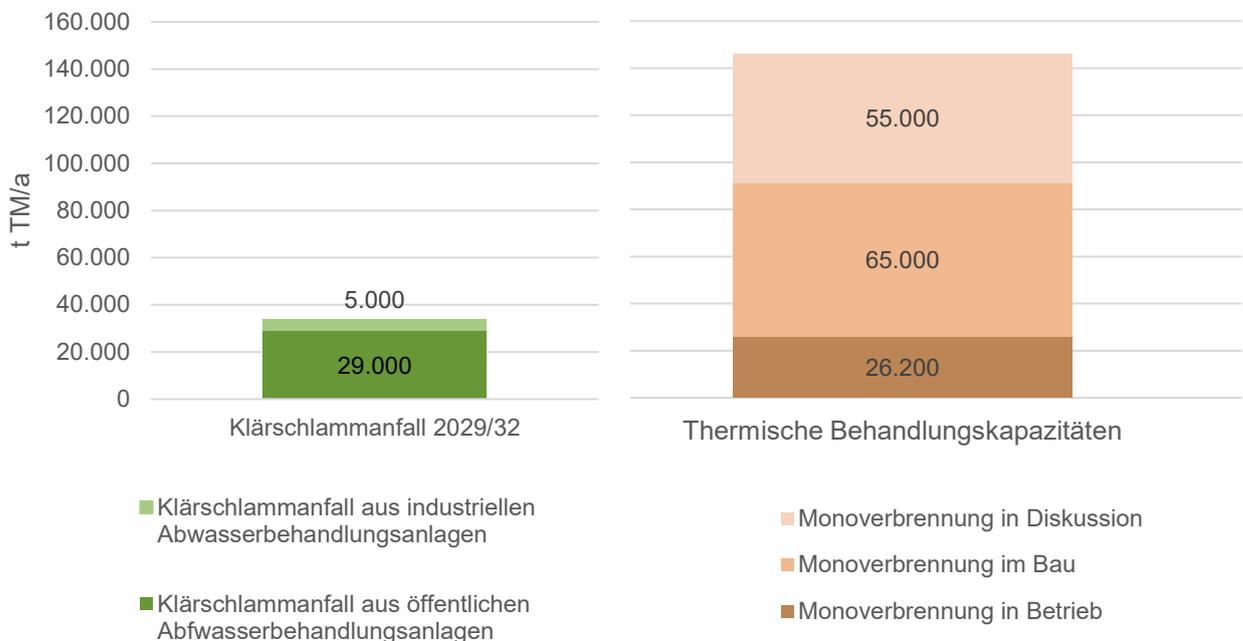


Abbildung 20: Vergleich der in der Region Süd für den Zeitraum 2029/32 prognostizierten Klärschlammengen mit den in Betrieb und im Bau befindlichen sowie den geplanten thermischen Behandlungskapazitäten der Region Süd

Bereits die Kapazität der derzeit schon in Betrieb befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen entspricht ca. 77 % der in 2029/32 anfallenden Klärschlämme. Wenn Ende des Jahres 2022 wie geplant die neu errichtete Klärschlammmonoverbrennungsanlage Bitterfeld-Wolfen wieder in Betrieb geht, verfügt die Region Süd über eine Überkapazität von 168 % bzw. 57.200 t TM/a. Falls die Planungen in Leuna und Zeitz umgesetzt werden, erhöht sich die Überkapazität auf 330 % bzw. 112.200 t TM/a. Die Gesamtmenge der anfallenden Klärschlämme lastet die dann in Betrieb befindlichen Kapazitäten lediglich zu 23 % (ohne Berücksichtigung von Importmengen aus anderen Landkreisen Sachsen-Anhalts und anderen Bundesländern) aus. Die Differenz müsste durch Importe aus anderen Bundesländern bzw. Landkreisen Sachsen-Anhalts ausgeglichen werden. Nicht berücksichtigt sind Mitverbrennungskapazitäten in den Kohlekraftwerken Schkopau (geplante Abschaltung 2034) und Deuben (stillgelegt seit 2021), auch wenn aktuell die Klärschlammverbrennung in diesen Anlagen wieder diskutiert wird.

8.2.3.2 Szenarienbetrachtung für die Region Süd

Die Region Süd wird zukünftig über erhebliche Kapazitäten zur thermischen Behandlung kommunaler Klärschlämme verfügen. Am Standort Schkopau ist zudem eine Phosphorrückgewinnungsanlage in Planung, die jedoch vorerst mit den Klärschlammaschen der im Bau befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlage in Bitterfeld-Wolfen

ausgelastet sein wird. Eine zweite Linie ist derzeit in Diskussion. In Tabelle 8-6 sind die im Jahr 2020 genutzten Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 der Region Süd dargestellt.

Tabelle 8-6: Entsorgungswege der Kläranlagen der GK 4b und 5 in der Region Süd im Jahr 2020 (Datenquelle: Berichte zur Eigenüberwachung)

Kläranlage	GK	Klärschlamm- menge 2020 [t TM]	Verwertungsweg 2020
Halle (Saale)	5	4.045	100 % Kompostierung
Dessau-Roßlau	5	1.232	100 % thermische Entsorgung
Wittenberg	5	1.146	100 % thermische Entsorgung
Bitterfeld-Wolfen	5	6.635	12 % sonstige stoffliche Verwertung, 88 % thermische Entsorgung
Schkopau	5	2.991	100 % thermische Entsorgung
Weißenfels	5	633	100 % Kompostierung
Zerbst/Anhalt	4b	318	100 % direkte landwirtschaftliche Verwertung
Jessen (Elster)	4b	637	100 % Kompostierung
Eisleben	4b	622	100 % thermische Entsorgung
Karsdorf	4b	702	39 % direkte landwirtschaftliche Verwertung, 22 % Kompostierung, 15 % sonst. stoffl. Verwertung/Zwischenlager, 24 % thermische Entsorgung
Naumburg (Saale)	4b	648	100 % landschaftsbauliche Verwertung
Zeitz	4b	1.379	73 % direkte landwirtschaftliche Verwertung, 27 % Kompostierung
Infra Zeitz	4b	1.270	2 % Kompostierung, 98 % thermische Entsorgung
Summe		22.258	

Im Jahr 2020 sind in den Kläranlagen der GK 4b und 5 der Region Süd 22.258 t TM an Klärschlämmen angefallen, das sind 70 % der Gesamtmenge der Region Süd. 60 % dieser Klärschlämme wurden thermisch entsorgt, wobei es sich allerdings überwiegend um Mitverbrennung handelt. Diese Klärschlämme sind ab 2029/32 einer Klärschlammmonoverbrennung mit Phosphorrückgewinnung zuzuführen. Hinzu kommt eine unbekannte Menge an Klärschlämmen von Kläranlagen kleiner GK 4b, welche mehr als 2 % Phosphor enthalten, jedoch die Voraussetzungen für die bodenbezogene Verwertung nicht erfüllen.

Die Klärschlämme der Stadt Halle werden bereits ab dem Jahr 2023 für zehn Jahre mit einer Verlängerungsoption um zweimal fünf Jahre durch die KSR Klärschlammrecycling GmbH (KSR) im Chemiepark Bitterfeld-Wolfen thermisch behandelt. Ab 2029 soll auch die Rückgewinnung von Phosphor sichergestellt sein. Gleiches gilt für die Klärschlämme der Kläranlage Weißenfels, welche durch die Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH über den gleichen Zeitraum thermisch behandelt werden.

In der Region Süd sind somit die Voraussetzungen sowohl des Szenarios 1 (Fortführung der gegenwärtigen Situation unter Berücksichtigung der P-Rückgewinnungspflicht) als auch des Szenarios 2 (Mono- und Mitverbrennung aller Klärschlämme) gegeben. Die hohe Anlagendichte gewährleistet kurze Transportentfernungen. Durch den großen Wettbewerb sollten sich günstige Entsorgungspreise herausbilden. Dem Szenario 1 ist dabei der Vorrang zu geben, soweit die bodenbezogene Verwertung weiterhin kostengünstig und regional möglich ist.

Für das Szenario 3 (Etablierung dezentraler Lösungen) wird kein Bedarf gesehen. Aufgrund der hohen Anlagendichte und der sich entwickelnden Überkapazitäten zentraler thermischer Behandlungsanlagen wird der wesentliche Vorteil der dezentralen Lösung, die Minimierung der Transportkosten, obsolet. Aus wirtschaftlicher Sicht wird es vor diesem Hintergrund schwierig, dezentrale Lösungen zu etablieren.

Die Entsorgungssicherheit ist in dieser Region problemlos gegeben. Die Problematik wird zukünftig eher in der Auslastung der vorhandenen Anlagen gesehen. Wie im Abschnitt 7.2.2 dargestellt, sind bei Umsetzung der in den Nachbarbundesländern derzeit verfolgten Planungen die erforderlichen Klärschlamm-mengen nicht mehr vorhanden, die zur Auslastung der Behandlungskapazitäten nach Sachsen-Anhalt importiert werden müssten.

8.2.3.3 Fazit

Die Region Süd ist zukünftig mit erheblichen Überkapazitäten zur thermischen Klärschlamm-entsorgung ausgestattet. Die Entsorgungssicherheit für die in der Region anfallenden Klärschlämme ist gegeben. Dezentrale Lösungen sind nicht erforderlich. Kritisch ist allerdings die zukünftige Auslastung der Behandlungskapazitäten zu sehen, da die umliegenden Bundesländer eigene Lösungen zur Klärschlammbehandlung planen und Importe vermutlich nicht mehr in dem Umfang möglich sein werden, wie es derzeit noch der Fall ist. Die derzeit in Planung befindlichen Projekte sollten vor diesem Hintergrund durch die Antragsteller kritisch geprüft werden.

9 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Nachfolgend werden Handlungsempfehlungen für die verschiedenen Akteure der Klärschlamm-entsorgung in Sachsen-Anhalt erläutert, die sich aus der vorstehenden Situationsanalyse der Klärschlamm-entsorgung im Land Sachsen-Anhalt ableiten lassen. Die Empfehlungen richten sich im Einzelnen an die

- abfallrechtlichen Vollzugs- und Planungsbehörden,
- Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung,
- Akteure der Entsorgungswirtschaft sowie
- öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger.

9.1 Grundsätzliches

Die Entsorgung von Klärschlämmen aus der öffentlichen Abwasserbehandlung ist eine Pflichtaufgabe der Gemeinden und Körperschaften des öffentlichen Rechts bzw. der Betreiber der öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen, denen die Aufgaben der Abwasserreinigung übertragen wurden. Sie haben die Klärschlamm-entsorgung unter Beachtung des im Kapitel 2 beschriebenen rechtlichen Rahmens sicherzustellen.

Es obliegt grundsätzlich der Entscheidung der Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung, den für die Aufgabenerfüllung geeigneten organisatorischen Rahmen zu schaffen sowie die innerhalb des gesetzlichen Rahmens möglichen Maßnahmen zur Umsetzung der aus der AbfKlärV resultierenden Verpflichtungen auszuwählen. Vor diesem Hintergrund ist der vorliegende Bericht ein Informationsangebot des Landes, welches den Aufgabenträgern als Entscheidungshilfe dienen kann.

Fachlichen Einfluss kann das Land im Rahmen seiner Fachaufsicht über die unteren Abfall-, Wasser- und Immissionsschutzbehörden nehmen. Hierbei ist insbesondere auf die gründliche Auswertung der Berichte der Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung im Hinblick auf die Maßnahmen zur Erfüllung der Verpflichtungen zur Phosphorrückgewinnung, die bis zum 31.12.2023 bei den zuständigen Behörden abzugeben sind, hinzuwirken.

Den betreffenden Aufgabenträgern sollte durch die Fachbehörden Unterstützung bei der Erarbeitung von Klärschlammmentsorgungskonzepten angeboten werden. Dies kann bspw. in Kooperation mit dem Klärschlammnetzwerk Nord-Ost der DWA erfolgen. Das Land kann dabei bei Bedarf eine koordinierende Funktion übernehmen.

9.2 Abfallrechtliche Vollzugs- und Planungsbehörden

Unmittelbar nach dem Ende des Termins zur Berichtspflicht für Betreiber der öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen zur zukünftigen Klärschlammmentsorgung am 31.12.2023 sind die Berichte durch die zuständigen Behörden kritisch auszuwerten und im Hinblick auf noch vorhandene Planungslücken zu analysieren. Zu berichten sind mindestens die in der Verordnung geforderten Angaben (geplante und bereits eingeleitete Maßnahmen zur P-Rückgewinnung, Untersuchungsergebnisse für Phosphorgehalt und basisch wirksame Stoffe insgesamt bewertet als Calciumoxid). Zusätzlich wird durch die LAGA die Angabe des in der Abwasserbehandlungsanlage eingesetzten Verfahrens zur P-Elimination empfohlen. Die Berichte sind auf entsprechende Vollständigkeit und auch hinsichtlich der zeitlichen Realisierbarkeit der geplanten Maßnahmen zu prüfen. Die alleinige Angabe, dass die Klärschlammmentsorgung inklusive Phosphorrückgewinnung ausgeschrieben werden soll, wird als nicht ausreichend erachtet. Die Entscheidungsfindung für eine Ausschreibung sollte bspw. durch Marktanalysen belegt werden.

Die fristgerechte Einhaltung der Berichtspflicht ist vor dem Hintergrund der kürzer werdenden Zeiträume zur Umsetzung streng zu überwachen. Es wird empfohlen alle Betreiber von kommunalen Abwasserbehandlungsanlagen mittels Anschreiben spätestens zum 01.07.2023 an die Berichtspflicht zu erinnern und mitzuteilen, welche Informationen gefordert sind. Da kein Format für die Berichterstattung vorgegeben ist, bietet es sich an, auf die Vorlage der LAGA hinzuweisen.¹³ Zudem sollte deutlich gemacht werden, dass die nicht richtige, nicht vollständige oder nicht rechtzeitige Vorlage des Berichtes bzw. die Nichtdurchführung der erforderlichen Untersuchungen eine Ordnungswidrigkeit gemäß § 36 AbfKlärV i.V.m. § 69 Abs. 1 Nr. 8 KrWG darstellt, welche mit einer Geldbuße von bis zu 100.000 Euro geahndet werden kann.

9.3 Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung

9.3.1 Zeitnahe konzeptionelle Überlegungen zur P-Rückgewinnung

Die Betreiber der öffentlicher Abwasserbehandlungsanlagen sind gemäß Artikel 4 der Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammmentsorgung verpflichtet, den zuständigen Behörden bis spätestens 31. Dezember 2023 einen Bericht über die zukünftigen Maßnahmen zur

¹³ https://www.laga-online.de/documents/2018_10_31_berichtspflicht_von_klaerschlammerzeugern_nach_paragraph_3a_abf-klaerv_1591176050.xlsx

Erfüllung der ab 2029 bzw. 2032 gelten Phosphorrückgewinnungspflicht, zum Ein- und Aufbringen des Klärschlammes in den Boden sowie des sonstigen Entsorgungsweg im Sinne des KrWG vorzulegen (siehe Abschnitt 2.2.2.1). Diese Berichtspflicht sollte durch die Betreiber, welche bislang noch keine konzeptionellen Überlegungen zur Erfüllung der Vorgaben der AbfKlärV angestellt haben, zum Anlass genommen werden, ihre Lage zu analysieren und entsprechende Maßnahmen einzuleiten, um die Verpflichtung zur Phosphorrückgewinnung erfüllen zu können. Dabei müssen zwingend die Klärschlammbehandlung und die Phosphorrückgewinnung im Zusammenhang betrachtet werden. Die Wahl eines P-Rückgewinnungsverfahrens bedingt unmittelbar die Art und Weise der Klärschlammbehandlung. Gleichzeitig schließt eine bestimmte Art der Klärschlammbehandlung verschiedene P-Rückgewinnungsverfahren aus.

9.3.2 Mittelfristige Prüfung von Alternativen zur bodenbezogenen Verwertung

Kläranlagen der GK 4a oder kleiner, welche die anfallenden Klärschlämme direkt bodenbezogen verwerten können, ist zu empfehlen, diesen Verwertungsweg weiterhin zu nutzen. Wichtig ist, dass potenzielle Abnehmer in der Region auch langfristig vorhanden sind. Zudem ist die Diskussion um Mikroplastik, Arzneimittelrückstände und weitere Schadstoffe und Schaderreger (siehe Abschnitt 6.2.1) zu verfolgen, um sich rechtzeitig vor einer möglichen Verschärfung entsprechender Grenzwerte um alternative Lösungen zu bemühen.

Diese können im Bereich der Region Nord dezentrale Lösungen sein, welche vor dem Hintergrund steigender Transportkosten wirtschaftlich sein können. Dies ist im Einzelfall zu prüfen. Insbesondere ist zu analysieren, inwieweit kommunale Zusammenschlüsse für den Betrieb einer solchen Anlage unter Beachtung der dafür geltenden kommunalrechtlichen Vorgaben möglich sind. Alternativ ist auch die Ausschreibung der Entsorgungsleistung möglich, wobei im Ergebnis mit längeren Transportwegen gerechnet werden muss.

In den Regionen Mitte und Süd ist die Ausschreibung der Verwertungsleistung die bessere Option, um den dort vorhandenen Wettbewerb zwischen den Anlagen zu nutzen.

9.3.3 Frühzeitige und langfristige Sicherung von Kontingenten in der Monoverbrennung

Kläranlagen der GK 4b und 5 sowie kleinere Kläranlagen, deren Klärschlämme mehr als 2 % Phosphor enthalten, aber nicht für die bodenbezogene Verwertung geeignet sind, sollten sich frühzeitig um Kontingente in einer der im Land Sachsen-Anhalt befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen bemühen. Langfristige Entsorgungsverträge schaffen dabei Planungssicherheit sowohl für den Betreiber der Entsorgungsanlage als auch den Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbehandlung. Dieser sollte als Auftraggeber auf eindeutige Regelungen zur Phosphorrückgewinnung in den Entsorgungsverträgen achten. Bspw. sollte ausgeschlossen werden, dass der Aufgabenträger der öffentlichen Abwasserbeseitigung für Kosten einer möglichen Zwischenlagerung der Klärschlammaschen aufkommen muss, falls das verfahrenstechnische Konzept des Entsorgers für die Phosphorrückgewinnung nicht funktioniert oder es bei der Inbetriebnahme zu Verzögerungen kommt.

9.3.4 Prüfung der P-Reduktion auf der Kläranlage im Einzelfall

Die Reduktion des Phosphors im Klärschlamm kann unter Umständen sinnvoll sein, wenn betriebliche Gründe dafürsprechen und die Voraussetzungen (u. a. Bio-P-Elimination) auf

der Kläranlage gegeben sind. Für die Wirtschaftlichkeit sind kostengünstige Mitverbrennungskapazitäten in vertretbarer Transportentfernung Voraussetzung. Die Prüfung muss im Einzelfall erfolgen.

9.3.5 Beachtung vergabe- und abfallrechtlicher Vorgaben bei Beauftragung Dritter

Die Beauftragung eines Dritten mit der Klärschlammbehandlung und anschließender P-Rückgewinnung hat für den Kläranlagenbetreiber einige Vorteile. Insbesondere muss er kein Genehmigungsverfahren durchführen und eine Anlage in eigener Verantwortung errichten und betreiben, er gibt die Verantwortung für die technische Durchführung der P-Rückgewinnung an den Anlagenbetreiber ab und er muss sich nicht um die Vermarktung der erzeugten Phosphorprodukte kümmern. Allerdings hat er zu beachten, dass er die gesamte Verwertungskette bei der Vergabe prüfen muss und er bis zum Abschluss der Verwertung (Abfallende des P-Rezyklats) abfallrechtlich verantwortlich bleibt. Nachteilig ist, dass die Vergabe den Marktschwankungen unterliegt und der Aufgabenträger keinen Einfluss auf die Klärschlammbehandlung und P-Rückgewinnung hat. Bei der Vergabe sind die Vorgaben des Vergaberechts zu beachten.

9.4 Akteure der Entsorgungswirtschaft

9.4.1 Kritische Prüfung der möglichen Auslastung weiterer Klärschlammmonoverbrennungsanlagen

Vor dem Hintergrund der in Sachsen-Anhalt entstehenden Überkapazitäten und unter Berücksichtigung der Planungen der Nachbarländer (siehe Abschnitt 7.2.2) wird empfohlen, dass die Auslastungsmöglichkeiten weiterer geplanter thermischer Behandlungskapazitäten durch die Antragsteller kritisch zu prüfen sind.

9.4.2 Sicherstellung ausreichender P-Rückgewinnungskapazitäten

Während erhebliche Monoverbrennungskapazitäten entstehen, befinden sich zahlreiche Verfahren zur Phosphorrückgewinnung noch im Pilotmaßstab. Eine Anlage ist bereits in Betrieb (aktuell in vorläufiger Insolvenz), eine weitere Anlage ist in Planung. Beide Anlagen werden für die Phosphorrückgewinnung aus den Aschen der Klärschlammmonoverbrennungsanlagen nicht ausreichen, da u. a. auch Klärschlammaschen von Anlagen aus anderen Bundesländern dort behandelt werden. Hier sind weitere Investitionen und Forschungsaufwendungen durch die Anlagenbetreiber erforderlich. Der Fokus sollte hier auf Rückgewinnungsverfahren aus der Klärschlammasche gelegt werden, da sich abzeichnet, dass dies der vorherrschende Entsorgungsweg in Sachsen-Anhalt werden wird. Die derzeit noch in Diskussion befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen sollen nach gegenwärtigem Kenntnisstand in Verbindung mit Phosphorrückgewinnungsverfahren umgesetzt werden. Diese Strategie sollte beibehalten werden, um einem Mangel an Phosphorrückgewinnungskapazitäten durch die Errichtung weiterer Klärschlammmonoverbrennungsanlagen vorzubeugen. Im Falle des Mangels an Phosphorrückgewinnungskapazitäten müssten Klärschlammmonoverbrennungaschen rückholbar gelagert werden, was bspw. auf Langzeitlegern nach Deponieverordnung erfolgen könnte. Allerdings ist dies mit erheblichen Zusatzkosten verbunden.

9.4.3 Nutzung alternativer Abfallströme bzw. Angebot alternativer Dienstleistungen

Durch den Rückgang der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlämmen wird die zukünftige Auslastung von Kompostierungsanlagen, die bislang Klärschlämme verwerten, in Frage gestellt. Der Wegfall der Klärschlämme als Ausgangssubstrat zur Kompostierung kann bspw.

durch die weiterhin angestrebte Erhöhung getrennt erfasster Bioabfallmengen kompensiert werden.

Bei Wegfall der Kompostierung aufgrund mangelnder Auslastung können die betroffenen Unternehmen die Standorte als Zwischenlager für Klärschlämme und die vorhandenen Transportkapazitäten für den Klärschlammtransport anbieten. Zudem können die langjährig etablierten Geschäftsbeziehungen für das Makeln von Klärschlämmen zur Entsorgung genutzt werden. Ebenso bietet sich nach aktuellem Stand der Einstieg in die Phosphorrückgewinnung an, da es hier noch an Kapazitäten mangelt.

9.5 Öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger

Die Überlassungspflicht für Abfälle zur Beseitigung ist in § 17 Abs. 1 KrWG geregelt. Demnach sind Abfälle den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zu überlassen, wenn eine Verwertung nicht möglich ist. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger verfügen überwiegend nicht über Entsorgungsmöglichkeiten für Klärschlamm. Dementsprechend erfolgte bislang auch keine Überlassung dieser Abfälle. Auch zukünftig ist eher nicht damit zu rechnen, dass dieser Fall eintreten könnte, da in Sachsen-Anhalt ausreichend Kapazitäten für die Klärschlamm Entsorgung zur Verfügung stehen. Dennoch sollten die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger, die keine Möglichkeit zur Entsorgung von Klärschlämmen haben, diese von der Entsorgung ausschließen. Die gesetzliche Grundlage ist § 20 Abs. 3 Satz 2 KrWG. Aufgrund der Vielzahl an Behandlungsanlagen für Klärschlämme im Land Sachsen-Anhalt dürften die Anforderungen des § 20 Abs. 3 Satz 2 KrWG für den Ausschluss von der Entsorgung erfüllt sein.

10 Zusammenfassung

Mit der Novellierung der AbfKlärV im Jahr 2017 wurde ein Wandel der Entsorgung von Klärschlämmen aus der öffentlichen Abwasserbehandlung eingeleitet. Neben der Verschärfung der Grenzwerte für die bodenbezogene Verwertung in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau, die bereits jetzt gelten, wurden Regelungen zur Rückgewinnung von Phosphor eingeführt. Ab dem Jahr 2029 muss der Klärschlamm aus Abwasserbehandlungsanlagen mit einer genehmigten Ausbaugröße von mehr 100.000 EW (GK 5) und ab dem Jahr 2032 der Klärschlamm aus Abwasserbehandlungsanlage mit einer genehmigten Ausbaugröße von mehr als 50.000 EW (GK 4b) einer Phosphorrückgewinnung unterzogen werden. Die Art und Weise der P-Rückgewinnung ist den Betreibern der Abwasserbehandlungsanlagen weitgehend freigestellt. Es sind lediglich zu erreichende Zielgrößen für die Rückgewinnung aus Klärschlämmen bzw. Klärschlammaschen vorgeschrieben. Bis zum 31.12.2023 haben die Betreiber der Abwasserbehandlungsanlagen der zuständigen Behörde zu berichten, welche Maßnahmen sie im Rahmen der Umsetzung dieser Verpflichtung umsetzen werden. Im vorliegenden Bericht wurde die Situation der Klärschlamm Entsorgung im Land Sachsen-Anhalt analysiert und regionalisierte Prognosen zur zukünftigen Entwicklung erarbeitet. Aus diesen Prognosen wurden Handlungsempfehlungen für die unterschiedlichen Akteure abgeleitet.

Derzeit werden in Sachsen-Anhalt 220 öffentliche Abwasserbehandlungsanlagen durch 69 Aufgabenträger der Abwasserbeseitigung betrieben, davon neun Anlagen, die der GK5 (mehr als 100.000 EW) und 13, die der GK4b (mehr als 50.000 bis 100.000 EW) zuzuordnen sind. Von den insgesamt 53.009. t TM an Klärschlamm, die im Jahr 2020 in Sachsen-Anhalt

in öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen angefallen waren, wurden 33.389 t TM (63 %) in den Anlagen der GK4b und GK5 erzeugt.

51 % der angefallenen Klärschlämme aus öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen (26.897 t TM) wurden in thermischen Anlagen entsorgt. 19 % (10.057 t TM) wurden direkt in der Landwirtschaft ausgebracht und 27 % (14.304 t TM) auf sonstige Weise, bspw. durch Kompostierung, stofflich verwertet. Die verbleibenden Mengen (1.751 t TM; 3 %) wurden landbaulich oder auf sonstigen Wegen direkt entsorgt. Betrachtet man nur die Klärschlämme aus Kläranlagen der GK4b und GK5 dominiert mit 64 % die thermische Entsorgung. Die Kompostierung hat hier einen Anteil von 19 % und die direkte landwirtschaftliche Verwertung von 11 %.

Unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren, insbesondere der Bevölkerungsentwicklung, wird prognostiziert, dass das Klärschlammaufkommen bis zum Jahr 2032 auf ca. 47.000 t TM zurückgehen wird. Zudem fallen jährlich ca. 5.000 t TM Klärschlamm in industriellen Abwasserbehandlungsanlagen (Lebensmittelherstellung und -verarbeitung) an, die Abwasser behandeln, welches mit häuslichem Abwasser vergleichbar ist.

Die mit der Novellierung der AbfKlärV verbundenen Änderungen bei der Entsorgung der anfallenden Klärschlämme haben in Sachsen-Anhalt bereits zu weitreichenden Investitionen in Klärschlammonverbrennungsanlagen geführt. Bereits jetzt ist unter Berücksichtigung der bereits betriebenen und im Bau befindlichen Klärschlammonverbrennungsanlagen absehbar, dass es bezogen auf die in Sachsen-Anhalt anfallende Klärschlammmenge zu erheblichen Überkapazitäten kommen wird. Es wird abgeschätzt, dass je nach Umsetzung der derzeit bekannten Projekte zwischen 91.400 (nur in Betrieb und im Bau befindliche Anlagen) und 146.400 t TM (alle bekannten Projekte) an Kapazität in den Monoverbrennungsanlagen durch Importe abgedeckt werden müssten. Allerdings sind in den umliegenden Bundesländern ebenfalls verschiedene Projekte zur Klärschlammbehandlung in Planung, so dass damit gerechnet werden kann, dass ein Import in diesem Umfang zukünftig nicht möglich sein wird.

In der regionalisierten Betrachtung wurde Sachsen-Anhalt in drei Regionen (Nord, Mitte und Süd) unterteilt. Die Regionen können wie folgt beschrieben werden:

Region Nord:

Die Region Nord ist gekennzeichnet durch eine geringe Anzahl größerer Kläranlagen (zwei Anlagen mit 2.146 t TM an Klärschlamm) sowie das Fehlen von thermischen Klärschlammbehandlungsanlagen. Auch Planungen bestehen dafür nicht. 2020 fielen 5.692 t TM an Klärschlämmen an, wovon lediglich 19 % der anfallenden Klärschlämme thermisch behandelt, der Rest bodenbezogen verwertet wurden.

Sofern die anfallenden Klärschlämme die Anforderungen der AbfKlärV für die bodenbezogene Verwertung weiterhin erfüllen, spricht vieles dafür, diese Praxis auch zukünftig beizubehalten. Für diesen Verwertungsweg besteht allerdings das Risiko, dass die Voraussetzungen für die bodenbezogene Verwertung vor dem Hintergrund der Diskussion um Mikroplastik, Schadstoffe und Arzneimittelrückstände zukünftig weiter erhöht werden könnten. Die Klärschlämme der beiden größeren Anlagen können zukünftig bspw. in Magdeburg-Rothensee

thermisch behandelt und anschließend einer P-Rückgewinnung unterzogen werden. Alternativ dazu könnten die zukünftigen Anforderungen der AbfKlärV in der Region auch durch die Errichtung einer dezentralen thermischen Behandlungstechnologie, die für geringere Durchsätze verfügbar sind, umgesetzt werden. Die Errichtung einer zentralen Klärschlammmonoverbrennungsanlage kommt für die Region nicht in Betracht.

Region Mitte:

Die Region Mitte ist gekennzeichnet durch die Errichtung einer zentralen Klärschlammmonoverbrennungsanlage in Magdeburg-Rothensee, welche zukünftig alle thermisch zu behandelnden Klärschlämme der Region aufnehmen könnte. Daneben können Klärschlämme im Zementwerk Bernburg mitverbrannt werden. Im Jahr 2020 fielen in der Region insgesamt 15.612 t TM an Klärschlamm an. Insgesamt sieben größere Kläranlagen der Größenklassen 4b und 5 erzeugten davon 9.124 t TM. 53 % der Klärschlamme wurden thermisch, 47 % bodenbezogen verwertet.

Für die Umsetzung der zukünftigen Anforderungen der AbfKlärV ist die Region gut gerüstet. Die im Bau befindliche Klärschlammmonoverbrennungsanlage ist in der Lage mit ihrer Kapazität von 13.200 t TM/a die zukünftig thermisch zu behandelnden Klärschlämme aufzunehmen. Zudem besteht die Möglichkeit der Mitverbrennung im Zementwerk Bernburg und auch die bodenbezogene Verwertung ist für geeignete Klärschlämme weiterhin eine Option. Die Rückgewinnung von Phosphor aus der in der Anlage in Magdeburg-Rothensee anfallenden Klärschlammmasche kann in der P-Rückgewinnungsanlage in Haldensleben erfolgen, vorausgesetzt, dass die derzeitige vorläufige Insolvenz der Anlage mit ihrem Weiterbetrieb abgeschlossen werden kann. Die Errichtung dezentraler Anlagen bzw. weiterer zentraler Klärschlammmonoverbrennungsanlagen ist in der Region nicht erforderlich.

Region Süd:

In der Region Süd besteht die größte Konzentration an thermischen Behandlungskapazitäten. Behandlungskapazitäten von 91.200 t TM/a befinden sich bereits in Betrieb bzw. erfolgt die Inbetriebnahme noch in 2022, Projekte mit weiteren 55.000 t TM/a werden noch diskutiert. Diesen thermischen Behandlungskapazitäten stehen 31.705 t TM an Klärschlämmen gegenüber, die im Jahr 2020 erzeugt wurden, davon 22.258 t TM in 13 größeren Kläranlagen der GK4b bzw. 5. 55 % der angefallenen Klärschlämme wurden thermisch behandelt und 43 % auf verschiedenen Wegen bodenbezogen verwertet.

In der Region zeichnen sich deutliche Überkapazitäten an thermischen Behandlungsanlagen ab. Ob diese Überkapazitäten durch Importe aus benachbarten Bundesländern ausgelastet werden können, ist insbesondere bei Errichtung der derzeit noch in Diskussion befindlichen Anlagen zweifelhaft. Vor diesem Hintergrund ist die Entsorgungssicherheit für die in der Region anfallenden Klärschlämme gesichert. Weiterer Bedarf an zentralen oder dezentralen thermischen Behandlungsanlagen besteht nicht. Bedarf besteht noch an Kapazitäten für die Phosphorrückgewinnung aus der anfallenden Asche. Lediglich eine Anlage mit einem Jahresdurchsatz von 30.000 t Klärschlammmasche ist derzeit in Diskussion. Aus den derzeit in Betrieb bzw. im Bau befindlichen Anlagen ist mit einem Ascheanfall von bis zu 45.000 t/a zu rechnen. Die in Diskussion befindlichen Anlagen sollen nach gegenwärtigem Stand jeweils mit eigenen P-Rückgewinnungsanlagen ausgestattet sein.

Folgende Empfehlungen können aus den Analysen der Studie abgeleitet werden:

- Die Betreiber der öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen müssen, sofern noch nicht geschehen, zeitnah konzeptionelle Überlegungen zur Umsetzung der aus der novellierten AbfKlärV resultierenden Verpflichtungen durchführen, um der zum 31.12.2023 anstehenden Berichtspflicht genügen zu können.
- Die Berichte der Betreiber sind durch die zuständigen Behörden zeitnah und kritisch zu prüfen. Auf fristgerechte Übermittlung der Berichte ist streng zu achten. Defizite sind mit den Betreibern zu diskutieren und diese zur Behebung der Defizite aufzufordern.
- Abwasserbehandlungsanlagen, die derzeit und zukünftig die anfallenden Klärschlämme bodenbezogen verwerten, sollten sich darauf einstellen, dass die Bedingungen für diesen Entsorgungsweg zukünftig aufgrund verschiedener mit diesem Entsorgungsweg verbundener Umweltauswirkungen ungünstiger werden können. Im Sinne eines Plan B sollten die Betreiber der betreffenden Abwasserbehandlungsanlagen Alternativen prüfen.
- Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen, die zukünftig Phosphor aus den anfallenden Klärschlämmen zurückgewinnen müssen, sollten sich frühzeitig um langfristige Verträge zur Behandlung der anfallenden Klärschlämme bemühen, die die Phosphorrückgewinnung einschließen. Langfristige Verträge gewähren Planungssicherheit für beide Seiten. Zudem ist damit zu rechnen, dass die Entsorgungskosten zukünftig steigen werden.
- Im Einzelfall kann es sinnvoll sein, Möglichkeiten zur Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage zu prüfen, sofern die Voraussetzungen dafür gegeben sind. Dies kann zum einen wirtschaftlicher sein und zum anderen positive Synergien im Anlagenbetrieb generieren. Mitverbrennungskapazitäten für die P-abgereicherten Klärschlämme stehen zur Verfügung.
- Die Beauftragung Dritter mit Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung hat Vorteile. Der Betreiber der Abwasserbehandlungsanlage ist nicht für die technische Umsetzung der Phosphorrückgewinnung und den Vertrieb der erzeugten phosphorhaltigen Produkte verantwortlich. Allerdings bleibt er bis zum Abschluss der Verwertung im abfallrechtlichen Sinne verantwortlich für die ordnungsgemäße Verwertung der Klärschlämme und muss diese überwachen. Bei der Beauftragung Dritter ist das Vergaberecht zu beachten.
- Vor dem Hintergrund der entstehenden Überkapazitäten ist die Errichtung weiterer Anlagen durch die Investoren kritisch zu prüfen. Die Auslastung weiterer Behandlungskapazitäten durch Importe aus benachbarten Bundesländern ist als unwahrscheinlich einzustufen.
- Es besteht weiterer Bedarf an Phosphorrückgewinnungskapazitäten. Die derzeit in Betrieb bzw. in Diskussion befindlichen Anlagen sind nicht ausreichend zur Behandlung der Klärschlammaschen aus den in Betrieb bzw. im Bau befindlichen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen. Weitere Forschung und Investition ist in diesem Bereich erforderlich.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das Land Sachsen-Anhalt für die Umsetzung der zukünftigen Anforderungen der AbfKlärV gut gerüstet ist. Es entstehen sogar Überkapazitä-

ten, die Klärschlämme aus anderen Bundesländern behandeln werden. Die Entsorgungssicherheit für die in Sachsen-Anhalt anfallenden Klärschlämme ist gesichert. Bedarf besteht noch an weiterem Aufbau an Kapazitäten zur Phosphorrückgewinnung, um zu verhindern, dass Klärschlammmonoverbrennungsaschen zwischengelagert werden müssen.

Literaturverzeichnis

ATV (1996): ATV-Handbuch: Klärschlamm, 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin

BMU (2017): Neue Klärschlammverordnung in Kraft [<https://www.bmu.de/gesetz/verordnung-zur-neuordnung-der-klarschlammverwertung>] (Abruf am 22.12.2021)

DESTATIS (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008). [<https://www.destatis.de/static/DE/dokumente/klassifikation-wz-2008-3100100089004.pdf>] (Abruf am 22.12.2021)

Pinnekamp, J., Baumann, P., Cornel, P., Everding, W. Göttlicher-Schmidle, U., Heinzmann, B. u. N. Jardin (2013): Stand und Perspektiven der Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm, Korrespondenz Abwasser, Abfall

DWA NordOst (2022): 9. Regionalgruppen-Treffen Sachsen-Anhalt. <https://www.dwa-no.de/de/aktuelles.html> (aufgerufen am 30.07.2022)

DWA KEK-1.4 (2016): Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KEK-1.4 „Neue Technologien zur Schlammbehandlung“. KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall Nr. 7; Juli 2016. S. 598-606

Kraus, F., Zamzow, M., Conzelmann, L., Remy, Ch., Kleyböcker, A., Seis, W., Miehe, U., Hermann, L., Hermann, R. u. Ch. Kabbe (2019): Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-02-19_texte_13-2019_phorwaerts.pdf] (Abruf am 29.11.2021)

LAU (2021): Klärschlammbericht zur bodenbezogenen Klärschlammverwertung auf Länderebene 2020. Schriftliche Mitteilung am 10.12.2021

LfU (2019): Klärschlamm Entsorgung in Bayern – Planungshilfe für Kommunen. Hrsg.: Bayerisches Landesamt für Umwelt. [https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/lfu_abfall_00184.htm] (Abruf am 20.11.2021)

LVWA (2021): schriftliche Mitteilung über laufende Genehmigungsverfahren mit Bezug zur Klärschlammverwertung vom 09.09.2021

Montag, D., Allwicher, I., Ehm, J.-H. u. L. Hiep (2021): Stand der Umsetzung der Phosphorrückgewinnung in Deutschland. Vortrag auf dem 33. Aachener Kolloquium für Abfall- und Ressourcenwirtschaft am 25.11.2021

Petzold, J. (2022): Aktueller Stand und Perspektiven zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen im Land Sachsen-Anhalt. Masterarbeit an der Hochschule Merseburg, betreut durch die INTECUS GmbH

Pietsch, M.; Schleusner, Y.; Müller, P.; Eling, R.; Philipp, W. u. L. E. Hoelzle (2015): Risikoanalyse der bodenbezogenen Verwertung kommunaler Klärschlämme unter Hygieneaspekten. UBA-Texte 96/2015. [<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/risikoanalyse-der-bodenbezogenen-verwertung>] (Abruf am 15.09.2022)

RePhoNo (2021): Klärschlammverwertung und Phosphorreycling für die Region Nord-Ost-Hessen (RePhoNo). [<https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-08/endbericht-rephonoh-geschuetzt-.pdf>] (Abruf am 15.09.2022)

Schnell, M. u. P. Quicker (2020): Mitverbrennung von Klärschlamm in Braun- und Steinkohlekraftwerken. [<https://www.energie.de/et/news-detailansicht/nsctrl/detail/News/mitverbrennung-von-klaerschlamm-in-braun-und-steinkohlekraftwerken/np/4>] (Abruf am 25.11.2021)

StaLA (2022): Direkte Entsorgung von Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen mit Standort in Sachsen-Anhalt nach Kreisen - Erhebung der öffentlichen Abwasserentsorgung - Klärschlamm

UBA (2018): Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2018_10_08_uba_fb_klaerschlamm_bf_low.pdf] (Abruf am 22.11.2021)

Wagner, J.; Richter, R.; Struck, K. u. R. Dinslage (2020): Statusbericht zur Klärschlamm Entsorgung 2020. [<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/36926/documents/57185>] (Abruf am 15.09.2022)

Wehlberg, H. (2000): Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit und Entsorgungssicherheit der Klärschlammvererdung am Beispiel der Stadt Ahaus. [https://www.fh-muenster.de/equ/ueber-uns/wetter/abschlussarbeiten/welberg_heinz.php] (Abruf am 21.12.2021)

Wolters, B.; Hauschild, K. u. K. Smalla (2022): Erarbeitung anspruchsvoller Standards für die mittelfristige Fortführung der bodenbezogenen Verwertung von Klärschlämmen aus Abwasserbehandlungsanlagen mit kleiner Ausbaugröße. Umwelt & Gesundheit 03/2022. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/uug_03-2022_erarbeitung_anspruchsvoller_standards.pdf] (aufgerufen am 29.07.2022)

Anhang 1 – Datenblätter zur Phosphorrückgewinnung

Zum besseren Verständnis der in den Datenblättern ausgewiesenen Rückgewinnungsrate ist folgendes zu beachten. Die Phosphorrückgewinnungsraten sind in der Literatur z. T. auf den Kläranlagenzulauf (KA-Zulauf) bezogen. Die zukünftigen Grenzwerte der AbfKlärV beziehen sich allerdings auf den Klärschlamm, die Klärschlammaschen oder die kohlenstoffhaltigen Rückstände aus thermischen Verfahren. Laut Montag (2008) sind 90 % des Phosphors im KA-Zulauf später im Klärschlamm enthalten. Dieser Umstand wurde bei der Umrechnung von Literaturwerten, die sich auf den KA-Zulauf beziehen, auf klärschlammbezogene Werte beachtet. Demnach entspricht bspw. eine Phosphorrückgewinnungsrate von 50 % bezogen auf den KA-Zulauf einer Phosphorrückgewinnungsrate von 55 % bezogen auf den Klärschlamm. Bei der Umrechnung von klärschlammbezogenen Phosphorrückgewinnungsraten auf Phosphorrückgewinnungsraten, die sich auf Klärschlammaschen oder den kohlenstoffhaltigen Rückstand beziehen, wurde angenommen, dass diese gleichgesetzt sind.

Die nachfolgenden Datenblätter beruhen auf Wagner et al. (2020) und wurden durch Petzold (2022) aktualisiert.

Fällungs- und Kristallisationsverfahren

DHV Crystalactor® der Firma Royal Haskoning DHV

Name des Verfahrens	DHV Crystalactor® (Wirbelbettreaktor)
Unternehmen	Royal HaskoningDHV (Niederlande)
Input	Schlammwasser
Verfahren	Kristallisationsverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 40 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - beruht auf der Enthärtung von Trink- und Prozesswasser, infolge der Zugabe von Natronlauge oder Kalk Calciumcarbonat (CaCO_3) - mit Filtersand oder Mineralien gefüllter Reaktor (Impfmaterial) - Schlammwasser wird für Rücklösung des Phosphors mit Essigsäure versetzt - anionen- oder metallhaltiges Abwasser sowie Reaktionsmittel (z.B. Kalkmilch) wird über Verteilboden Reaktor zugeführt - Abwasser durchströmt von unten nach oben mit einer Geschwindigkeit von 40 bis 120 m/h den Reaktor - dadurch wird das im Reaktor befindliche Material aufgeschwemmt - somit wird dem Abwasser eine sehr große Kontaktfläche mit dem im Reaktor befindlichen Material gegeben - Hinzugabe von Impfmaterial (Filtersand oder Mineralien) sorgt für Kristallisation → Bildung Wirbelschichtbett - Hinzugabe von Kalkmilch → Calcium-Phosphat - Hinzugabe von Natronlauge und Magnesiumchlorid → Magnesium-Ammonium-Phosphat - das Salz kann vollständig, schnell und kontrolliert kristallisieren - entstehenden Kristalle gewinnen immer weiter an Größe, bis sie schließlich aufgrund ihres Gewichts auf den Reaktorboden sinken und abgezogen werden können

Schematische Darstellung	
Produkt	<ul style="list-style-type: none"> - Zugabe von Kalkmilch: Calciumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) - Zugabe von Magnesium oder Natronlauge: Magnesium-Ammonium-Phosphat - außerdem möglich: Magnesium-Phosphat, Kalium-Magnesium-Phosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - durch Enthärtung: weniger Kupfer- und Bleiablagerungen in Trinkwasserleitungen, weniger Kalkablagerungen, Bildung von Schlamm wird vermieden, Ausfällungen können zur Schlammkonditionierung oder als Viehfutter verwendet werden - kein Schlamm, welcher anschließend einer mechanischen Entwässerung zugeführt werden muss, sondern Körner bzw. Kristalle, die wiederverwendet werden können - Vermeidung von Produktverunreinigungen bzw. Nebenverunreinigungen - Anforderungen an die AbklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich - bis 35 g P/kg KS TM - hohen Betriebs- und Investitionskosten
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbklärV können eingehalten werden (Rückgewinnung Kläranlagen mit Bio-P-Elimination und P-Gehalt von bis zu 3,5 %)

PEARL®-Verfahren der Firma Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc.

Name des Verfahrens	PEARL®-Verfahren
Unternehmen	Ostara Nutrient Recovery Technologies Inc.
Input	Schlammwasser oder Faulschlamm (auch Industrieabwässer)
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	30 % bezogen auf Kläranlagenzulauf 50 % bezogen auf Kläranlagenzulauf bei Erweiterung mit WASSTRIP®
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - zunächst Schlammentwässerung - Filtrat aus Schlammentwässerung wird von unten nach oben durch Reaktor gepumpt - Zugabe von Magnesiumchlorid und Natronlauge (pH-Wert erhöhen): Bildung von Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat) - Struvit-Kristalle können am Boden abgezogen, getrocknet und als Düngemittel verkauft werden - Zirkulation fördert Bildung von Struvit
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - leichte Integration an Schlammentwässerung - Struvitablagerungen in Leitungen werden vermieden - Ammoniumkonzentration sinkt - Rückbelastung (Stickstoff, Phosphor) sinkt - Anforderungen an die AbklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einsatz von Chemikalien - P im Zulauf > 75 mg/l
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung in Nordamerika und Europa (Großbritannien: Slough, Niederlande: Amersfoort)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen AbklärV können eingehalten werden (Rückgewinnung Kläranlagen mit Bio-P-Elimination und P-Gehalt von bis zu 3,5 %) - Mit WASSTRIP® Anforderungen unabhängig vom P-Gehalt einhaltbar

Phosnix®-Verfahrens der Firma Unitika

Name des Verfahrens	Unitika Phosnix®
Unternehmen	Unitika Ltd.
Input	Schlammwasser
Verfahren	Kristallisationsverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 50 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - im Nebenstrom kommunaler oder Hauptstrom industrieller Kläranlagen integrierbar - zu behandelndes Abwasser durchläuft Reaktionsbehälter - Einleitung von Magnesiumionen und Natronlauge zur Regulierung des pH-Wertes - MAP kristallisiert, weitere Kristalle heften sich an und sinken auf Boden des Reaktors
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - leichte Integration - MAP-Kristalle können als Düngemittel-Rohstoff eingesetzt werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einsatz von Chemikalien
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung (überwiegend in Japan)
Bewertung Einsatzfähigkeit	keine Umsetzung im Europa

NuReSys®-Verfahren der Firma Nutrients Recovery Systems

Name des Verfahrens	NuReSys®
Unternehmen	Nutrients Recovery Systems (Belgien)
Input	Filtrat nach Schlammwässerung (NuReSys I), Faulschlamm (NuReSys II)
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	circa 30 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Filtrat oder Faulschlamm wird in Stripper belüftet (Luft) um Kohlenstoffdioxid auszutreiben + pH-Wert zu erhöhen - Crystallizer: Zugabe von Magnesiumsalzen sorgt für Kristallisation zu Magnesium-Ammonium-Phosphat
Schematische Darstellung	<p>NuReSys I:</p> <p>NuReSys II:</p>
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - Produkt enthält keine Reststoffe - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung (3x) in Belgien und Niederlande
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden (Rückgewinnung Kläranlagen mit Bio-P-Elimination und P-Gehalt von bis zu 3,5 %)

MAP Kristallisation auf der Kläranlage Treviso

Name des Verfahrens	MAP Kristallisation Treviso
Unternehmen	keine Angabe
Input	Schlammwasser Nebenstrom
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	keine Angabe
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Rücklösung des Phosphors steigern: Klärschlamm im Fermenter zusammen mit festen, organischen Abfällen vermisch - MAP Kristallisationsanlage aus zwei Bauteilen: Stripper und Fließbettreaktor - Stripper: pH- Wert auf 8,3 bis 8,7 einstellen durch CO₂-Stripping mithilfe von Luft - Fließbettreaktor: zwei Verfahren möglich → MAP Kristallisation über Vorlage von Keimlingen aus Quarzsand und die spontane MAP Kristallisation - Maße Fließbettreaktor: Durchmesser: 0,6 m Höhe: 3 m Volumen: 0,85 m³
Schematische Darstellung	<pre> graph TD A[Vorratstank] --> B[Dekanter] B --> C[Mixer] C --> D[Stripper] D --> E[Entlüftung] E --> F[Fließbettreaktor] </pre>
Produkt	Struvit (MAP) oder Hydroxylapatit (HAP)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - Quarzsand begünstigt heterogene Keimbildung - wenig Chemikalien
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - verfahrenstechnische Probleme
Entwicklungsstand	Pilotanlage
Bewertung Einsatzfähigkeit	weiterführende Versuche aufgrund der verfahrenstechnischen Probleme

Sydney Waterboard Reaktor

Name des Verfahrens	Sydney Water Board Reaktor
Unternehmen	Sydney Waterboard
Input	Schlammwasser
Verfahren	Kristallisationsverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Abwasser wird Entkohlung unterzogen - Zugabe von Gips + Einstellung pH-Wert - Abwasser gelangt in Reaktor mit Magnesium - Bildung von Calciumphosphat
Schematische Darstellung	
Produkt	Calciumphosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - leichte Integration
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einsatz von Chemikalien
Entwicklungsstand	Pilotanlage auf Kläranlage Warriewood
Bewertung Einsatzfähigkeit	verschiedene Aspekte in Pilotanlage unterschieden sich von Laborversuch → weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erforderlich

Festbettreaktor der Firma Kurita Water

Name des Verfahrens	Kurita Festbettreaktor
Unternehmen	Kurita Water Industries (Tokyo)
Input	Schlammwasser
Verfahren	Kristallisationsverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Festbettreaktor mit 0,5 – 1,0 mm Rohphosphat-Partikeln gefüllt - Festbett mit Calciumchlorid (CaCl₂) und Natronlauge (NaOH) beladen - Phosphorkristallisation im Nebenstrom - Rohphosphat als Impfmateriale - Abwassernebenstrom aufwärts durch Reaktor gepumpt - Reaktorsäule mit Calciumchlorid und Natronlauge
Produkt	Hydroxylapatit
Vorteile	- marktfähiges Produkt
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich
Entwicklungsstand	Pilotanlage Kläranlage Osaka (Japan)
Bewertung Einsatzfähigkeit	Großtechnische Umsetzung in Europa fraglich

Nishihara Environment Technology Inc.

Name des Verfahrens	Nishihara
Unternehmen	Nishihara Environment Technology Inc.
Input	Schlammwasser Nebenstrom
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	35 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Zylinder mit innerem Zylinder - oberer Teil breiter → dient als Absetzbereich → Trennung Abwasser und MAP-Kristalle - im inneren Teil wird Schlammwasser, Meerwasser und Luft eingeleitet und nach oben befördert - Feststoffe vermischen sich → MAP-Kristalle entstehen - Suspension gelangt in Absetzbereich → MAP-Kristalle sedimentieren und behandeltes Abwasser läuft über, in Hauptstrom zurück - MAP-Kristalle in Reaktor-Unterseite mit Wasser abgezogen → werden mithilfe eines Siebs (0,2 – 0,3 mm) vom Wasser getrennt
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - geringere Betriebskosten durch Verwendung von Meerwasser als Magnesium-Quelle
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - verfahrenstechnische Probleme möglich - Meerwasser nicht überall leicht zugänglich
Entwicklungsstand	Pilotversuche an der Hiagari Kläranlage in Kytakyushu (Japan)
Bewertung Einsatzfähigkeit	Großtechnische Umsetzung in Europa fraglich

P-RoC-Verfahren vom Karlsruher Institut für Technologie

Name des Verfahrens	P-RoC
Unternehmen	Karlsruher Institut für Technologie
Input	Schlammwasser und Faulschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	30 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - in Kristallisationsreaktor (betrieben als Schwebebett- oder Rührreaktor) wird zunächst Calcium-Silikat-Hydrat eingeleitet - durch Einleitung des Abwassers kommt es zur Reaktion mit dem bereits im Reaktor befindlichen Calcium-Silikat-Hydrats - Freisetzung von Hydroxidionen führt zu Erhöhung des pH-Wertes - calciumphosphathaltige Mineralien fallen aus → anschließend abgezogen und getrocknet
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[Abwasser] --> B[Vorreinigung] B --> C[Kristallisationsreaktor] C --> D[gereinigtes Wasser] C -- "P-haltiges Produkt" --> E[Absetzbecken] E --> F[Trocknung] </pre>
Produkt	MAP (Struvit) oder Calcium-Siliko-Phosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - Produkt erfüllt Anforderungen der Phosphorindustrie - leichte Integration - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einsatz von Chemikalien - Tockensubstanzgehalt Zulauf muss unter 1 % liegen - Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen einhaltbar
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Großostheim, großtechnische Umsetzung in Neuburg an der Donau geplant
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden (Rückgewinnung Kläranlagen mit Bio-P-Elimination und P-Gehalt von bis zu 2,9 %)

CSIR-Wirbelschichtreaktor-Verfahren des Council for Scientific and Industrial Research

Name des Verfahrens	CSIR Wirbelschichtreaktor
Unternehmen	Council for Scientific and Industrial Research (Südafrika)
Input	Schlammwasser
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Kristallisation und Fällung durch Zugabe von Magnesium und der Veränderung des pH-Wertes durch die verschiedenen Belüftungsbereiche - Anschließend Klärung und Fermenter - nach Fermentation wird Struvit und Hydroxylapatit (HAP) abgezogen
Schematische Darstellung	<pre> graph LR In(()) --> Ana[anaerob] Ana --> Anox[anoxisch] Anox --> Aer[aerob] Aer --> Klar[Klärung] Klar --> Fer[Fermenter] Fer --> Aus[Ablauf] Fer --> Schl[Schlamm] Fer --> RL[Rücklauf] RL --> Ana Fer --> Str[Struvit] Fer --> HAP[HAP] </pre>
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	- marktfähiges Produkt
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einsatz von Chemikalien
Entwicklungsstand	Labormaßstab
Bewertung Einsatzfähigkeit	keine Hinweise zu einer geplanten Pilotanlage oder großtechnischen Umsetzung

Seaborne-Verfahren der Seaborne EPM AG – Engineering & Projectmanagement und der Seaborne ERL GmbH – Environmental Research Laboratory

Name des Verfahrens	Seaborne-Verfahren
Unternehmen	Seaborne EPM AG – Engineering & Projectmanagement und der Seaborne ERL GmbH – Environmental Research Laboratory
Input	Klärschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	70 % bezogen auf Kläranlagenzulauf

<p style="text-align: center;">Beschreibung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Prozess besteht aus drei Vorgängen: der Extraktion, der Schwermetallfällung und der Nährstoffrückgewinnung (NRS) - zunächst anaerobe Schlammbehandlung in einem Vergärungsreaktor - zusätzlich an erstes Modul Blockheizkraftwerk integriert → - Energiegewinnung und -erzeugung - im Prozess der integrierten Biogasreinigung werden Schwefelwasserstoff und Siloxane mithilfe eines nasschemischen Prozesses minimiert, wobei das Gas verdichtet wird - an Vergärung schließt ROHM Modul an - durch die Zugabe von reaktivem Sauerstoff oder Schwefelsäure werden Schwermetalle und enthaltene Nährstoffe rückgelöst - nachfolgend werden alle sonstigen festen Inhaltsstoffe vom Wasser mittels Zentrifuge abgeschieden, getrocknet und als Brennstoff verwendet - entstandenes Biogas wird zu Prozessbehälter geführt, in dem Schwefelwasserstoffe aus Biogas mit Schwermetallionen aus Prozess- bzw. Schlammwasser reagieren - durch diesen Prozess und der Erhöhung des pH-Wertes durch Natronlauge werden Schwermetallsulfide gebildet, welche nach der Ausfällung entsprechend abgetrennt werden können - anschließend NRS-Prozess - zunächst Molverhältnis von Ammonium, Phosphat und einem zweiwertigen Metall (z.B. Magnesium) angepasst - nach Erhöhung des pH-Wertes Bildung des Produktes Ammonium-Metall-Phosphat - abschließend wird das erhaltene Produkt durch Prozess der Trocknung in Ammoniak und Metallphosphat getrennt - Metall-Phosphat wird zu einem Teil wieder dem Kreislauf zugeführt, während der größere Teil als Phosphordünger oder Düngerrohstoff Anwendung findet - durch Prozess der Kondensation wird erhaltenes Ammoniak in Ammoniakwasser umgewandelt
<p style="text-align: center;">Schematische Darstellung</p>	<p>ROHM:</p> <pre> graph LR A[ausgefaulter Klärschlamm] --> B[Extraktion] B --> C[Zentrifuge] C --> D[organische Reststoffe] D --> E[Trocknung, Verbrennung] C --> F[Fällung] F --> G[BHKW] F --> H[Zentrifuge] H --> I[Schwermetallsulfide] H --> J[Zwischenspeicher] J --> K[NRS] </pre>

	<p>NRS:</p> <p>The diagram illustrates the NRS process. It starts with 'Ablauf ROHM' entering a box 'Einstellung Molverhältnis'. Inputs to this box are PO_4^{2-} and Mg^{2+}. Below this box, the molar ratio is given as $NH_4 : PO_4^{3-} : Mg^{2+}$ ca. 1 : 1 : 1. An arrow leads to a second box 'Neutralisation + Fällung', which receives 'NaOH' as an input. From here, the process goes to 'Zentrifuge'. A feedback loop labeled 'MgHPO₄-Rückführung' returns from the centrifuge to the 'Einstellung Molverhältnis' box. From the centrifuge, one path goes to 'Ablauf zu Kläranlage' and another to 'Trocknung, Kondensation'. The 'Trocknung, Kondensation' step produces 'MgHPO₄' and 'Ammoniakwasser'.</p> <p>Weiterentwicklung zu Gifhorner Verfahren: Gifhorn Anpassungen: Ersatz der Trocknung und Entgasung zur Calciumchloridproduktion und Stickstoffelimination durch einen Strippingprozess aufgrund verschiedener Betriebsprobleme durchgeführt</p>
Produkt	MAP (Struvit) oder Diammoniumsulfat (DAS)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - Produkt enthält keine Reststoffe - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich
Entwicklungsstand	<ul style="list-style-type: none"> - Versuchsanlage in Owschlag - Großtechnische Umsetzung in Gifhorn (Niedersachsen, Deutschland)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden - aufgrund der hohen Investitions- und Betriebskosten weitere Verfahrensanpassungen realisieren, wodurch es abzuwarten gilt, ob sich dieses Verfahren weiter etablieren lässt (Forschung durch Universität Braunschweig)

Air-Prex Verfahren der NP – Technology Water and Biosolids GmbH

Name des Verfahrens	AirPrex
Unternehmen	Technology Water and Biosolids GmbH
Input	Klärschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	24 % bezogen auf Klärschlamm

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - der aus Faulungsprozess stammende Schlamm wird Luft- Strip- pungsreaktor zugeführt - durch Prozess wird CO₂ aus Schlamm entfernt - Folge: Anstieg des pH-Wertes - Zugabe Magnesiumsalz in Reaktor → Magnesium-Ammonium- Phosphate (MAP) fallen aus - Kristallbildung kann durch die im MgPlus enthaltenen Additive deutlich verbessert werden
Schematische Darstellung	<pre> graph LR RS[Rohschlamm] --> FB[Faulbehälter] FB --> SV[Schlammvorlage] SV --> R1[Reaktor 1] R1 --> R2[Reaktor 2] R2 --> E[Entwässerung] FB --> FG[Faulgas] LS[Luftstripping] --> R2 </pre>
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - Produkt enthält keine Reststoffe - Phosphorrückbelastung deutlich minimiert - Verbesserung der Entwässerungseigenschaften des Schlammes - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückge- winnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich
Entwicklungsstand	größentechnische Umsetzung in Mönchengladbach 2009, Waßmannsdorf 2011, Uelzen 2014, Salzgitter 2012, Steinhof 2015
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden

PECO-Verfahren der TU-Braunschweig

Name des Verfahrens	PECO-Verfahren
Unternehmen	TU-Braunschweig
Input	Überschussschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	35 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - im Überschussschlamm befindlicher Phosphor wird kristallisiert - als MAP zurückgewonnen - Meerwasser als Magnesiumquelle
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - infolge der biologischen Phosphorremobilisierung können Chemi- kalien – wie sie für die physikalische oder chemische Eliminierung notwendig wären – vermieden werden - für hochkonzentrierte Teilströme mit hohem Phosphatanteil - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückge- winnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - Einhaltung Grenzwerte nicht für alle Kläranlagen möglich
Entwicklungsstand	Pilotanlage
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden

ExtraPhos® (Budenheimer-Verfahren) von der Chemischen Fabrik Budenheim KG, der Ingenieurgesellschaft Steinburg mbH und der Rotaria Energie- und Umwelttechnik GmbH

Name des Verfahrens	ExtraPhos® (auch Budenheimer-Verfahren genannt)
Unternehmen	Chemische Fabrik Budenheim KG, die Ingenieurgesellschaft Steinburg mbH und die Rotaria Energie- und Umwelttechnik GmbH
Input	Klärschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - aus Faulturm stammende Klärschlamm wird unter Druck stehenden Rohrreaktor zugeführt - gleichzeitig wird Kohlenstoffdioxid eingeblasen → pH-Wert sinkt durch Bildung von Kohlensäure - im Klärschlamm befindlichen Phosphate werden herausgelöst und gehen in Schlammwasser - durch nachfolgende Zentrifuge wird phosphatarmer Klärschlamm vom phosphatreichen Schlammwasser getrennt - anschließend Schlammwasser in einen Behälter mit einem Rührwerk - Zugabe Kalkmilch → pH-Wert Erhöhung → Dicalciumphosphat fällt aus - ausgefallenes Phosphat mit Filterpresse zurückgewonnen
Schematische Darstellung	<pre> graph TD FT[Faulturm] -- Klärschlamm --> RR[Rohrreaktor] RR -- CO2 --> RB[Gasballon CO2] RB -- Recycling --> RR RR -- Klärschlamm --> Z[Zentrifuge] Z -- Entwässertes Klärschlamm --> EK[Entwässertes Klärschlamm] Z -- Schlammwasser --> RW[Rührwerk] RW -- Schlammwasser mit ausgefallenem Phosphat-Wertstoff --> FP[Filterpresse] FP -- Phosphat-Wertstoff --> PW[Phosphat-Wertstoff] FP -- Filtrat --> FT </pre>
Produkt	Calciumphosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - vergleichsweise hohe Rückgewinnungsquote → Mitverbrennung in Zementindustrie möglich - verbessert Entwässerung Klärschlamm - Steigerung Heizwert Klärschlamm - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden - geringer Energiebedarf - kaum bis keine Abfälle
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Bio-P - keine Schwermetallabtrennung (Düngemittleinsatz fragwürdig) - Kosten ungewiss - komplexes Verfahren
Entwicklungsstand	Pilotanlage

Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - großtechnische Umsetzung + Wirtschaftlichkeit fraglich - Produkt muss abgesichert/ als Düngemittel einsetzbar sein - Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden
----------------------------	---

Stuttgarter-Verfahren der Ingenieurberatung GmbH und MSE GmbH

Name des Verfahrens	Stuttgarter-Verfahren und MSE-Verfahren
Unternehmen	Stuttgarter-Verfahren: Ingenieurberatung GmbH mobile Schlammentwässerung: MSE GmbH
Input	Faulschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	43 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - aus Faulturm stammender Schlamm wird in Reaktor mit Schwefelsäure versetzt → pH-Wert Senkung - Entwässerung: Trennung des Schlammes vom Filtrat - abgeschiedener Filterkuchen wird Mitverbrennung zugeführt - zurückbleibendes Filtrat wird mittels Ultrafiltration von verbliebenen Feststoffen befreit - Filtrat zuvor mit Zitronensäure, Magnesiumoxid und Natronlauge versetzt - Zitronensäure: Komplexierung von Schwermetallen und Eisen - Magnesiumoxid: Gleichgewichtseinstellung der Edukte - Natronlauge: Erhöhung des pH-Wertes für den Kristallisationsvorgang - danach gelangt gefiltertes Permeat in einen zweiten Reaktor → Kristallisation - MAP-Kristalle abgezogen und entwässerter Klärschlamm wird wieder Kläranlage zugeführt
Schematische Darstellung	<pre> graph LR FT[Faulturm] --> R1[Reaktor 1] R1 --> E[Entwässerung] E --> FK[Filterkuchen] FK --> MV[Mitverbrennung] E -- Filtrat --> UF[Ultrafiltration] UF -- Permeat --> R2[Reaktor 2] R2 --> MAP[MAP] R2 -- Rücklauf --> BB[Belebungsbecken] BB --> FT </pre>
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - vergleichsweise hohe Rückgewinnungsquote - einfache Integration - Einhaltung AbfklärV bei beiden Verfahren - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden - Produkt mit geringem Schadstoffgehalt + hoher Pflanzenverfügbarkeit
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - bisher nur im Teilstrom erprobt - Einsatz Chemikalien
Entwicklungsstand	Pilotanlage

Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Großtechnische Umsetzung fraglich - als dezentrale Lösung möglich - Anforderungen AbfKlärV können eingehalten werden
----------------------------	--

PRISA-Verfahren des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

Name des Verfahrens	PRISA-Verfahren
Unternehmen	Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen
Input	Klärschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgewinnung Phosphat und Ammonium aus Schlammwasser - Phosphorrückgewinnung sowohl mit Schlamm aus der Voreindickung als auch mit Schlamm aus der Nacheindickung und dem Wasser aus Entwässerung - in Voreindickung gelangt Überschussschlamm aus Kläranlage mit biologischer Phosphoreliminierung - Voreindickung mit Rührwerk für Vermischung ausgestattet → begünstigt Rücklösung des Phosphats im anaeroben Bereich und Übergang ins Schlammwasser - um keine Rückbelastung zu befürchten, wird bereits entwässerter Klärschlamm aus System entfernt - Gemisch aus Überstandswasser aus dem Voreindicker, dem Nacheindicker und der Schlammentwässerung wird für Entfernung von Feststoffen durch Filter (hier Tuchfilter) gereinigt - im Mischbehälter wird Schlammwasser mit Magnesiumoxid als Fällmittel und Natronlauge zur Einstellung des pH-Wertes vermischt - durch Fällmittel gebildete Magnesium-Ammonium-Kristalle sinken zu Boden und werden abgezogen - da Ammoniumkonzentration in meisten Fällen deutlich höher ist als Phosphatkonzentration, wird meist Phosphorsäure zur Einstellung des notwendigen Verhältnisses (Mg: NH₄: PO₄ = 1:1:1) zugegeben
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - vergleichsweise hohe Rückgewinnungsquote - einfache Integration - Verfahrensprobleme wie sie bei Nebenstromverfahren (beispielsweise Phostrip-Verfahren) bekannt sind, werden vermieden - Anforderungen an die AbfKlärV können in Bezug auf die

	Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	Voraussetzung: Bio-P und anaerobe Schlammstabilisierung
Entwicklungsstand	Pilotanlage
Bewertung Einsatzfähigkeit	- großtechnische Umsetzung fraglich - Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden

PhosForce-Verfahren der Veolia Wasser Deutschland GmbH

Name des Verfahrens	PhosForce-Verfahren
Unternehmen	Veolia Wasser Deutschland GmbH
Input	Klärschlamm
Verfahren	Kristallisations- und Fällungsverfahren
Rückgewinnungsrate	50 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Klärschlamm (Primärschlamm aus Vorklämung oder Überschussschlamm aus Nachklärung) wird in Reaktor zur biologischen Versauerung eingebracht → Senkung pH-Wert - Entwässerung der Feststoffanteil des Klärschlamm - Filtrückstand wird Faulungsprozess unterzogen und nochmals entwässert - phosphorreiche Filtrat wird Struvia™-Reaktor zugeführt - Zugabe von Calciumchlorid oder Magnesiumchlorid und einer Base - Phosphat fällt in Form von Struvit (Ammonium- magnesiumphosphat) oder als Brushit (Calcium- hydrogenphosphat) aus gereinigtes Wasser wird über Ablauf aus System geleitet - Struvit-Partikel werden durch Lamellenabscheider entfernt - Produkt am Boden des Reaktors entfernt - Struvit-Partikel werden Entwässerung bzw. Trocknung unterzogen
Schematische Darstellung	<pre> graph LR Schlamm --> Versauerung Chemikalien[Chemikalien/Co-Substrat] --> Versauerung Versauerung --> Entwässerung1[Entwässerung] Entwässerung1 --> Mischbehälter[Mischbehälter] Mischbehälter --> Faulung Faulung --> Entwässerung2[Entwässerung] Entwässerung2 --> Schlamm Entwässerung1 --> Struvia[Struvia™-Reaktor] CaCl2[CaCl2 oder MgCl2] --> Struvia Base --> Struvia Struvia --> Entwässerung3[Entwässerung/Trocknung] Entwässerung3 --> Produkt[Struvit oder Brushit] </pre>
Produkt	MAP (Struvit) oder Brushit
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - marktfähiges Produkt - vergleichsweise hohe Rückgewinnungsquote - einfache Integration - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	- Voraussetzung: Bio-P
Entwicklungsstand	Pilotanlage auf Kläranlage in Schönebeck an der Elbe
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen AbfklärV können eingehalten werden

Thermochemische Verfahren

PYREG® Verfahren der PYREG GmbH

Name des Verfahrens	PYREG®
Unternehmen	PYREG GmbH
Input	Klärschlamm
Verfahren	Vergasungs-, Pyrolyse- oder Karbonisierungsverfahren (HTC)
Rückgewinnungsrate	mindestens 90 % bezogen auf Klärschlamm
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Klärschlamm in Doppelschneckenreaktor bei Temperaturen von 500 bis 700 °C karbonisiert → alle organischen Schadstoffe werden vollständig vernichtet - bei der Verbrennung entstehenden Gase werden in Brennkammer nach dem FLOX®-Verfahren bei 1.000 °C nachverbrannt - in der Brennkammer zurückbleibende Gasphase wird durch alkalischen Rauchgaswäscher zur Abscheidung der sauren Gase und durch einen Aktivkohlefilter zur Abscheidung von Quecksilber geleitet - Produkt wird aus dem PYREG®-Reaktor abgezogen
Schematische Darstellung	
Produkt	phosphathaltiges Karbonisat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Karbonisierung autotherm → Wärmenutzung für Trocknung - Phosphor im Produkt pflanzenverfügbar
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Voraussetzung: Klärschlammaufkommen von 1.400 t/a, TM- Gehalt mindestens 80 %, Mindestheizwert 10 MJ/kg - hoher Chemikalieneinsatz - Nutzung des Produkts als Düngemittel fraglich
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung in Linz-Unkel und Homburg
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Verwendung des Produktes als Düngemittel klären - Weiterverarbeitung des Produktes für düngerechtliche Zulassung → Wirtschaftlichkeit fraglich

EuPhoRe® Verfahren der EuPhoRe® GmbH

Name des Verfahrens	EuPhoRe®
Unternehmen	EuPhoRe® GmbH
Input	Klärschlamm, andere Biomassen (Wirtschaftsdünger, Gärrest, Kompost)
Verfahren	Thermochemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	98 % bezogen auf Klärschlamm
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Teilchengröße von unter 10 mm notwendig, gegebenenfalls Zerkleinerung notwendig - Alkali- und/oder Erdalkalichloride oder -sulfate werden hinzugegeben - diese dissoziieren im Schlamm → Phosphorlöslichkeit wird verbessert und Schwermetalle werden ausgetragen - anschließend erfolgt Trocknung - durch Reduktion im Drehrohreaktor (650 – 750 °C) wird Biomassekoks und Pyrolysekoks gebildet - Schwermetalle werden in Form von Chloriden in der Gasphase ausgeschleust
Schematische Darstellung	
Produkt	phosphathaltige Asche
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - Einsatz entwässerter bis getrockneter Klärschlamm - Anforderungen an Düngemittelverordnung werden eingehalten - Kaum bis kein Chemikalieneinsatz - geringer Reststoffanteil → kaum Abfall - Nutzung Pyrolysegas - Synergien mit Feststoffverbrennungsanlage - Energieeffizient
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - hoher technischer Aufwand → Wirtschaftlichkeit - Produkt: geringer Phosphorgehalt, geringe Pflanzenverfügbarkeit - Schwermetallanreicherung möglich
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung in Oftringen und Urvier (Schweiz) Großtechnische Umsetzung in Mannheim, Offenbach am Main und TREA Leuna Pilotanlage in Dinslaken
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an Düngemittelverordnung werden eingehalten - Wirtschaftlichkeit hinsichtlich technischen Aufwands prüfen

TerraNova® Ultra-Verfahren der TerraNova Energy GmbH

Name des Verfahrens	TerraNova® Ultra-Verfahren
Unternehmen	TerraNova Energy GmbH
Input	Klärschlamm
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	60–80 % bezogen auf Klärschlamm
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - entwässertes Klärschlamm wird über eine Hochdruckpumpe in Eintragswärmetauscher geleitet - Klärschlamm wird in diesem für 5 Stunden bei 180 °C erwärmt - Zugabe von Schwefelsäure als Katalysator für die hydrothermale Karbonisierung → führt zur Bildung einer kohlehaltigen Suspension und enthaltenes Phosphat geht in Lösung - im Austragswärmetauscher wird die Suspension abgekühlt - Suspension wird entwässert und phosphatarme regenerative Kohle vom phosphatreichen Filtrat getrennt - im Filtrat vorhandenes Phosphat wird mit Calcium-Silikat-Hydrat kristallisiert und abschließend abgeschieden
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[Klärschlamm] --> B[Wärmetauscher] B --> C[Reaktor] C --> D[Wärmetauscher] D --> E[Entwässerung] E --> F[HTC-Kohle] E --> G[phosphor- und stickstoffreiches Filtrat] </pre>
Produkt	phosphatbeladene Calcium-Silikat-Hydrat-Partikel oder Magnesiumphosphatkristallit
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden eingehalten - mit allen Schlammarten durchführbar - geringer Schadstoffgehalt → Schwermetalle werden an Kohle gebunden und können mit Sulfiden ausgefällt werden - hohe Energieeffizienz - Phosphor hoch pflanzenverfügbar - hohe Rückgewinnungsrate - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden - geringe Kosten
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - noch nicht genügend Daten bezüglich der Betriebsweise
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Düsseldorf
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Großtechnische Umsetzung fraglich → Datengrundlagen - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Wirtschaftlichkeit prüfen

KREPRO®-Verfahren von der Firma KEMIRA OY, Alpha Laval, Kläranlage in Helsingborg Östersundverket

Name des Verfahrens	KREPRO®
Unternehmen	Firma KEMIRA OY, Alpha Laval, Kläranlage in Helsingborg Östersundverket
Input	Klärschlamm
Verfahren	Thermochemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	68 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - ankommender Faul- oder Rohschlamm wird mit Zentrifuge auf einen Trockensubstanzgehalt von 5 bis 7 % gebracht - eingedickter Schlamm gelangt in Mischbehälter - Zugabe von Säure → pH-Wert von 1 bis 3 - Schwermetalle auch im Schlamm → enthaltener Phosphor gt in Lösung - unter hohem Druck und Temperaturen von 140 °C werden 40 % der im Schlamm enthaltenen organischen Säuren in Reaktor hydrolysiert und in biologisch abbaubaren Zustand überführt - anorganischen Substanzen gehen in flüssige Phase über - organischen Inhaltstoffe können in anschließender Zentrifuge leicht entwässert werden - aus Zentrifuge kann Schlamm mit Trockensubstanzgehalt von 50 % und hohem Heizwert (vergleichbar mit Holzpellets) abgezogen und als Brennstoff verwendet werden - aus phosphathaltigem Schlammwasser wird Phosphor durch Zugabe von Eisen ausgefällt - um Fällung optimale Bedingungen zu bieten, wird Alkali für Erhöhung des pH-Wertes hinzugegeben
Schematische Darstellung	
Produkt	Eisenphosphat
Vorteile	- zurückbleibendes Schlammwasser dient als Kohlenstoffquelle + Nährstoffeliminierung auf Kläranlage
Nachteile	- Vermarktung des entstehenden Eisenphosphats fraglich
Entwicklungsstand	Pilotanlage
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - keine großtechnische Umsetzung aufgrund fehlender Vermarktungsmöglichkeit des Produktes - Weiterverarbeitung des Produktes für düngerechtliche Zulassung → Wirtschaftlichkeit fraglich

KRN Mephrec-Verfahren der ingitec Engineering GmbH

Name des Verfahrens	KRN Mephrec-Verfahren
Unternehmen	ingitec Engineering GmbH
Input	Klärschlamm, Klärschlammasche, unterschiedliche phosphathaltige Abfallprodukte
Verfahren	Thermochemisches Verfahren (metallurgisch)
Rückgewinnungsrate	60 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Klärschlamm wird in ungetrockneter Form allein oder zusammen mit Tiermehlen und/oder phosphorpentoxidhaltigen Aschen zu Briketts verarbeitet - Vorgang geschieht in Form einer Schmelzvergasung (2000 °C) - als Produkt wird flüssige Schlacke erhalten, welche anschließend in Wasserbad abgekühlt wird - Metalle mit hoher Schmelztemperatur – wie Eisen, Kupfer, Chrom und Nickel – liegen anschließend zu großen Teil als Legierung vor → wird abgezogen - Metalle mit niedriger Schmelztemperatur - wie Zink, Cadmium und Quecksilber – gehen in gasförmige Phase über → über Gasreinigungssystem abgezogen - geringer restlicher Anteil der Metalle geht in Schlacke über - entstandene Brenngas wird in Nachbrennkammer verbrannt → → phosphorhaltige Stäube entstehen → werden abgeschieden und zusammen mit entstandener Schlacke zu Düngemittel aufbereitet - Stäube werden auch für Phosphorsäureherstellung + Schlacke für Baustoffe angewandt
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[entwässertes Klärschlamm] --> B[Schlamm-trocknung] B --> C[Brikettierung] C --> D[Schmelze] D --> E[P-Schlacke] D --> F[Metalllegierung (Fe)] </pre>
Produkt	phosphathaltige Schlacke
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - energetische Nutzung des Synthesegases - Rückgewinnung von Metallen
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - komplexe Verfahrensweise - hoher Platzbedarf - hohe Betriebs- und Investitionskosten
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Nürnberg
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Dauerbetrieb der Anlage kaum/nicht erprobt → für großtechnische Umsetzung Anpassungen und Nachrüstungen für optimale Betriebsführung notwendig → Großtechnische Umsetzung fraglich - erst ab Klärschlamm-mengen von 15.000 t TM/a wirtschaftlich sinnvoll

P-XTRACT® der WEHRLE-WERK AG, dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden- Württemberg (ZSW) und der Universität Freiburg

Name des Verfahrens	P-XTRACT®
Unternehmen	WEHRLE-WERK AG, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Universität Freiburg
Input	Klärschlamm
Verfahren	Thermochemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	80 % bezogen auf Klärschlamm
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung der K³-Wirbelschichttechnologie von WEHRLE - Klärschlamm wird bei 700 – 750 °C verbrannt (Wirbelschicht) - Zugabe von Additiven → Schwermetallabtrennung + Phosphor wird besser pflanzenverfügbar
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[Klärschlamm] --> B[Verbrennung (Wirbelschicht)] C[Zugabe von Additiven] --> B B --> D[Heißgaszyklon] D --> E[flugfähige phosphathaltige Asche] D --> F[flüchtige Schwermetalle] E --> G[Rauchgasreinigung] G --> H[phosphorhaltige Asche] </pre>
Produkt	phosphathaltige Asche
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - Schadstoffeliminierung, Schwermetallabtrennung - Produkt mit hoher P-Verfügbarkeit für Pflanze - Abtrennung der Phosphorasche bei 700 - 750 °C (meisten Schadstoffe noch gasförmig) - phosphorhaltige Asche für Düngemittelherstellung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Betriebs- und Investitionskosten - Chemikalieneinsatz
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Breisach-Grezhausen
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Dauerbetrieb der Anlage noch nicht erprobt - Großtechnische Umsetzung vielversprechend - Anforderungen der AbklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden

ATZ-Eisenbadreaktor Verfahren vom ATZ Entwicklungszentrum

Name des Verfahrens	ATZ-Eisenbadreaktor Verfahren
Unternehmen	ATZ Entwicklungszentrum
Input	Klärschlamm, Klärschlammasche, unterschiedliche phosphathaltige Abfallprodukte
Verfahren	Thermochemisches Verfahren (metallurgisch)
Rückgewinnungsrate	90 % bezogen auf Kläranlagenzulauf

<p style="text-align: center;">Beschreibung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - entwässerter Klärschlamm oder Klärschlammasche werden mit Zement und anderen zusätzlichen Substanzen zu Briketts geformt - über Boden des Konverters werden alle notwendigen Stoffe für Reaktion – wie Sauerstoff, Methan, Phosphorabfälle, Zuschläge, Kohle und der Klärschlamm – eingebracht - Heißluft wird im oberen Bereich eingeblasen - zusätzlich wird Schlacke und Roheisen zugeführt - Briketts werden im Ofen mit Temperaturen von 1.500 °C verbrannt → Zerlegung organischer Verbindungen - Schwermetalle gehen in Gas- (Cadmium, Quecksilber, Blei, Zink) oder in Flüssigphase (Eise, Chrom, Kupfer, Nickel) über - gasförmige Metalle gehen in Prozessstaub über und werden durch Filtersystem zurückgewonnen - zurückbleibende Schlacke enthält gesamten Phosphor des Klärschlammes oder der Klärschlammasche → Einsatz als Düngemittel - Metallschlacke wird nach carbothermischer Schwermetallreduktion in Stahlwerken oder Gießereien verwendet - als endotherme Reaktion benötigt Verfahren sowohl für Aufheizen als auch für Schmelze und für Reduktion der Metalloxide Energie → im Klärschlamm enthaltener Kohlenstoff als Quelle, als auch eine spezielle Nachverbrennungstechnik verwendet - Prozessgase Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff werden mithilfe eines Heißluftstrahls nachverbrannt - die dabei entstehende Energie wird für Betrieb des Eisenbades zurückgeführt - durch Zugabe von Sauerstoff zum Eisenbad, wird zunächst Kohlenstoff und anschließend Phosphor ausgetrieben (Entphosphorung) → Prozess kann durch Zugabe von Feinkalk deutlich verbessert werden - gelangen Metalle in die Endschlacke, so können diese vorher durch Zugabe von Ferrosilicium und/oder Aluminium entfernt werden - wird phosphorhaltige Schlacke abgezogen, muss für nächsten Prozess Aufkohlung durch Zugabe von Feinkohle stattfinden - entstandener Sekundärstaub wird Metallbad wieder zugeführt → Zinkoxid und Bleioxid werden so weit aufkonzentriert, dass diese bei der Nichteisenmetallurgie zum Einsatz kommen könnten
<p style="text-align: center;">Schematische Darstellung</p>	<pre> graph LR HL[Heißluft] --> ER[Eisenbad-reaktor 1500 °C] S[Schlacke] --> ER RH[Roheisen] --> ER SMA[Sauerstoff, Methan, P-Abfälle, Zuschläge, Kohle] --> ER ER --> PS[P-Schlacke Dünger] ER --> EB[Eisenbad] ER --> F[Filter] F --> GA[gereinigtes Abgas] F --> PST[Prozessstaub] </pre>
<p style="text-align: center;">Produkt</p>	<p style="text-align: center;">phosphathaltige Schlacke</p>

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - selektive Rückgewinnung von Phosphor - Schadstoffentfernung (Metalloxide werden vollständig reduziert) + Rückgewinnung von Metallen - effiziente Nutzung der im Klärschlamm enthaltenen Energie - Produkte mit hoher Pflanzenverfügbarkeit - Art der Phosphoreliminierung nicht relevant
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - komplexe Verfahrensweise - hoher Platzbedarf - hoher Einsatzstoffbedarf - mittelmäßige Energieeffizienz - geringe Entwicklungsreife - bestimmter Eisengehalt notwendig
Entwicklungsstand	Labormaßstab
Bewertung Einsatzfähigkeit	- Großtechnische Umsetzung fraglich → weitere Forschung + Entwicklung notwendig

SeraPlant (ehemals RecoPhos®) der SeraPlant GmbH, der Materialforschungs- und Prüfstelle der Bauhaus- Universität Weimar und der Glatt Ingenieurtechnik GmbH

Name des Verfahrens	SeraPlant (ehemals RecoPhos®; beruht auf Phos4green)
Unternehmen	SeraPlant GmbH, Materialforschungs- und Prüfstelle der Bauhaus-Universität Weimar und Glatt Ingenieurtechnik GmbH
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Thermochemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	100 % bezogen auf Klärschlammasche
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Klärschlammasche wird mithilfe von Phosphorsäure (oder Schwefelsäure) aufgeschlossen - Zugabe von weiteren Nährstoffen wie Harnstoff, Kaliumsulfat Ammoniumsulfat und -phosphat - Lösung wird homogenisiert und getrocknet
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[Asche] --> B[Aufschluss] C[Phosphorsäure oder Schwefelsäure] --> B B --> D[Nährstoffzugabe] E[Harnstoff, Kaliumsulfat, Ammoniumsulfat und -phosphat] --> D D --> F[Homogenisieren + Trocknen] F --> G[aufgeschlossene phosphorhaltige Klärschlammasche] </pre>
Produkt	aufgeschlossene phosphathaltige Klärschlammasche
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - einfache technische Umsetzung - keine Reststoffe → kein weiterer Abfall - geringer Energieverbrauch - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnung eingehalten werden
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - Aschen müssen Anforderungen der Düngemittelverordnung einhalten - keine Schwermetallabtrennung
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung in Tangermünde, Halle-Lochau und Haldensleben

Nasschemische Verfahren

Aqua Recı Verfahren von Feralco AB und Chematur Engineering AB

Verfahren	Aqua Recı Verfahren
Unternehmen	Feralco AB (Helsingborg, Schweden) und Chematur Engineering AB (Karlskoga, Schweden)
Input	Klärschlamm
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	85 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - überkritische Wasseroxidation - Ziel: Eliminierung organischer Stoffe in Schlämmen - Wasser mit einer Temperatur von 375 °C und einem Druck von über 220 bar über eine Pumpe in System gebracht - bei dieser Temperatur und diesem Druck befindet sich Wasser in einer überkritischen Phase → Eigenschaften liegen zwischen einer Flüssigkeit und einem Gas - unter diesen Bedingungen gehen organische Stoffe nahezu vollständig in die Lösung über, während organische unlöslich sind - Wasser besitzt in überkritischer Phase geringere Dichte sowie höhere Diffusionseigenschaft und Mobilität der Ionen - infolge der hohen Temperatur und der herrschenden Eigenschaften des Wassers werden organische Stoffe sehr schnell oxidiert - durch Zugabe von Sauerstoff zum Wasser werden organische Substanzen in Kohlenstoffdioxid, organischer/anorganischer Stickstoff in Stickstoff, Halogene zu Fluoriden/Chloriden, Sulfone in Schwefelsäure und Phosphor zu Phosphorpentoxid bei einer exothermen Reaktion umgewandelt - die enthaltenen Metalle oxidieren zu höheren Valenz - zurückbleibende anorganische Asche sehr reaktiv, wodurch Phosphor und Metalloxide in Säuren leicht löslich sind - durch eine basische Extraktion kann enthaltenen Phosphor von vorhandenen Metalloxiden abgeschieden und im alkalischen Milieu durch Zugabe von Calciumhydroxid gefällt werden
Schematische Darstellung	
Produkt	Hydroxylapatit

Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfKlärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - Vermarktungsmöglichkeit des Produktes fraglich - hohe Verfahrenskosten - komplexe Prozessführung
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Karlskoga (Schweden)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Großtechnische Umsetzung fraglich → Datengrundlagen - Anforderungen an die AbfKlärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Wirtschaftlichkeit prüfen - Vermarktungsmöglichkeit des Produktes fraglich → eventuelle Aufbereitung bzw. Weiterverarbeitung notwendig → Wirtschaftlichkeit

TetraPhos®-Verfahren der Hamburger Phosphorrecyclinggesellschaft mbH (Remondis)

Name des Verfahrens	TetraPhos®
Unternehmen	Hamburger Phosphorrecyclinggesellschaft mbH (Remondis)
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	86 % bezogen auf Klärschlammasche
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Asche wird zunächst mit Phosphorsäure versetzt - phosphorhaltiges Eluat wird von Restasche befreit und mit Schwefelsäure vermischt → Fällung von Gips, welcher vor allem als Baustoff Verwendung findet - abschließend werden aus Elution Eisen, Magnesium und Aluminium mithilfe eines Ionenaustauschers entfernt - hierzu werden Chlorwasserstoff, Salpetersäure und Schwefelsäure zur Regeneration des Ionenaustauschers verwendet, wodurch die ausgefällten Metallsalze zur Phosphoreliminierung in der Abwasserbehandlung Anwendung finden - abschließend wird gewonnene Phosphorsäure mithilfe eines Vakuumverdampfers aufkonzentriert und gereinigt - Phosphorsäure wird zu einem Teil für die Düngemittelindustrie zur Verfügung gestellt und ein anderer Teil wird Anfang des Prozesses zurückgeführt - Eisen- und Aluminiumsalze werden zurückgewonnen und können als Fällmittel vermarktet werden - Gips findet in der Bauindustrie Anwendung
Schematische Darstellung	<pre> graph TD Asche --> P[Phosphorsäure] Asche --> Eluat[p-haltiges Eluat+Asche] P --> Eluat Eluat --> Trennung1[Trennung] Trennung1 --> Restasche[Restasche] Eluat --> S[Schwefelsäure] S --> Angereicht[angereicherte Phosphorsäure] Angereicht --> Trennung2[Trennung] Trennung2 --> Gips[Gips] Angereicht --> Ion[Ionenselektion] Ion --> Metallsalze[Metallsalze] Ion --> Vorgereinigt[vorgereinigte Phosphorsäure] Vorgereinigt --> ReinigungI[Reinigung I] ReinigungI --> ReinigungII[Reinigung II] ReinigungII --> Konzentrierung[Konzentrierung] Konzentrierung --> Reine[reine Phosphorsäure] Reine --> P </pre>

Produkt	Phosphorsäure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfKlärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Kreislaufführung - Vermarktung aller Produkte - sowohl Klärschlammmasche als auch Klärschlamm einsetzbar - energieeffizient - Produkt: hoher P-Gehalt, hohe Pflanzenverfügbarkeit, geringer Schadstoffgehalt
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - komplexer Verfahrensweise
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung in Hamburg
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfKlärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Einsatz des Verfahrens in Nähe von Monoverbrennungsanlagen in Sachsen-Anhalt sinnvoll

Ecophos® der Ecophos SA (Belgien)

Name des Verfahrens	Ecophos®
Unternehmen	Ecophos SA (Belgien)
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	70–90 % bezogen auf Klärschlammasche
Beschreibung	<p>Salzsäureprozess:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Klärschlammasche wird durch Zugabe von Salzsäure aufgeschlossen - anschließend werden Verunreinigungen aus Lösung abgetrennt - Zugabe von Kalk → Ausfällung von Di-Calciumphosphat (DCP) - DCP wird von der schwermetallhaltigen Lösung getrennt - Schwermetalle und Magnesium werden abgetrennt und Salzsäure sowie Gips zurückgewonnen - Produkt DCP Anwendung in Dünge- und Futtermittelindustrie <p>Phosphorsäureprozess:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Phosphorsäure zum Aufschluss der Klärschlammasche verwendet - Lösung wird von den Feststoffen befreit und die in der flüssigen Phase befindlichen Kationen (Al, Fe, Ca, Mg und Schwermetalle) mithilfe eines Ionenaustauschers abgetrennt - nach Verdampfungsprozess wird als Produkt Phosphorsäure gewonnen
Schematische Darstellung	<p>Salzsäureprozess:</p> <p>Phosphorsäureprozess:</p>
Produkt	Di-Calciumphosphat (DCP) oder Phosphorsäure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Schwermetallabtrennung - Produkt: hoher P-Gehalt, hohe Pflanzenverfügbarkeit, geringer Schadstoffgehalt - energieeffizient
Nachteile	Chemikalieneinsatz
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung (nicht in Deutschland)
Bewertung Einsatzfähigkeit	Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden

Substitution in der Düngemittelherstellung

Name des Verfahrens	Substitution in der Düngemittelherstellung
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	90 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Phosphaterze werden mit Klärschlammasche teilsubstituiert - anschließend nasschemischer Aufschluss durch Zugabe von Schwefel- oder Phosphorsäure - Produkt: phosphathaltiges Düngemittel, welches abschließend pelletiert wird
Schematische Darstellung	<pre> graph LR A[Phosphaterz] --> B[Teilsubstitution] C[Klärschlammasche] --> B B --> D[Aufschluss] E[Schwefel- oder Phosphorsäure] --> D D --> F[Pelletierung] F --> G[phosphathaltiges Düngemittel] </pre>
Produkt	phosphathaltiges Düngemittel
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfKlärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - einfacher Prozess - keine weiteren Abfälle
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - keine Schwermetallabtrennung
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfKlärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Aschen müssen DüMV einhalten (aufgrund fehlender Schwermetallabtrennung) - Anwendung in Düngemittelproduktionsanlagen → Wirtschaftlichkeit (Transport der Aschen) prüfen

PARFORCE-Verfahren der PARFORCE Engineering & Consulting GmbH

Name des Verfahrens	PARFORCE-Verfahren
Unternehmen	PARFORCE Engineering & Consulting GmbH
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	mindestens 80 % bezogen auf Klärschlammasche
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Aufschluss des in der Klärschlammasche befindlichen Phosphors durch Verwendung von Salz- oder Salpetersäure - Phosphat geht in die Lösung über - im Filtrationsprozess wird Phosphorsäure von festen Rückständen befreit und im nachfolgenden Prozess aufbereitet - Phosphorsäure wird mit i-(2-Ethyhexyl)Phosphorsäure (DEHPA) vermischt, um Aluminium und Eisen zu entfernen → Fällmittel kann zurückgewonnen werden - restlichen Ionen des Laugungsprozesses werden durch Elektrodialyse monoselektiv abgeschieden → Rohphosphorsäure und eine Mischung aus Salzsäure, Calciumchlorid und Natronlauge wird gewonnen - abschließend wird Phosphorsäure durch Mixer-Settler und Vakuumverdampfer aufkonzentriert

Schematische Darstellung	
Produkt	Phosphorsäure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Phosphorsäure (Produkt) unterliegt nicht der DüMV - kaum Abfälle - auch für Struvit möglich (erweiterter PARFOCE-Ansatz) - Struvitprodukt und Phosphorsäure müssen nicht als Düngemittel verwendet werden → für Phosphorsäureherstellung + Düngemittelindustrie
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - energieintensiv
Entwicklungsstand	Pilotanlage (Mecklenburg-Vorpommern) Kombination erweitertes PARFOCE-Verfahren mit AirPrex-Verfahren
Bewertung Einsatzfähigkeit	<p>Klärschlammasche:</p> <ul style="list-style-type: none"> - großtechnische Umsetzung abwarten - Anforderungen der AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Einsatz des Verfahrens in Nähe von Monoverbrennungsanlagen in Sachsen-Anhalt sinnvoll <p>erweitertes PARFOCE-Verfahren:</p> <ul style="list-style-type: none"> - großtechnische Umsetzung abwarten - Anforderungen der AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden (Bio-P-Elimination und geringe P-Gehalte) - Wirtschaftlichkeit prüfen

Phos4Life Verfahren der Técnicas Reunidas SA (TR) (Entwicklung in Zusammenarbeit mit der Stiftung Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung)

Name des Verfahrens	Phos4Life Verfahren
Unternehmen	Técnicas Reunidas SA (TR) (Entwicklung in Zusammenarbeit mit der Stiftung Zentrum für nachhaltige Abfall- und Ressourcennutzung)
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	mindestens 95 % bezogen auf Klärschlammasche

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - durch Laugung der Asche mit Schwefelsäure werden mineralische Rückstände herausgelöst → Einsatz in Zementindustrie - Flüssig-Flüssig-Trennung durch Zugabe von Dampf und Salzsäure - Eisen(III)-chloridlösung, Metallkonzentrat und Phosphorsäure werden abgetrennt - Phosphorsäure wird durch Zugabe von Dampf aufkonzentriert
Schematische Darstellung	
Produkt	Phosphorsäure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Schwermetallabtrennung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - Wirtschaftlichkeit fraglich
Entwicklungsstand	Pilotanlage
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Einsatz des Verfahrens in Nähe von Monoverbrennungsanlagen in Sachsen-Anhalt sinnvoll

Ash2Phos® der EasyMining Sweden AB

Name des Verfahrens	Ash2Phos®
Unternehmen	EasyMining Sweden AB
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	90–95 % bezogen auf Klärschlammasche
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Zugabe von Salzsäure → Herauslösen des in der Klärschlammasche enthaltenen Phosphors, Eisens und Aluminiums - Prozess findet bei Raumtemperaturen für 30 bis 120 Minuten statt - Schwermetalle werden durch Zugabe von Sulfiden herausgelöst - → Bildung von Metallsulfiden, die durch Filter und Zentrifugen entfernt werden - Lösung wird mit Kalk zur Anhebung des pH-Wertes versetzt → Ausfällung der Zwischenprodukte Calciumphosphat sowie Eisen- und Aluminiumhydroxid, welche im anschließenden Prozess aufbereitet werden - Produkt: Monoammoniumphosphat (MAP) oder Di- Calciumphosphat (DCP) - Nebenprodukte: Phosphorsäure, Superphosphate, Eisenchlorid, Eisensulfat und Aluminiumsulfat

Schematische Darstellung	<pre> graph TD A[Säure] --> B[Auflösung Schlammasche] C[Asche] --> B B --> D[Restsand] B --> E[Separation P, Fe und Al] E --> F[Neutralisierung + Entfernung Schwermetalle] F --> G[behandeltes Abwasser] E --> H[Wertstoffauftrennung] I[Kalk] --> H H --> J[Calcium-phosphat] H --> K[Eisen-hydroxid] H --> L[Aluminium-hydroxid] J --> M[Veredlung] K --> M L --> M M --> N[MCP/DCP] M --> O[MAP/DAP] M --> P[Phosphorsäure] M --> Q[Superphosphat] M --> R[Eisen-chlorid] M --> S[Aluminium-sulfat/Aluminium-chlorid] </pre>
Produkt	MAP (Sturvit) oder Di-Calciumphosphat (DCP) oder Phosphorsäure
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Schwermetallabtrennung - energieeffizient (da geringe Temperaturerhöhung bis 40 °C) - Eisen- und Aluminiumsulfat als Fällmittel in Kläranlage - Restsand für Zementindustrie oder als Füllmaterial - schadstoffarmes Produkt → hohe Reinheit - Chemikalien = Bestandteile der Rezyklate → keine weiteren Abfälle
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - Wirtschaftlichkeit fraglich - geringer Datenbestand
Entwicklungsstand	Pilotanlage in Helsingborg (Schweden) und in Bitterfeld-Wolfen (Sachsen-Anhalt, Deutschland)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Einsatz des Verfahrens in Nähe von Monoverbrennungsanlagen in Sachsen-Anhalt sinnvoll - City-Konzept möglich: Klärschlamm-mengen ab 10.000 t/a, Salzsäure aus Rauchgaswäschen von Verbrennungsanlagen (z.B. Müllverbrennungsanlagen) verwenden → lokale und regionale Synergien → Abfallsäuren werden weiterverwendet, keine Neutralisierung notwendig → kein erhöhter Chemikalienverbrauch + nur noch Transport von ungefährlichen Aschen

PASCH-Verfahren der RWTH

Name des Verfahrens	PASCH-Verfahren
Unternehmen	RWTH Aachen
Input	Klärschlamm-Asche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren

Rückgewinnungsrate	70–80 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - phosphorarmer Anteil der Klärschlammasche wird von phosphorreicher Fraktion abgetrennt - phosphorreicher Anteil wird durch Zugabe von Chlorwasserstoff chemisch aufgeschlossen - anschließend Feststoffabtrennung - Solventextraktion: aus Lösung werden Eisen, Cadmium, Blei, Kupfer und Zink herausgelöst und abgeschieden - Fällungsreaktion: durch Zugabe von Magnesiumoxid/ Magnesiumchlorid und Natronlauge (Anhebung pH-Wert) werden Calcium-, Magnesium- und Aluminiumphosphat als Düngemittel abgetrennt
Schematische Darstellung	
Produkt	Calciumphosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfKlärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten - hohe Rückgewinnungsrate - Schwermetallabtrennung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - komplexes Verfahren - neue Abfallströme
Entwicklungsstand	Technikumanlage + großtechnische Umsetzung in Straubing geplant
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfKlärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Einsatz des Verfahrens in Nähe von Monoverbrennungsanlagen in Sachsen-Anhalt sinnvoll

SEPHOS-Verfahren der TU Darmstadt, dem Ruhrverein und dem westfälischen Ministerium für Umwelt und Naturschutz

Name des Verfahrens	SEPHOS-Verfahren
Unternehmen	TU Darmstadt, Ruhrverein, westfälischen Ministerium für Umwelt und Naturschutz
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Nasschemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	90 % bezogen auf Kläranlagenzulauf

<p style="text-align: center;">Beschreibung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - aluminium- und eisenhaltige Asche wird Reaktor zugeführt und mit Schwefelsäure vermischt (Senkung pH-Wertes auf kleiner als 1,5) → Phosphor und Metalle werden aus Asche herausgelöst und gehen in Lösung - Reststoffe werden aus Lösung entfernt - Lösung wird mit Natronlauge versetzt → Anhebung pH-Wert auf 3 bis 4 - Aluminiumphosphat fällt aus → Abscheidung durch Zentrifuge - gebildetes Aluminiumphosphat findet in Phosphorindustrie Anwendung - zusätzlich Optimierung zur Minimierung des Schwefel- und Natriumgehaltes im Produkt - beim erweiterten Verfahren wird Calciumphosphat als Produkt gewonnen - Aluminiumphosphat wird durch Zugabe einer Lauge auf pH-Wert von 12 bis 14 gebracht → Aluminium und enthaltener Phosphor wird gelöst - Schwermetalle gehen nicht in Lösung über → bleiben im Fällschlamm zurück - durch Zentrifuge wird flüssige Phase von Schwermetallen getrennt - Zugabe von Calcium → Calciumphosphat wird als Hydroxylapatit gebildet - zurückbleibendes Aluminium bleibt in Lösung → Einsatz als Fällmittel - gebildetes Calciumphosphat kann aufgrund geringer Löslichkeit nicht als Düngemittel angewendet werden - durch anschließenden Säureaufschlussprozess würde Hydroxylapatit eine löslichere Eigenschaft erhalten
<p style="text-align: center;">Schematische Darstellung</p>	
<p style="text-align: center;">Produkt</p>	<p>Aluminiumphosphat bzw. Hydroxylapatit</p>
<p style="text-align: center;">Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen der AbfklärV werden in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten
<p style="text-align: center;">Nachteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Rückgewinnungsrate - Schwermetallabtrennung
<p style="text-align: center;">Entwicklungsstand</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Chemikalieneinsatz - komplexes Verfahren - neue Abfallströme - kostenintensiv → großtechnische Umsetzung fraglich
<p style="text-align: center;">Entwicklungsstand</p>	<p>Labormaßstab</p>

Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - Anforderungen an die AbfklärV können in Bezug auf die Rückgewinnungsrate eingehalten werden - Wirtschaftlichkeit fraglich → weitere Daten abwarten
----------------------------	---

Ionenaustauschverfahren

Rem Nut® Verfahren der italienischen Universität in Bari

Name des Verfahrens	Rem Nut®
Unternehmen	der italienischen Universität in Bari
Input	Ablauf Kläranlage
Verfahren	Ionenaustauschverfahren
Rückgewinnungsrate	bis 50 % bezogen auf Kläranlagenzulauf
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgewinnung von Phosphor, Stickstoff und Kalium aus Kläranlagenablauf - grundlegend zwei Verfahrensprozesse: - selektiver Ionenaustausch → Elimination von Ammonium, Kalium und Phosphor + Aufkonzentrierung in Ionenaustauscher- Regenerationslösung - chemische Fällung aus Regenerationslösungen durch Zugabe von Magnesium und pH-Wertanpassung
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - sehr gute Ablaufwerte in Bezug auf die Nährstoffe - marktfähiges Produkt
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - geringe Phosphor-Selektivität der Ionenaustauscherharze - ineffiziente Regeneration der Ionenaustauscherharze - Verlust Adsorptionskapazität der Harze durch stattfindende Faulungsprozesse
Entwicklungsstand	Pilotanlage auf Kläranlage in Bari (Italien)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - aufgrund zahlreicher Nachteile keine Durchsetzung zur großtechnischen Umsetzung - Einsatz von selektiven Ionenaustauschern (HAIX – Anionen-Austauscher mit Eisenoxid-Hydrat-Nanopartikeln) könnte Besserung schaffen

PHOSIEDI Verfahren

<p>Beschreibung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - heute: nur für Trocknung und Verbrennung von Klärschlämmen - Phosphorrückgewinnung findet heute nicht mehr statt - Asche wird gemahlen und Becken mit Schwefelsäure versetzt - durch diesen Vorgang geht der in der Asche enthaltene Phosphor in Lösung - Schwermetalle werden gelöst - Lösung gelangt in mit Ionenaustauschern bestückte Kolonnen - in diesen wird Eisenchlorid (FeCl_3), Kaliumhydrogensulfat (KHSO_4) und Phosphorsäure (H_3PO_4) abgeschieden - in der Lösung befindlichen Schwermetalle bleiben in der Lösung zurück und müssen anschließenden Aufbereitung unterzogen werden - Eisenchlorid wird nach Ausfällung wieder Fällmittelkreislauf der Abwasserbehandlungsanlage zugeführt - Kaliumhydrogensulfat und die Phosphorsäure bilden einsetzbare Nährstoffe
<p>Schematische Darstellung</p>	
<p>Produkt</p>	<p>Kaliumhydrogensulfat und Phosphorsäure</p>
<p>Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - kaum Chemikalieneinsatz - Phosphorsäure als Grundstoff der Düngemittelproduktion - hohe Wiederverwendbarkeit der Ionenaustauscher - hohe Rückgewinnungsrate
<p>Nachteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - großtechnische Umsetzung ungewiss
<p>Entwicklungsstand</p>	<p>Pilotanlage auf Kläranlage Aalborg in Dänemark</p>
<p>Bewertung Einsatzfähigkeit</p>	<p>großtechnische Umsetzung zwar geplant, aber nicht weiterverfolgt</p>

Elektrochemische Verfahren

ePhos® des Fraunhofer IGB

<p>Name des Verfahrens</p>	<p>ePhos®</p>
<p>Unternehmen</p>	<p>Fraunhofer IGB</p>
<p>Input</p>	<p>Flüssige Phase</p>
<p>Verfahren</p>	<p>Elektrochemisches Verfahren</p>
<p>Rückgewinnungsrate</p>	<p>80 % bezogen auf Kläranlagenzulauf</p>

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgewinnung von Ammonium (NH₄⁺) und Phosphat (PO₄³⁻) aus Filtratwasser - Elektrolysezelle aus inerten Kathoden und einer Opferanode aus Magnesium - durch elektrochemischen Prozess fällt Phosphat als Magnesium-Ammonium-Phosphat als MAP (Struvit) aus - Kathode: Reduktion → Spaltung Wassermoleküle → pH-Wert -Erhöhung → Bildung OH⁻-Ionen - Anode: Oxidation → Magnesiumionen gehen in Lösung → Reaktion mit im Wasser enthaltenen Phosphor und Stickstoff zu Struvit
Schematische Darstellung	
Produkt	MAP (Struvit)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - kein Chemikalieneinsatz - Lösen betrieblicher Probleme - Reduktion der zu behandelnden Phosphorfracht um 37 % - Reduktion Schlammproduktion um 7 % - parallele Serienschaltung der Elektrolysezellen → Zellen bzw. Straßen von Zellen können bei Bedarf durch Prozessleitsystem zu- und abgeschaltet werden → effiziente Betriebsweise
Nachteile	- schlecht für große Aggregate geeignet
Entwicklungsstand	Großtechnische Umsetzung mit Flachreaktoren (vor allem in Nordamerika)
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - zur industriellen Verwertung werden derzeit mit Interessenten Lizenzvereinbarungen getroffen - weitere Prozessmodule ergänzen, um nachhaltiges Management der Nährstoffe auf Kläranlagen zu ermöglichen

Bioleaching

INOCRE P-bac der Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG

Name des Verfahrens	INOCRE P-bac
Unternehmen	Fritzmeier Umwelttechnik GmbH & Co. KG
Input	Klärschlammasche
Verfahren	Bioleaching
Rückgewinnungsrate	80 % bezogen auf Klärschlammasche

<p>Beschreibung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - zunächst entsteht in Fermenter durch mikrobielle Oxidation von reduzierten Schwefelverbindungen bzw. elementaren Schwefel Schwefelsäure → bildet Bioleaching-Flüssigkeit - Bioleaching-Flüssigkeit wird mit Bakterien und Klärschlammasche in Kontakt gebracht - durch diesen Vorgang gehen das in Klärschlammasche befindliche Phosphat und Schwermetalle in Lösung über - Klärschlammasche wird abgetrennt und Phosphat in der Lösung bindet sich an Mikrobiologie und fällt infolge der Milieuänderung aus - gebildetes Eisenphosphat kann abgezogen werden - abschließend werden Schwermetalle aus der Lösung abgetrennt und die gereinigte Lösung wieder der Bioleaching-Flüssigkeit zugeführt
<p>Schematische Darstellung</p>	<pre> graph LR A[Bioleaching-Flüssigkeit] --> B[Laugung Klärschlammasche] B --> C[Selektive P-Rückgewinnung] C --> D[Schwermetallentfernung] D -- Rückführung --> A C -- Rückführung --> B B --> E[Klärschlamm-asche] C --> F[Phosphat-Rohprodukt] D --> G[Schwermetalle] </pre>
<p>Produkt</p>	<p>Eisenphosphat</p>
<p>Vorteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - kaum Chemikalieneinsatz - hohe Rückgewinnungsraten - zuverlässige Schwermetallabtrennung → schwermetallarmes Produkt - Produkt entspricht Düngemittelverordnung
<p>Nachteile</p>	<ul style="list-style-type: none"> - konstanten Milieubedingungen notwendig - Produkteinsatz fraglich
<p>Entwicklungsstand</p>	<p>Pilotanlage in Großhelfendorf</p>
<p>Bewertung Einsatzfähigkeit</p>	<ul style="list-style-type: none"> - hält in Bezug auf die Rückgewinnungsrate die AbfklärV ein - allerdings noch Untersuchungen zum Einsatz des gewonnen Eisenaluminiumphosphat notwendig

Kombinations- und Sonderverfahren

RECYPHOS der TU Dresden

<p>Name des Verfahrens</p>	<p>RECYPHOS Verfahren</p>
<p>Unternehmen</p>	<p>TU Dresden</p>
<p>Input</p>	<p>Abwasser</p>
<p>Verfahren</p>	<p>Ad-, Desorptions- und Fällungsreaktor</p>
<p>Rückgewinnungsrate</p>	<p>bis 45 % bezogen auf Kläranlagenzulauf</p>

Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - vorrangig Einsatz im dezentrale Kleinkläranlagenbetrieb - Einsatz in industriellen Kläranlagen - Aktivtonerdeverfahren in drei Verfahrensschritten: - Adsorption von Phosphor an körniger Aktivtonerde (Al_2O_3) in einem Filter - Regeneration der beladenen Aktivtonerde mittels Desorption des Phosphats durch Natronlauge und anschließende Neutralisation mit Kohlensäure - Wiedergewinnung des Phosphats durch Fällung aus Natronlauge mit Kalk - Aktivtonerde und Natronlauge werden im Kreislauf geführt - Kohlensäure und Kalk bilden Verbrauchsreagenzien
Produkt	Calciumphosphat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - Produkt als Rohstoff einsetzbar - hohe Rückgewinnungsrate
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohe Energiekosten - großtechnische Umsetzung fraglich
Entwicklungsstand	Labormaßstab
Bewertung Einsatzfähigkeit	<ul style="list-style-type: none"> - bis jetzt nur labortechnischer Maßstab - aufgrund sehr hoher Energiekosten keine großtechnische Umsetzung sinnvoll

Magnetseparator

Name des Verfahrens	Magnetseparator
Unternehmen	keine Angabe
Input	Abwasser
Verfahren	Elektrochemisches Verfahren
Rückgewinnungsrate	keine Angabe
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Abwasser wird zunächst in einem Flockulationsrohr mit einem Fällmittel (Eisen- oder Aluminiumsalze) versetzt → gelöste Phosphate in feste Form überführen - magnetisches Trägermaterial bildet Magnetit (Fe_2O_3) → als feinkörniges Material in Abwasser zugegeben - Zugabe eines Flockungshilfsmittel sorgt für die Bildung von Makroflocken (Eisen- oder Aluminiumphosphat bildet mit Magnetit eine Verbindung) - Abwasser passiert Magneten von unten nach oben → Makroflocken haften am Magneten - durch Einführen einer Spülflüssigkeit mit hoher Geschwindigkeit können die Feststoffe vom Magnetit abgeschieden werden
Produkt	keine Angabe
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - kaum Chemikalieneinsatz
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - sehr hohe Energiekosten - Produkt fraglich
Entwicklungsstand	Labormaßstab
Bewertung Einsatzfähigkeit	bis jetzt nur labortechnischer Maßstab aufgrund sehr hoher Energiekosten keine großtechnische Umsetzung sinnvoll

Literaturverzeichnis Datenblätter

- ASH DEC.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] April 2019. [Zitat vom: 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- ASH2PHOS.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] April 2019. [Zitat vom: 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT BAFU, 2009.:** Rückgewinnung von Phosphor aus der Abwasserreinigung. www.bafu.admin.ch. [Online] [Zitat vom: 20. September 2021.] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/publikationen-studien/publikationen/rueckgewinnung-phosphor-abwasserreinigung.html>.
- EBP SCHWEIZ AG, 2019:** *Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung*. Schweiz : s.n., April 2019
- EPHOS.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] [Zitat vom: 20. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/project/ephos-elektrochemische-phosphorrueckgewinnung/>
- EUPHORE.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] Mai 2018. [Zitat vom: 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- HOFFMANN, ERHARD UND LEICHT, MIRIAM, 2021:** www.umweltbundesamt.de. *PHOSIEDI - Verfahren*. [Online] 28. Januar 2014. [Zitat vom: 20. Oktober 2021.] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/dokumente/hoffmann_kit_phosi edi.pdf.
- P-BAC.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] April 2019. [Zitat vom: 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- PETZOLD, 2022:** Aktueller Stand und Perspektiven zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen im Land Sachsen-Anhalt – Masterarbeit; Hochschule Merseburg
- PHOSFORCE.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] August 2020. [Zitat vom: 15. Dezember 2021.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- P-XTRACT®: Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm.** www.wehrle-werk.de. [Online] [Zitat vom: 02. Februar 2022.] <https://www.wehrle-werk.de/de/energie/technologie/phosphorr%C3%BCckgewinnung>.
- STUTTGARTER VERFAHREN.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] Mai 2018. [Zitat vom 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- TERRANOVA.** www.deutsche-phosphor-plattform.de. [Online] April 2019. [Zitat vom: 02. Januar 2022.] <https://www.deutsche-phosphor-plattform.de/information/dokumente/>.
- WAGNER ET AL., 2020** publikationen.sachsen.de. [Online] Statusbericht Klärschlamm Entsorgung Sachsen 2020, 26. November 2020. [Zitat vom: 06. September 2021.] <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/36926>.